

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad
estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten
Puerto**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Carlos Naun Santa Cruz Bazan

ASESOR

Wilson Martin Garcia Vera

<https://orcid.org/0000-0001-6108-0946>

Chiclayo, 2026

**Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la
capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas
típicas de Eten Puerto**

PRESENTADA POR
Carlos Naun Santa Cruz Bazan

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Jose Alberto Acero Martines
PRESIDENTE

Segundo Guillermo Carranza Cieza
SECRETARIO

Wilson Martin Garcia Vera
VOCAL

Dedicatoria

Esta investigación va dedicada a mis padres, Zaida Bazán Aguilar y Saul Santa Cruz Vasques, cuyo ejemplo de esfuerzo y dedicación ha guiado mi vida. Gracias a sus sacrificios y al apoyo constante que me brindaron, aprendí a trabajar con perseverancia y responsabilidad para alcanzar mis metas con humildad y respeto.

A mi abuela Aida Aguilar, por su constante compañía, sus palabras de aliento y por ser un pilar fundamental en este camino.

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por la fuerza, el ánimo y la guía que me acompañaron en cada dificultad y que orientaron cada decisión en este proceso.

A mis padres, Zaida Bazán Aguilar y Saúl Santa Cruz Vásquez, por ser mi primera escuela y mi refugio. Su trabajo silencioso, sus sacrificios y su confianza inquebrantable me enseñaron disciplina, humildad y propósito. Cada avance en este camino lleva su huella: la constancia que me inculcaron, el sentido de responsabilidad que me exigieron y la fe con la que me sostuvieron aún en los días difíciles.

A mi abuela, Aida Aguilar, por su presencia serena y sus palabras oportunas. Su cariño, su ejemplo de fortaleza y su apoyo en los momentos de mayor exigencia me recordaron que los grandes logros se construyen con paciencia, bondad y esperanza.

A mi asesor, Wilson Martín García Vera, por su guía y apoyo. Sus orientaciones técnicas, sus observaciones precisas y la exigencia académica con la que acompañó este trabajo fueron decisivas para dotarlo de solidez y claridad.

A mis amigos que conocí durante mi época universitaria, por las jornadas de estudio, las discusiones que abrieron caminos, las risas que aligeraron la carga y la complicidad que sostuvo mis metas. Gracias por demostrarme que el aprendizaje se enriquece cuando se comparte y que el compañerismo también es una forma de inteligencia.

Y a mí mismo, por la disciplina para sostener el esfuerzo, la valentía para enfrentar la duda y la resiliencia para superar cada obstáculo. Este logro confirma que la perseverancia, guiada por la fe y el trabajo honesto, termina por abrir todas las puertas.

Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

5

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

idoc.pub

Fuente de Internet

<1%

7

pdfcookie.com

Fuente de Internet

<1%

8

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1%

Índice

Resumen	15
Abstract	16
Introducción.....	17
Revisión de la literatura.....	20
Materiales y métodos	60
Resultados y discusión	131
Conclusiones	146
Recomendaciones	148
Referencias.....	149
Anexos	156

Lista de tablas

TABLA I.....	49
TABLA II.....	50
TABLA III.....	51
TABLA IV	52
TABLA V.....	63
TABLA VI.....	64
TABLA VII.....	66
TABLA VIII.....	71
TABLA IX	72
TABLA X.....	73
TABLA XI.....	76
TABLA XII.....	83
TABLA XIII.....	85
TABLA XIV	90
TABLA XV.....	91
TABLA XVI	92
TABLA XVII.....	94
TABLA XVIII.....	95
TABLA XIX	97
TABLA XX.....	98
TABLA XXI	99
TABLA XXII.....	99

TABLA XXIII.....	100
TABLA XXIV.....	106
TABLA XXV.....	107
TABLA XXVI.....	107
TABLA XXVII.....	108
TABLA XXVIII.....	110
TABLA XXIX.....	111
TABLA XXX.....	111
TABLA XXXI.....	112
TABLA XXXII.....	113
TABLA XXXIII.....	113
TABLA XXXIV.....	114
TABLA XXXV.....	114
TABLA XXXVI.....	115
TABLA XXXVII.....	115
TABLA XXXVIII.....	116
TABLA XXXIX.....	116
TABLA XL.....	117
TABLA XLI.....	117
TABLA XLII.....	118
TABLA XLIII.....	118
TABLA XLIV.....	119
TABLA XLV.....	119

TABLA XLVI.....	120
TABLA XLVII.....	121
TABLA XLVIII.....	121
TABLA XLIX.....	122
TABLA L.....	122
TABLA LI.....	123
TABLA LII.....	123
TABLA LIII.....	124
TABLA LIV.....	124
TABLA LV.....	125
TABLA LVI.....	125
TABLA LVII.....	126
TABLA LVIII.....	126
TABLA LIX.....	126
TABLA LX.....	127
TABLA LXI.....	127
TABLA LXII.....	128
TABLA LXIII.....	128
TABLA LXIV.....	129
TABLA LXV.....	129
TABLA LXVI.....	130
TABLA LXVII.....	130
TABLA LXVIII.....	131

TABLA LXIX.....	131
TABLA LXX.....	132
TABLA LXXI.....	133
TABLA LXXII.....	134
TABLA LXXIII.....	134
TABLA LXXIV.....	135
TABLA LXXV.....	135
TABLA LXXVI.....	136
TABLA LXXVII.....	137
TABLA LXXVIII.....	138
TABLA LXXIX.....	138

Lista de Figuras

Fig. 1. Esquema de efectos y síntomas visibles de corrosión [50].....	42
Fig. 2. Curva Esfuerzo-Deformación del Acero [55].....	44
Fig. 3. Mecanismo de Corrosión por Picadura [60].....	47
Fig. 4. Mecanismo de Corrosión por Espacios Confinados [60]	48
Fig. 5. Flujograma de proceso para el desarrollo de la investigación.	69
Fig. 6. Cuarteo de agregado fino y grueso.	70
Fig. 7. Pesaje de muestras y puestas en el horno	71
Fig. 8. Muestras retenidas de cada tamiz agregado fino	72
Fig. 9. Muestras retenidas de cada tamiz agregado grueso	73
Fig. 10. Peso del molde	74
Fig. 11. Comparación de peso sueltos del agregado fino.....	74
Fig. 12. Comparación de peso sueltos del agregado grueso	75
Fig. 13. Comparación de pesos compactados del agregado fino	75
Fig. 14. Comparación de pesos compactados del agregado grueso	76
Fig. 15. Muestra del agregado grueso saturado en agua	77
Fig. 16. Secado y pesado de la muestra	77
Fig. 17. Peso de la canastilla más la muestra sumergida	78
Fig. 18. Muestra puesta en horno	78
Fig. 19. Peso de la muestra de 500g para peso específico del agregado fino	79
Fig. 20. Muestra puesta en el cono de absorción de arena.....	80
Fig. 21. Peso de la fiola sola y con agua	80
Fig. 22. Rodamiento manual de la fiola	81
Fig. 23. Peso de la fiola con agua más agregado fino	81

Fig. 24. Vaciado de la muestra y eliminación del agua excedente	82
Fig. 25. Peso de tara y peso de tara más muestra seca	82
Fig. 26. Corte de barras de acero para armado de viga	83
Fig. 27. Amarre de estribos y armado de la viga	84
Fig. 28. Viga lista para llenado	84
Fig. 29. Comprobación de slum de diseño	86
Fig. 30. Contenido de Aire en el Concreto	86
Fig. 31. Temperatura del concreto en estado fresco.	87
Fig. 32. Densidad del concreto.....	88
Fig. 33. Llenado de probetas y viga experimental	89
Fig. 34. Ensayo de resistencia a la compresión.....	89
Fig. 35. Ensayo a Tracción en pruebas cilíndricas.....	90
Fig. 36. Ensayo a Flexión de vigas	91
Fig. 37. Escaneo para determinar diámetros de aceros de las viviendas	92
Fig. 38. Datos obtenidos del escáner.....	93
Fig. 39. Extracción de corazones de diamantina.....	95
Fig. 40. Limpieza de los aceros corroídos	96
Fig. 41. Aceros después de su limpieza	96
Fig. 42. Toma de diámetros y pesaje del acero	97
Fig. 43. Ensayo de tracción acero de viviendas.	98
Fig. 44. Viga experimental sometida a corrosión	101
Fig. 45. Limpieza de aceros corroídos.	102
Fig. 46. Medición de diámetro residual del acero.....	103
Fig. 47. Preparación y ejecución del ensayo a tracción del acero de refuerzo corroído.	104

Fig. 48. Registro de resultados del ensayo a tracción del acero corroído.....	104
Fig. 49. Asignación de propiedades de los materiales	105
Fig. 50. Definición de masa sísmica.	106
Fig. 51. Asignación de coeficientes sísmicos en ambos sentidos al modelado en ETABS. ..	108
Fig. 52. Diagrama de envolvente de momentos.....	109
Fig. 53. Momentos y cortantes máximas en vigas	110
Fig. 54. Pérdida porcentual de la capacidad estructural.....	132
Fig. 55. Pérdida porcentual de la resistencia a flexión.....	136
Fig. 56. Pérdida porcentual de la resistencia a corte.....	137

Lista de ecuaciones

(1)	28
(2)	29
(3)	30
(4)	30
(5)	30
(6)	30
(7)	32
(8)	32
(9)	32
(10)	32
(11)	33
(12)	33
(13)	33
(14)	34
(15)	34
(16)	34
(17)	34
(18)	35
(19)	37
(20)	38
(21)	39
(22)	40
(23)	52

(24) 52

(25) 52

(26) 53

(27) 54

(28) 54

(29) 54

(30) 54

(31) 55

(32) 55

(33) 55

(34) 56

(35) 56

(36) 58

(37) 59

Resumen

La corrosión del acero de refuerzo en ambientes marinos compromete la seguridad y durabilidad de las viviendas de concreto armado; esta investigación cuantifica su efecto sobre la capacidad estructural mediante un procedimiento integrado de laboratorio y análisis estructural. Se realizó modelación en ETABS para estimar demandas de flexión y corte, evaluando la capacidad con $\phi M_n/M_u$ y $\phi V_n/V_u$ e integrándola en el Índice Global de Capacidad (IGC), mientras que la Pérdida de Capacidad Estructural (PCE) se definió como la variación del IGC respecto del estado de referencia. El programa experimental simuló el cumplimiento normativo, induciendo corrosión a las vigas y caracterizó el acero por tracción para obtener f_y , f_u y diámetro residual; los niveles bajo, moderado y severo arrojaron IGC de 0.95, 0.88 y 0.71 con PCE de 14.69 %, 20.71 % y 36.35 %, confirmando una reducción progresiva atribuible estrictamente a la corrosión. La caracterización metalúrgica evidenció pérdidas de f_y cercanas a 2.81 – 4.36% en nivel bajo, entre 6.38 – 10.22% en nivel moderado y entre 12.29 – 15.59% en nivel severo, con reducciones consistentes en f_u y disminución del diámetro residual. En conjunto, los resultados muestran que el ambiente marino acelera la pérdida de sección y resistencia del acero y que el incumplimiento de criterios normativos en las viviendas agrava la disminución del IGC a flexión y corte; el patrón experimental ideal permite cuantificar con precisión la degradación y aporta parámetros locales para diagnóstico, mantenimiento y priorización de intervenciones.

Palabras clave: corrosión del acero de refuerzo, concreto armado, capacidad estructural, resistencia a flexión, resistencia a corte, disminución de diámetro.

Abstract

Reinforcement steel corrosion in marine environments compromises the safety and durability of reinforced concrete housing; this research quantifies its effect on structural capacity using an integrated laboratory and structural analysis procedure. ETABS modeling was performed to estimate flexural and shear demands, evaluating capacity with $\phi M_n/M_u$ and $\phi V_n/V_u$ and integrating it into the Global Capacity Index (GCI), while the Structural Capacity Loss (SCL) was defined as the variation of the GCI with respect to the reference state. The experimental program simulated regulatory compliance, inducing corrosion in the beams and characterized the steel by tension to obtain f_y (yield strength), f_u (ultimate tensile strength), and residual diameter; the low, moderate, and severe levels yielded GCIs of 0.95, 0.88, and 0.71 with SCLs of 14.69%, 20.71%, and 36.35%, confirming a progressive reduction strictly attributable to corrosion. Metallurgical characterization showed losses in f_y close to 2.81 - 4.36% at the low level, between 6.38 - 10.22% at the moderate level, and between 12.29 - 15.59% at the severe level, with consistent reductions in f_u and a decrease in the residual diameter. Altogether, the results show that the marine environment accelerates the loss of steel section and strength and that the non-compliance with regulatory criteria in the housing aggravates the decrease in the GCI for flexure and shear; the ideal experimental pattern allows for precise quantification of the degradation and provides local parameters for diagnosis, maintenance, and prioritization of

Keywords: reinforcing steel corrosion; reinforced concrete; structural capacity; flexural strength; shear strength; bar-diameter reduction.

Introducción

El concreto armado constituye uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción a nivel mundial por su resistencia, durabilidad, versatilidad y costo relativamente bajo [1]. Sin embargo, pese a los avances en diseño y tecnología constructiva, las edificaciones continúan enfrentando mecanismos de deterioro que afectan su desempeño y reducen su vida útil; entre ellos, la corrosión del acero de refuerzo se reconoce como el problema más crítico, pues compromete la integridad estructural de las viviendas y otras edificaciones [2], [3].

A nivel mundial, la corrosión del acero en estructuras de concreto armado se ha convertido en una preocupación técnica y económica. Según la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE), los costos directos de mantenimiento de estructuras deterioradas por corrosión en los Estados Unidos superan los 13 mil millones de dólares anuales [4]. De no aplicarse medidas eficaces de control y prevención, este fenómeno tenderá a identificarse, incrementando los gastos de reparación y en los riesgos de fallas estructurales que afectan la seguridad de las personas [5].

En Europa, la problemática se agrava por factores climáticos como la humedad y las variaciones de temperatura, que aceleran la degradación del acero de refuerzo y reducen progresivamente la vida útil de las construcciones [6]. Proyecciones del Joint Research Centre (JRC) estima que los costos acumulados de reparación de estructuras afectadas podrían alcanzar 76 mil millones de euros en un escenario moderado y 883 mil millones de euros en un escenario extremo hacia fines de siglo [7]. En el Reino Unido, el Department for Transport estimó que los daños por corrosión inducida por sales en puentes de autopistas y carreteras principales alcanzarán 616.5 millones de euros; este dato ilustra la carga económica en climas templados con uso de sales descongelantes y subraya la necesidad de reforzar normativas de diseño y mantenimiento, implementar inspecciones periódicas y consolidar estrategias de prevención para garantizar la seguridad y funcionalidad a largo plazo [8].

En Latinoamérica, la falta de mantenimiento oportuno y la exposición a condiciones ambientales severas, como alta humedad, deposición de cloruros y variaciones climáticas, aceleran la corrosión del acero de refuerzo, comprometiendo la seguridad de las edificaciones y aumentando la vulnerabilidad de la población. En Brasil, estimaciones respaldadas por estudios sectoriales sitúan el costo anual de la corrosión en torno al 4 % del PIB, proporcionando un referente cuantitativo regional para dimensionar la magnitud del problema [9]. Esta cifras refleja la necesidad urgente de fortalecer la capacitación de profesionales,

generar conciencia preventiva y establecer programas sostenidos de monitoreo e intervención [10].

En el Perú, la problemática se intensifica por la combinación de una infraestructura envejecida, altos niveles de informalidad en la construcción y la exposición constante a ambientes marinos altamente agresivos. En Lima Metropolitana, SENCICO implementó 18 estaciones de monitoreo de corrosión atmosférica en 2020 y elaboró el mapa de corrosión, confirmando que la deposición de cloruros y la humedad relativa elevan la velocidad de corrosión del acero de refuerzo[11]. De acuerdo con el Instituto Nacional de Defensa Civil, en Tumbes más del 60 % de las viviendas urbanas presentan algún grado de vulnerabilidad estructural vinculada a este fenómeno, lo que incrementa el riesgo frente a desastres naturales y expone a miles de familias a condiciones de inseguridad habitacional [12].

La investigación se justifica en la práctica porque la corrosión constituye una problemática crítica que afecta directamente la resistencia, la seguridad y la durabilidad de las estructuras de concreto armado. En zonas costeras como Puerto Eten, esta situación se intensifica por la alta concentración de cloruros en el ambiente marino. Por ello, resulta pertinente estudiar el nivel de corrosión y su influencia en la capacidad estructural de las vigas, generando evidencia útil para mejorar prácticas de construcción, mantenimiento y criterios de intervención.

Desde el aspecto teórico, el estudio contribuye al análisis del comportamiento estructural de vigas de concreto armado sometidas a condiciones que inducen un deterioro progresivo. Dicho proceso reduce la capacidad resistente de los elementos y afecta su desempeño frente a esfuerzos de flexión y corte. Si bien la literatura internacional describe los mecanismos de iniciación y propagación de la corrosión, persiste un vacío de evidencia cuantitativa nacional que relacione el nivel de corrosión con la capacidad a flexión y corte en vigas representativas de viviendas típicas ubicadas en ambientes marinos del país.

En el ámbito de la justificación metodológica, se aplicaron procedimientos normativos y ensayos técnicos para una evaluación rigurosa en ambientes agresivos. Se emplearon fórmulas de diseño estructural conforme a la norma E.060, lo que permitió calcular la resistencia a flexión y corte bajo condiciones reales de esfuerzo. Se utilizó el ensayo de electrólisis como método de corrosión acelerada, dada la inviabilidad de la cámara de niebla salina en muestras de gran tamaño, y se ejecutó un ensayo de tracción al acero para determinar su resistencia remanente.

En cuanto a la justificación social, los resultados de la investigación ofrecen un respaldo técnico para el diseño de proyectos de construcción y mantenimiento de viviendas, fomentando edificaciones más seguras y duraderas. En contextos como Eten Puerto, donde muchas construcciones se realizan sin estudios técnicos ni adecuada supervisión profesional, disponer de criterios técnicos sobre la disminución de capacidad por corrosión aporta a la seguridad y al bienestar de la población, promoviendo edificaciones más resilientes frente a la agresividad ambiental.

Por otra parte, la investigación también se justifica en el ámbito económico, al proporcionar una base sólida para reducir los altos costos derivados de la reparación y mantenimiento de infraestructuras deterioradas. Comprender en qué medida la corrosión afecta la capacidad estructural permite anticipar el comportamiento de los elementos afectados y adoptar decisiones técnicas oportunas que minimicen costos por reparación y mantenimiento. Ello contribuye a optimizar recursos, reducir la frecuencia de intervenciones y prevenir pérdidas por fallas prematuras.

En el distrito de Eten Puerto, la cercanía al mar expone a las viviendas típicas a un ambiente altamente agresivo, caracterizado por elevados niveles de cloruros y humedad. Estas condiciones aceleran la corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto, provocando pérdida progresiva de sección, fisuración del recubrimiento y disminución de la capacidad resistente de los elementos estructurales. Aunque a nivel internacional se han realizado múltiples estudios sobre los efectos de la corrosión en el concreto armado, la evidencia experimental en contextos locales es aún limitada, lo que genera incertidumbre sobre el grado real de afectación en las edificaciones expuestas a estas condiciones. Ante ello, surge la siguiente interrogante de investigación: ¿De qué manera el nivel de corrosión del acero de refuerzo influye en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto?

El objetivo general de la investigación es determinar la influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto.

En concordancia con este propósito, se plantearon los siguientes objetivos específicos: determinar la disminución del diámetro del acero de refuerzo debido a los efectos de la corrosión, determinar la disminución de las áreas de concreto armado debido a los efectos de corrosión, evaluar la resistencia a flexión en vigas de concreto armado debido a los efectos de

corrosión, evaluar la resistencia a corte en vigas de concreto armado debido a los efectos de corrosión y determinar la resistencia a tracción del acero luego de haber sido expuesto a la corrosión. Estos objetivos se articularon con el fin de obtener una visión integral de las implicancias de la corrosión en el desempeño estructural de las vigas analizadas.

Revisión de la Literatura

Antecedentes Internacionales

Liu et al [13], en su artículo “Degradation of Steel Rebar Tensile Properties Affected by Longitudinal Non-Uniform Corrosion” tuvieron como objetivo cuantificar cuánto disminuyen la resistencia y la ductilidad a tracción del acero corrugado cuando la corrosión es longitudinal y no uniforme, y proponer modelos predictivos basados en la pérdida real de sección. Para ello se usaron 53 barras HRB400 de 20 mm embebidas parcialmente en losas de concreto 800×350×100 mm; varias losas se preagrietaron hasta 2 mm para inducir morfologías distintas; la corrosión se aceleró por semiinmersión en NaCl al 5% con corriente directa de 300 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, calculando tiempos por ley de Faraday hasta obtener pérdidas de masa entre 5% y 25%; tras limpieza, las barras se escandieron en 3D con precisión 0.03 mm para reconstruir la sección residual cada 1 mm, y se ensayaron a tracción uniaxial conforme a norma para trazar curvas tensión deformación y calcular pérdidas volumétricas y máximas de sección. Se concluyó que por cada 1% adicional de pérdida volumétrica la carga de fluencia y la carga última disminuyen aproximadamente 1.53% y 1.54%; la ductilidad decae con ley exponencial con factores 0.0551 para la deformación última y 0.0300 para el alargamiento a la rotura cuando se relacionan con la pérdida volumétrica media y con factores 0.0343 y 0.0181 cuando se usa la pérdida máxima de sección, y que la sección crítica mínima gobierna la resistencia residual observándose por encima de 20% de pérdida volumétrica secciones semicirculares y morfologías multimodales.

Hui Yu et al [14], en su artículo “Experimental investigation on flexural performance of corroded RC beams with high-strength concrete and steel bars” tuvieron como objetivo evaluar cómo la corrosión del acero afecta la capacidad estructural de vigas de concreto armado hechas con concreto y acero de alta resistencia y contrastar modelos de predicción; para ello fabricaron quince vigas de 240 x 130 mm con recubrimiento de 20 mm, 2 barras de 12 mm a tracción, 2 de 10 mm a compresión y estribos de 10 mm cada 100 mm, organizaron tres grupos con combinaciones C60-HRB400, C60-HRB500 y C80-HRB500, indujeron corrosión solo en las barras longitudinales mediante corriente directa de 200 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ en solución de cloruro de sodio al 5% durante 28, 37, 48 y 56 días para alcanzar 6, 8, 10 y 12% de corrosión, verificaron la

pérdida real por método gravimétrico ASTM G1 y ensayaron a flexión en cuatro puntos con incrementos de carga de cinco kN; tras la corrosión, los anchos de grieta longitudinales en el intradós se situaron entre 0.23 y 0.34 mm en niveles bajos y alcanzaron entre 0.51 y 0.62 mm al 12%, el uso de concreto C80 redujo la apertura de fisuras frente a C60, y en capacidad se observó que, respecto de sus vigas sanas, la carga pico de los grupos con C60-HRB400, C60-HRB500 y C80-HRB500 disminuyó 9.0%, 15.2% y 7.4% respectivamente, mientras que la deformación última se degradó con mayor severidad en el grupo con concreto C80, llegando a reducciones de 52.6% en flecha última y de 50.3% en el coeficiente de ductilidad cuando la corrosión alcanzó 12%; al comparar modelos de cálculo de capacidad a flexión, el procedimiento basado en 1992 fue el que mejor reprodujo los resultados experimentales, con una razón predicción entre ensayo promedio de 0.94 para el conjunto de vigas, y promedios de 0.96 en el grupo C60-HRB400, 0.97 en C60-HRB500 y 0.90 en C80-HRB500, confirmando que los materiales de alta resistencia mitigan parcialmente la pérdida de capacidad pero penalizan la deformabilidad cuando el daño por corrosión se incrementa.

Ortega et al [15], en su artículo “Assessment of Residual Life of concrete structures affected by reinforcement corrosion” realizado en la Universidad Nacional del Sur de Argentina, tuvieron como objetivo desarrollar un modelo matemático para predecir la vida residual de vigas de concreto armado afectadas por la corrosión del acero de refuerzo en ambientes marinos e industriales. Para ello, trabajaron con 12 vigas de concreto armado de $8 \times 16 \times 110$ cm reforzadas con barras de acero ADN 420 de 4.2 mm de diámetro, las cuales fueron sometidas a un proceso de corrosión acelerada aplicando una corriente continua de 100 mA/cm² en un tramo de 50 cm. El avance del deterioro se controló mediante mediciones visuales de fisuración realizadas cada 15 días y la evaluación de la primera frecuencia natural de vibración, registrada con un martillo de impacto y un acelerómetro piezoeléctrico. Los resultados mostraron que la corrosión ocasionó una reducción del 16% en la sección transversal del acero de refuerzo, evidenciando la pérdida de resistencia del material. En el concreto se observaron áreas de fisuración que variaron entre 40 y 200 mm², lo que refleja un deterioro progresivo del recubrimiento. En cuanto a la rigidez dinámica, se constató una disminución de la primera frecuencia natural de entre 9% y 17% respecto a las vigas en estado inicial. Estos hallazgos confirman que la corrosión debilita de forma cuantificable tanto al acero como al concreto y permitió formular una ecuación predictiva de vida residual, destacando que las reducciones observadas 16% en acero, hasta 200 mm² de fisuración y hasta 17% en rigidez constituyen parámetros críticos para determinar el momento de intervención y garantizar la seguridad estructural.

Así mismo, Bidari, et al [16], en su artículo “Effect of corrosion on bond between reinforcement and concrete-an experimental study”, tuvieron como objetivo cuantificar cómo la corrosión del acero disminuye la adherencia acero–concreto y el diámetro efectivo de la barra en concretos M20, M25 y M30. Para ello moldearon 45 especímenes cilindros de $\varnothing 100 \times 225$ mm con barras $\varnothing 12$ mm, aceleraron la corrosión por corriente impresa en escalones de 0, 5, 10, 15 y 20%, y ejecutaron ensayos pull-out para obtener la relación tensión de adherencia–slip y la pérdida de capacidad con el daño (la corrosión real se verificó por pérdida de masa). Los resultados muestran una disminución sistemática de la adherencia al aumentar la corrosión y un mejor desempeño relativo de los concretos de mayor clase: en M20 la adherencia se redujo 17, 26, 41 y 58% para 5, 10, 15 y 20% de corrosión; en M25 las caídas fueron 12, 27, 42 y 50%; y en M30 descendió 13, 22, 37 y 47%, siempre respecto del control sin corrosión, confirmando además un comportamiento no lineal del descenso de carga de extracción, con el tramo 15–21% de corrosión como el de mayor pérdida de carga (de 45,96 kN a 36,88 kN). Geométricamente la corrosión redujo el diámetro efectivo pasó de 12.0 mm a 11.3 - 11.6 mm con 5% de corrosión y a 9.4 - 9.7 mm con 20%, evidenciando que la pérdida de sección y la reducción del entrelazamiento mecánico explican la merma de adherencia, aun cuando el concreto de mayor clase conserva mejor desempeño relativo.

Según Wen Li et al [17], en su artículo “Steel corrosion induced shear performance deterioration of RC beams: Experimental investigation and numerical simulation”, tuvieron como objetivo cuantificar cómo la corrosión en los estribos degrada la capacidad a corte de vigas de concreto armado y validar un modelo numérico; para ello ensayaron nueve vigas de sección 180×370 mm y altura útil 300 mm con carga a tres puntos, variaron la relación a/d en 1, 2 y 3 y fijaron niveles de daño en estribos de 0 %, 5 % y 12 %, induciendo la corrosión solo en los estribos mediante corriente impresa de 200 microamperios por centímetro cuadrado con esponja embebida en cloruro de sodio al 5% durante 303 horas para el objetivo 5% y 909 a 910 horas para el objetivo 12% , con pérdidas reales de masa verificadas entre 4.9% y 5.6% y entre 12.3% y 12.9 % conforme a limpieza ASTM G1; las barras longitudinales fueron HRB400 de 28 mm y los estribos HPB300 de 6.5 mm a 120 mm en la zona estudiada, se instrumentó la respuesta con medidores de desplazamiento a media luz bajo control de 0.3 mm por minuto y se contrastó con un modelo de elementos finitos en ATENA, obteniéndose que las vigas sin corrosión alcanzaron 311.2 kN para a/d igual a 1, 213.2 kN para a/d igual a 2 y 176.8 kilonewtons para a/d igual a 3, que con 5% de corrosión la variación de la capacidad fue mínima con cambios entre menos 4% y más 0.9%, y que con 12% de corrosión se registraron

reducciones de 5.6%, 5.7% y 7.0% esos mismos escenarios, con una razón entre valor experimental y valor de predicción promedio igual a 1.309 y coeficiente de variación 0.134.

Ahmad et al [18], en el artículo “An Experimental Approach to Evaluate the Effect of Reinforcement Corrosion on Flexural Performance of RC Beams”, tuvieron como objetivo desarrollar un procedimiento de corrosión acelerada que reproduzca un patrón uniforme y, con ello, cuantificar cómo distintos niveles de corrosión del acero modifican la capacidad a flexión de vigas de concreto armado; para lograrlo diseñaron un montaje electroquímico con corriente impresa y control de humectación salina que mantuvo $200 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ de densidad de corriente, calculando los tiempos de exposición con la ley de Faraday y evitando el lavado de productos de corrosión mediante ciclos de humectación con NaCl al 5%, y prepararon cuatro vigas de 1.60 m de longitud y sección 140×230 mm reforzadas con dos barras de 12 mm a tracción y dos de 10 mm a compresión, con estribos de 8 mm a 50 mm y barras superiores y estribos epoxidados para aislar el efecto eléctrico; una viga se mantuvo como control y tres se corroyeron a 10, 20 y 30% teóricos aplicando $200 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ durante 48, 96 y 144 días, respectivamente; el comportamiento estructural se evaluó en flexión a cuatro puntos con luz de 1.40 m, control de flecha en el centro con LVDTs, y posteriormente se extrajeron las barras para una verificación gravimétrica ASTM G1 de la pérdida de masa. En los resultados se constató fisuración longitudinal continua paralela a las barras con ancho promedio de 0.8 mm en el nivel 10%, 1.2 mm en 20% y 1.5 mm en 30%, todos por encima del límite ACI 318 de 0.40 mm; la pérdida de masa real fue 9.8%, 17.4% y 20.8% frente a los objetivos de 10, 20 y 30%, recomendándose no exceder 20% para evitar picaduras y discrepancias altas entre pérdida teórica y real; en la respuesta a flexión, la carga de fisuración descendió de 19.5 kN en la viga control a 17.4 kN en 9.8% de corrosión, 16.4 kN en 17.4% y 16.1 kN en 20.8%, mientras que la carga de fluencia del acero bajó de 75.1 kN a 59.3 kN, 48.2 kN y 46.5 kN y la carga última de 85.5 kN a 70.7 kN, 65.4 kN y 62.8 kN; el modo de falla se mantuvo dúctil con patrón de grietas similar al control, y el estudio concluye cuantitativamente que con 10% de corrosión se destruye el anclaje y la reducción posterior de capacidad queda gobernada por la merma de sección del acero, ofreciendo parámetros de referencia directos para estimar capacidad residual a flexión en vigas expuestas a cloruros.

Antecedentes Nacionales

Castillo y Luncar [19], en su tesis de pregrado titulada “Resistencia y capacidad de adherencia con el concreto del acero de refuerzo sometido a agentes corrosivos”. El objetivo es determinar

si el grado de corrosión producido por agentes presentes en la lluvia ácida modifica las propiedades mecánicas del acero de refuerzo y su interacción con el concreto. Para ello, diseñaron una cámara que emuló las condiciones climáticas de Cusco y emplearon ácido sulfúrico a 0.1 M como acelerante de la corrosión; las varillas se expusieron durante 1, 2 y 3 meses y luego se ensayaron en adherencia (pull-out), tracción y flexión, bajo un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, método hipotético deductivo y diseño experimental. La muestra fue no probabilística e incluyó la totalidad de la población: 168 especímenes: 48 dados $10 \times 10 \times 20$ cm para adherencia, 48 varillas de 52 cm para tracción y 72 viguetas $15 \times 08 \times 50$ cm para flexión, estos distribuidos equitativamente entre patrón, 1, 2 y 3 meses de corrosión. En tracción, el esfuerzo último promedio pasó de 714.49 MPa (patrón) a 722.14 MPa (1 mes), 688.97 MPa (2 meses) y 653.25 MPa (3 meses), con una reducción acumulada de 8.6% a los 3 meses; la deformación unitaria descendió de 5.43% (patrón) a 3.00% (3 meses), evidenciando una merma de ductilidad de 45%. En flexión, el momento último promedio disminuyó de 0.150 Tn.m (patrón) a 0.129 Tn.m (1 mes), 0.142 Tn.m (2 meses) y 0.123 Tn.m (3 meses) hasta 18% de pérdida, y el módulo de rotura pasó de 9.15 N/mm² (patrón) a 8.02, 8.62 y 7.48 N/mm² para 1, 2 y 3 meses, respectivamente con una caída de 18% al tercer mes; en adherencia, los autores reportan que la resistencia a la tensión de adherencia no se incrementó, sino que se redujo con la corrosión. En conjunto, concluyen de forma cuantitativa que la corrosión reduce la resistencia (tracción y flexión) y la ductilidad del acero, y deteriora la interacción acero concreto, con pérdidas representativas: hasta 8.6% en resistencia a tracción, 18% en capacidad a flexión y 45% en deformación unitaria al tercer mes de exposición.

Cerna y Galicia [20], en su investigación titulada “Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material”, el objetivo principal determinar el estado de corrosión del acero de refuerzo y su incidencia en la vida útil de viviendas de concreto en Chimbote; para ello realizaron inspecciones visuales con fichas técnicas y registro fotográfico en tres zonas, seleccionando 15 viviendas por zona, en su mayoría con 20 años de antigüedad y mantenimiento limitado. En la muestra verificaron acero oxidado en más del 60% de las viviendas en cada zona y, específicamente en Villa María, clasificaron la condición del refuerzo así: 33,33% sin corrosión, 20,00% con óxido, 20,00% con corrosión y 26,67% con corrosión grave; por elemento, destacaron afectación de columnas en el 100% de los casos y de sobrecimientos en el 93,33%, evidenciando daño recurrente en componentes críticos. Con estos hallazgos, concluyen que la prevalencia y severidad de la corrosión comprometen servicio y

durabilidad, y justifican acciones preventivas y protocolos de mantenimiento como condición para prolongar la vida útil del parque habitacional evaluado.

Marchena [21], en su tesis de pregrado titulada “Estructuras de concreto y corrosión del acero corrugado en la I.E. Niño Jesús de Praga distrito de SMP 2017”, tuvo como objetivo determinar cómo se ven afectadas las estructuras de concreto por la corrosión del acero corrugado en dicha institución educativa. Para ello empleó un diseño no experimental y transversal correlacional con tratamiento estadístico no paramétrico y sin prueba de hipótesis; la información se recopiló mediante fichas de observación, se organizaron bases de datos y se procesó en Excel. La evaluación incluyó: (i) condiciones ambientales (clasificación de agresividad del medio con base en guías ACI/IVE), (ii) inspección de fisuras (longitudinales, transversales y mixtas) y (iii) carbonatación (permeabilidad del concreto, profundidad del frente y recubrimiento), todo ello aplicado a una muestra de 10 aulas afectadas. En el entorno de Lima se registró una atmósfera urbana con humedad relativa promedio de 88%, lo que corresponde a agresión moderada del ambiente. En los resultados, las fisuras presentaron influencia en nivel moderado en el 100% de los casos; respecto de la carbonatación, el 50% de las aulas mostró influencia moderada por profundidad del frente y 50% por permeabilidad, mientras que la disminución de recubrimiento se ubicó mayoritariamente en nivel moderado 40%. Con apoyo del modelo de Hamada, la profundidad estimada del frente carbonatado se situó entre 0.93 cm y 2.20 cm para relaciones a/c de 0.38 a 0.60, coherentes con la antigüedad del edificio 30 años. En conjunto, el estudio concluyó con datos cuantitativos que, bajo condiciones ambientales moderadamente agresivas, la corrosión del acero se manifiesta con fisuración generalizada (100% en nivel moderado) y parámetros de carbonatación también en nivel moderado (50% de los casos), con pérdidas de recubrimiento relevantes (40%), lo que evidencia un deterioro que puede comprometer la durabilidad y la integridad estructural si no se interviene oportunamente.

Bases teóricas

Definición del concreto

El concreto es un material de construcción compuesto por una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento hidráulico, agua, agregados finos y gruesos, y en algunos casos, aditivos químicos o minerales. Al combinarse, el cemento reacciona con el agua mediante un proceso de hidratación, generando productos que endurecen con el tiempo, lo cual le permite desarrollar una resistencia mecánica considerable y una durabilidad adecuada para aplicaciones

estructurales. De acuerdo con Adam M. Neville [2], el concreto es un material que puede comportarse satisfactoriamente en estado fresco; es decir, ser trabajable, homogéneo y cohesivo, y en estado endurecido, ofreciendo resistencia a compresión y durabilidad bajo distintas condiciones ambientales.

Componentes del concreto

- **Cemento:** Es el aglutinante del concreto. Posee propiedades adhesivas y cohesivas que permiten unir los agregados. Se fabrica a partir de materias primas como caliza, sílice, alúmina y óxidos de hierro. Su composición química, basada en silicatos y aluminatos cálcicos, determina su capacidad de fraguado y resistencia [2].
- **Agregados:** Son materiales granulares que ocupan la mayor parte del volumen del concreto. Se clasifican en agregados finos y gruesos, y su función principal es otorgar estabilidad y resistencia mecánica. Además, influyen en la trabajabilidad, durabilidad y economía del concreto. Deben estar libres de impurezas y presentar una granulometría adecuada para lograr una mezcla homogénea [22].
- **Agua:** Es el componente que permite la hidratación del cemento y aporta fluidez a la mezcla. Su calidad es crucial para evitar reacciones indeseadas o pérdida de resistencia. El agua debe ser limpia, sin contaminantes químicos ni materia orgánica, cumpliendo los requisitos establecidos por normas técnicas [23].

Ensayos de los agregados

Ensayo de granulometría (NTP 400.012 - ASTM C 702 - ASTM C136)

El objetivo del análisis granulométrico es determinar la distribución de los tamaños de las partículas que componen un agregado fino o grueso, mediante el método de tamizado. Esta información permite clasificar los agregados según las especificaciones técnicas, controlar su uniformidad, y evaluar su influencia en las propiedades del concreto, como trabajabilidad, densidad y resistencia. El procedimiento se realiza de acuerdo con la NTP 400.012 (equivalente a la norma ASTM C136) [24], [25] .

Materiales y equipos

- **Agregado fino:** Se trabaja con una cantidad mínima de 300 gramos, siguiendo lo indicado por la norma NTP 400.012 [24].

- Agregado grueso: Para el análisis de piedra de $\frac{1}{2}$ ", se requiere como mínimo una muestra de 2000 gramos.
- Bandejas: Recipientes empleados para contener, pesar y trasladar el material retenido en cada tamiz durante el proceso.
- Balanza: Para el agregado fino se utiliza una balanza con una sensibilidad de 0.1 g. Para el agregado grueso se requiere una balanza con precisión de 0.5 g, o una que represente el 0.1% del peso total de la muestra.
- Tamices: Se emplean tamices normalizados, dispuestos en orden decreciente de abertura. Para agregado fino se usan tamices N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200; y para agregado grueso, tamices de 2", $1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4 y N°16.
- Horno: Utilizado para el secado del material, con temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Cepillo de cerdas suaves: Para limpiar el material adherido a los tamices sin alterar el contenido.
- Agitador mecánico de tamices (opcional): Facilita el tamizado continuo en procesos de laboratorio.

Procedimiento

Para iniciar el ensayo, se realiza la reducción de la muestra original a una muestra representativa mediante el método de cuarteo, conforme a la norma ASTM C702. Luego, esta muestra es introducida en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante, con el fin de eliminar la humedad natural presente [26].

Posteriormente, se registra el peso total de la muestra seca (Wt), ya que este valor será la base para los cálculos posteriores. A continuación, se seleccionan los tamices adecuados y se colocan en orden descendente de abertura sobre una bandeja recolectora, permitiendo una correcta clasificación granulométrica. El proceso de tamizado puede realizarse manual o mecánicamente, con el objetivo de asegurar que las partículas queden bien separadas por tamaño. Una vez concluido el tamizado, se procede a pesar el material retenido en cada tamiz de forma individual. Con todos los datos de peso obtenidos, se calculan la retención acumulada, el porcentaje de material que ha pasado por los tamices y el módulo de fineza, indicadores fundamentales para caracterizar el agregado [26], [24].

Formula módulo de fineza

$$M.F. = \frac{\%Retenido\ acumulado}{100} \quad (1)$$

Ensayo de contenido de humedad (NTP 339.185 - ASTM C 566)

El propósito de este ensayo es determinar el contenido de humedad total presente en los agregados finos o gruesos, a través del secado por calentamiento. Esta medición es esencial para ajustar la cantidad de agua en el diseño de mezclas de concreto, ya que influye directamente en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad de este. El procedimiento se realiza siguiendo los lineamientos establecidos por la NTP 339.185 [27].

Materiales y equipos

- Agregados: Se analiza tanto el agregado fino como el grueso.
- Bandejas: Recipientes resistentes a altas temperaturas, utilizados para contener la muestra durante el secado.
- Balanza: Con una precisión de al menos 0.1 g, que represente el 0.1% del peso total de la muestra.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C para lograr el secado completo de la muestra.

Procedimiento

Primero, se selecciona una muestra representativa y se coloca en un recipiente limpio y seco, asegurando que no haya contaminantes que alteren los resultados. Luego, se registra el peso conjunto de la muestra con el recipiente, antes del proceso de secado, como referencia inicial. En caso de que se analicen distintos tipos de agregados, estos deben clasificarse adecuadamente, etiquetándolos y separándolos en recipientes distintos para evitar mezclas. Una vez preparada la muestra, se introduce en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante un periodo de 24 horas o hasta alcanzar una masa constante, garantizando así la completa eliminación del agua. Tras el secado, las muestras se dejan enfriar a temperatura ambiente y se pesan nuevamente. La diferencia de peso respecto al valor inicial refleja la cantidad de humedad evaporada durante el proceso [27], [28].

Cálculo del contenido de humedad

La fórmula empleada para calcular el porcentaje de humedad total es:

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

- P: Humedad total de la muestra (%).
- W: Masa inicial de la muestra húmeda (g).
- D: Masa de la muestra seca (g).

Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021- ASTM C127)

El objetivo del presente ensayo es determinar el peso específico (masa específica) y la absorción de agua del agregado grueso. Estos parámetros son fundamentales en el diseño de mezclas de concreto, ya que permiten ajustar las proporciones de los materiales para obtener la trabajabilidad, durabilidad y resistencia deseadas. La metodología empleada se basa en los procedimientos establecidos por la NTP 400.021 [29].

Materiales y equipos

- Agregados: Se ensaya el agregado grueso, en estado natural.
- Bandejas: Utilizadas para contener y transportar las muestras. Deben ser resistentes a altas temperaturas.
- Balanza: Con sensibilidad mínima de 0.1 g, que asegure una exactitud de 0.1% del peso de la muestra.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C para el secado de las muestras.
- Canastilla metálica: Con aberturas de aproximadamente 2.8 mm, diseñada para suspender el agregado en el agua durante el ensayo.
- Depósito de agua: Recipiente conectado a la balanza, en el que se sumerge la canastilla con el agregado para medir el peso sumergido.

Procedimiento

El procedimiento inicia con el secado del agregado en un horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante. Luego, se deja enfriar entre 1 a 3 horas bajo sombra para estabilizar su temperatura. A continuación, la muestra seca se sumerge completamente en agua a temperatura ambiente durante un mínimo de 24 horas, buscando lograr una saturación total del agregado. Después de la inmersión, el agregado se seca con un paño absorbente para eliminar el exceso de agua en su superficie, obteniendo así el peso de la muestra saturada superficialmente seca (PSSS). Posteriormente, la muestra se coloca en una canastilla y se introduce en un recipiente con agua conectado a una balanza, registrando el peso bajo el agua. Finalmente, se realiza un nuevo secado a 110 ± 5 °C para obtener nuevamente el peso de la muestra completamente seca, asegurando que toda la humedad haya sido eliminada [30], [31].

Cálculos

Se utilizan las siguientes fórmulas:

$$P_{em} = \left(\frac{A}{B - C} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$P_{ea} = \left(\frac{A}{A - C} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$P_{esss} = \left(\frac{B}{B - C} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$Abs (\%) = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

- A: Peso de la muestra seca al aire (g).
- B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca al aire (g).
- C: Peso de la muestra saturada sumergida en agua (g).
- Pem: Peso específico de la masa.
- Pea: Peso específico aparente.
- Pesss: Peso específico de la muestra saturada superficialmente seca.
- Abs: Porcentaje de absorción de agua.

Ensayo peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022 - ASTM C 128)

El presente ensayo tiene como finalidad determinar el peso específico y la absorción de agua del agregado fino. Estos parámetros permiten ajustar la cantidad de agua y agregados en el diseño de mezclas de concreto, asegurando una correcta relación agua/cemento, una adecuada trabajabilidad y una mayor durabilidad del concreto endurecido. El procedimiento se desarrolla conforme a la NTP 400.022 [32].

Materiales y equipos

- Agregado fino: Muestra representativa del material en estado natural.
- Bandejas: Recipientes resistentes al calor para contener, tarar y trasladar las muestras.
- Balanza: Con precisión mínima de 0.1 g, adecuada para medir con exactitud el peso del agregado.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Fiola: Frasco volumétrico con capacidad de 500 cm³, calibrado con precisión de 0.1 cm³.
- Cono de absorción de arena: Utilizado para verificar el estado de saturación superficialmente seca.
- Varilla de apisonado: Instrumento metálico de sección circular, con un diámetro de 25 ± 3 mm, empleado para compactar el agregado dentro del molde cónico.

Procedimiento

El procedimiento comienza con el secado de la muestra obtenida mediante el cuarteo, la cual se introduce en un horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante. Posteriormente, se sumerge completamente en agua y se deja reposar durante un mínimo de 24 horas para asegurar la saturación completa del agregado. Luego del periodo de inmersión, se realiza el secado superficial. Para ello, la muestra se introduce nuevamente en el horno hasta que esté seca al tacto. A continuación, se lleva a cabo la verificación de la condición superficial seca, para lo cual se coloca un cono sobre una superficie plana y se llena con el agregado fino. Este se compacta suavemente con 25 golpes utilizando una varilla de apisonado. Al retirar el molde, se observa el material; si este se desmorona en tres cuartas partes, se considera que el agregado está en condición superficialmente seca. Una vez verificado esto, se procede a la determinación

del volumen. Se introducen 500 g del agregado en una fiola y se añade agua hasta alcanzar aproximadamente los 1000 cm³, manteniendo una temperatura de 23 ± 2 °C. Durante esta etapa, es importante eliminar las burbujas de aire presentes en la mezcla para garantizar la precisión del volumen. Finalmente, se retira nuevamente el agregado del recipiente y se seca en horno durante 24 horas, completando así el ensayo [32], [33].

Cálculo

Se utilizan las siguientes fórmulas:

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100 \quad (7)$$

$$P_{esss} = \frac{V}{(V - V_a)} \times 100 \quad (8)$$

$$MP_{ea} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (V - W_o)} \times 100 \quad (9)$$

$$Abs (\%) = \frac{V - W_o}{W_o} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

- Pem: Peso específico de la masa (g/cm³)
- Pesss: Peso específico de la muestra saturada superficialmente seca (g/cm³)
- Pea: Peso específico aparente (g/cm³)
- Abs: Porcentaje de absorción de agua
- Wo: Peso de la muestra seca (g)
- V: Volumen total del frasco (cm³)
- Va: Volumen del agua añadida al frasco (g o cm³)

Ensayo peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017 – ASTM C29/C29M)

El ensayo tiene como propósito determinar el peso unitario suelto (PUS) y el peso unitario compactado (PUC) del agregado fino o grueso. Estos parámetros son fundamentales para estimar el volumen que ocuparán los agregados en un diseño de mezcla, así como su grado de

compactación en diferentes condiciones de almacenamiento, transporte o colocación en obra [34].

Materiales y equipos

- Agregado: Fino y/o grueso, en condiciones naturales de almacenamiento.
- Moldes cilíndricos: Generalmente se emplea una probeta de volumen conocido.
- Balanza: Precisión mínima de 0.1 g.
- Varilla de acero con punta hemisférica: Se emplea para varillar o golpear el material.
- Martillo de goma (solo para el PUC): Utilizado para compactar el material por capas.

PESO UNITARIO SUELTO (PUS)

Procedimiento

Para iniciar el ensayo, se toma una muestra representativa del agregado, siguiendo lo establecido en la norma NTP 400.010. Esta muestra es reducida por cuarteo, asegurando que el volumen obtenido represente entre el 125 % y el 200 % del volumen del molde a utilizar. A continuación, se llena el molde en tres capas de aproximadamente 10 cm cada una. Primero, se vierte la capa inicial con un cucharón, sin compactar. Luego, se agrega la segunda capa del mismo modo. Finalmente, se completa con la tercera capa, cuidando que el material sobresalga ligeramente para nivelar posteriormente. Una vez lleno el molde, se nivela la superficie con una varilla sin aplicar compactación. Posteriormente, se pesa el recipiente con el agregado y, por separado, el recipiente vacío. Con estos datos, se procede a calcular el peso unitario suelto empleando las fórmulas correspondientes [34], [35].

Cálculos

Para calcular el peso unitario suelto se emplean las siguientes fórmulas.

$$f = \frac{1000}{W_a} \quad (11)$$

$$PUS = \frac{G - T}{V} \quad (12)$$

$$PUS = (G - T) \times f \quad (13)$$

$$PUS = f \times W_s \quad (14)$$

Donde:

- f : Factor de calibración del recipiente
- W_a : Peso del agua (g)
- G : Peso del recipiente con agregado (g)
- T : Peso del recipiente vacío (g)
- V : Volumen del recipiente (cm³)
- W_s : Peso de la muestra seca (g)
- PUS : Peso unitario suelto (kg/m³)

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)

Procedimiento

Se utiliza la misma muestra previamente reducida del agregado para realizar el ensayo. El molde se llena en tres capas, cada una de aproximadamente 10 cm de altura. Para cada una de estas capas, se aplica una compactación específica: se realizan 25 golpes con una varilla o, alternativamente, 15 golpes utilizando un martillo de goma, asegurando una distribución uniforme del material. Una vez colocadas y compactadas las capas, se nivela la superficie del agregado con cuidado. Luego, se pesa el molde lleno con el agregado y, por separado, el molde vacío. Finalmente, con los datos obtenidos, se calcula el peso unitario compactado (PUC) mediante las fórmulas correspondientes [34], [35].

Cálculo

El cálculo del PUC utiliza las mismas fórmulas del PUS, pero el peso del agregado corresponde al estado compactado.

$$f = \frac{1000}{W_a} \quad (15)$$

$$PUS = \frac{G - T}{V} \quad (16)$$

$$PUS = (G - T) \times f \quad (17)$$

$$PUS = f \times W_s \quad (18)$$

Donde:

- f: Factor de calibración del recipiente.
- Wa: Peso del agua (g).
- G: Peso del recipiente con agregado (g).
- T: Peso del recipiente vacío (g).
- V: Volumen del recipiente (cm³).
- W_s: Peso de la muestra seca (g).
- PUS: Peso unitario suelto (kg/m³).

Ensayo del concreto en estado fresco

Asentamiento (Slump) (NTP 339.035 - ASTM C143)

El objetivo de este ensayo es determinar la consistencia o trabajabilidad del concreto fresco mediante la medición de su asentamiento (slump). Este valor indica la facilidad con la que una mezcla de concreto puede ser colocada, compactada y acabada, sin presentar segregación ni pérdida de homogeneidad. El resultado es fundamental para controlar la uniformidad del concreto en obra y evaluar si cumple con las especificaciones del diseño de mezcla [36].

Equipos y materiales

- Cono de Abrams.
- Varilla metálica lisa de 5/8".
- Wincha o regla graduada.
- Cucharón.

Procedimiento

El ensayo inicia con la preparación del equipo. Se humedece el interior del cono de Abrams y la superficie de base, colocándolo sobre una base firme y horizontal para garantizar estabilidad durante el llenado. A continuación, se llena el cono en tres capas aproximadamente iguales. La primera capa se llena hasta un tercio de la altura total del molde y se compacta con 25 golpes

uniformes usando una varilla. Luego, se llena hasta dos tercios con la segunda capa y se repite el varillado con otros 25 golpes. Finalmente, se completa el llenado con la tercera capa, asegurando que el concreto llegue al borde superior del molde y se compacta nuevamente con 25 golpes. Cada capa debe ser varillada penetrando ligeramente en la capa inferior para asegurar una buena integración del concreto. Una vez lleno el molde, se alisa la superficie superior del concreto con una varilla o paleta. Acto seguido, se retira el molde levantándolo verticalmente en un tiempo de 5 ± 2 segundos, evitando vibraciones o inclinaciones que alteren el resultado. Finalmente, se mide el asentamiento (slump) registrando la diferencia entre la altura original del molde y la mayor altura alcanzada por el concreto colapsado. Esta medición debe realizarse de inmediato para obtener un resultado preciso [36], [37].

Peso unitario del concreto (NTP 339.046 - ASTM C138 / C138M)

Este ensayo tiene como finalidad determinar el peso unitario del concreto fresco, también conocido como densidad del concreto en estado fresco. Este valor permite evaluar el rendimiento volumétrico de la mezcla, controlar la uniformidad entre diferentes cargas [38].

Equipos y materiales

- Recipiente o molde de medida de volumen conocido metálico o plástico rígido.
- Balanza.
- Varilla metálica.
- Paleta o cucharón.
- Concreto fresco.
- Martillo de goma, se utiliza para compactar el concreto golpeando lateralmente el recipiente.

Procedimiento

El recipiente se llena en tres capas iguales. Cada capa debe compactarse aplicando 25 golpes con la varilla, distribuidos de forma uniforme. Además, se dan 15 golpes laterales con un martillo de goma para asegurar una buena compactación. Al finalizar la tercera capa, se nivela la superficie con una regla metálica. Luego, se procede al pesaje. Se pesa el recipiente lleno con concreto y, posteriormente, se le resta el peso del recipiente vacío para obtener el peso neto del concreto [38], [39].

Cálculos

Peso unitario (densidad):

$$\text{Peso Unitario} = \frac{P_{\text{concreto}}}{V} \quad (19)$$

Donde:

- $P_{\text{concreto}} = P_{\text{total}} - P_{\text{recipiente}}$ (peso neto del concreto fresco)
- V: volumen del recipiente (m^3 o L)
- El resultado se expresa en kg/m^3

Medición de Temperatura del Concreto (NTP 339.184 - ASTM C1064/C1064M)

Este ensayo tiene como finalidad determinar la temperatura del concreto fresco al momento de su muestreo o colocación. Este valor es fundamental para controlar las condiciones de mezclado, transporte y colocación del concreto, ya que influye directamente en el tiempo de fraguado, la resistencia a temprana edad y la durabilidad de la mezcla [40].

Equipos y materiales

- Termómetro calibrado: Capaz de medir con precisión de $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, con un rango adecuado para concretos entre $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y $50 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Recipiente no absorbente: Molde limpio, adecuado para contener la muestra.

Procedimiento

Se extrae el concreto fresco directamente del mezclador y se coloca en un recipiente limpio y húmedo, evitando la presencia de agua libre. Luego, se introduce el bulbo o sensor del termómetro en el concreto a una profundidad mínima de 75 mm, cuidando que no haya contacto con las paredes del recipiente ni presencia de burbujas de aire. Después, se espera entre 2 a 5 minutos para permitir que la lectura del termómetro se estabilice. Finalmente, se registra la temperatura con una precisión de $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Es importante que el tiempo entre el muestreo y la lectura no exceda los 5 minutos [40], [41].

Ensayos del concreto en estado endurecido

Resistencia a la compresión (NTP 339.034 - ASTM C39/C39M)

Determinar la capacidad del concreto endurecido para resistir cargas de compresión axial, evaluando su comportamiento estructural bajo esfuerzos de carga directa. Este ensayo permite verificar si el concreto cumple con la resistencia especificada en el diseño estructural, controlar la calidad del material en obra y establecer su grado de maduración en función del tiempo de curado [42].

Equipos y materiales

- Prensa hidráulica: Máquina de ensayo calibrada, capaz de aplicar cargas axiales controladas.

Procedimiento

Las probetas deben estar previamente curadas durante el tiempo establecido por la especificación. Una vez retiradas del tanque o cámara húmeda, se secan superficialmente antes del ensayo. Luego, se realiza la verificación dimensional midiendo el diámetro de cada probeta en dos direcciones perpendiculares, lo cual permite calcular el área promedio para el análisis. Posteriormente, se coloca la probeta centrada en la prensa de compresión, asegurando una correcta alineación axial. Se aplica la carga axial de manera continua, sin golpes ni interrupciones, hasta que ocurra la falla del espécimen. Finalmente, se registra la carga máxima alcanzada justo en el momento de la rotura [42], [43].

Cálculo

La resistencia a la compresión se calcula con la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_n} \quad (20)$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia a la compresión en kg/cm^2
- $P_{m\acute{a}x}$: Carga en kgf
- A_n : Área de la muestra en cm^2

Resistencia a la flexión (NTP 339.078 - ASTM C78/C78M)

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la flexión del concreto endurecido, también llamada módulo de ruptura. Este valor representa la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de tracción indirectos inducidos por flexión, y se utiliza en el diseño de pavimentos, losas y elementos estructurales sometidos a cargas distribuidas [44].

Equipos y materiales

- Máquina de ensayo de flexión: Con capacidad para aplicar cargas mediante un sistema de apoyo simple con dos puntos de carga a los tercios del claro.
- Vigas de concreto: Probetas prismáticas moldeadas y curadas adecuadamente.
- Soportes y cuchillas de carga: Con bordes redondeados alineados con precisión.
- Calibrador o vernier: Para medir las dimensiones reales de las vigas.

Procedimiento

Las vigas deben estar curadas hasta la edad especificada para el ensayo. Antes de ser colocadas en el equipo, se limpian y se miden sus dimensiones reales para asegurar precisión en los resultados. Una vez listas, la viga se apoya sobre dos rodillos separados, y se disponen las cargas aplicándolas en los tercios del claro. La carga se aplica de forma continua, sin impactos, y se mantiene hasta que la viga se fracture. Finalmente, se registra la carga máxima aplicada (P) justo en el momento de la ruptura [44], [45].

Cálculos

La resistencia a la flexión (módulo de ruptura) se calcula con la fórmula:

$$R = \frac{P \times L}{b \times d^2} \quad (21)$$

Donde:

- R: Resistencia a la flexión (MPa)
- P: Carga máxima aplicada (N)
- L: Longitud del claro entre apoyos (mm)
- b: Ancho de la sección de la viga (mm)

- d: Altura de la sección de la viga (mm)

Ensayo a Tracción (NTP 339.084 - ASTM C496/C496M)

Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a tracción simple del concreto mediante compresión diametral de una probeta cilíndrica (ensayo brasileño). Dado que el concreto presenta baja resistencia a tracción directa y su ensayo es difícil de ejecutar y alinear, este método indirecto se emplea como alternativa práctica, confiable y reproducible para estimar la resistencia a tracción del concreto [40].

Equipos y materiales

- Máquina de ensayo de compresión: Con capacidad para aplicar carga axial controlada.
- Probetas cilíndricas: De 150 mm de diámetro × 300 mm de altura, curadas según procedimientos normalizados.
- Regla o vernier: Para medir las dimensiones exactas de la muestra.

Procedimiento

Las probetas deben estar curadas adecuadamente y secas superficialmente antes del ensayo. Se mide con precisión su diámetro y altura para garantizar resultados fiables. Posteriormente, se coloca la probeta en la máquina de ensayo de forma horizontal, es decir, de lado, entre las placas de la prensa. La carga axial se aplica de manera continua y uniforme a lo largo del diámetro vertical de la probeta. Esta se mantiene hasta que la muestra falle, lo cual genera una fractura vertical típica de un esfuerzo de tracción indirecta. Finalmente, se anota la carga máxima (P) alcanzada justo antes de la rotura [40], [46].

Cálculos

Formula de resistencia a tracción:

$$f_t = \frac{2P}{\pi \times L \times D} \quad (22)$$

Donde:

- f_t : Resistencia a tracción indirecta (MPa)
- P: Carga máxima aplicada (N)
- L: Longitud de la probeta (mm)

- D: Diámetro de la probeta (mm)

Concreto Armado

El concreto armado es un sistema estructural compuesto por concreto y acero de refuerzo, diseñado para aprovechar la resistencia a compresión del concreto y la resistencia a tracción del acero. Esta combinación permite obtener elementos con alta capacidad estructural, durabilidad y eficiencia ante esfuerzos combinados, siendo ampliamente utilizado en la construcción por su flexibilidad y desempeño frente a cargas estructurales y condiciones ambientales [47].

Características del concreto armado

- **Combinación de resistencias:** El concreto armado combina dos materiales con propiedades complementarias: el concreto resiste eficazmente los esfuerzos de compresión, mientras que el acero absorbe los esfuerzos de tracción. Esta interacción permite que el conjunto estructural responda adecuadamente a diferentes tipos de carga, mejorando el desempeño global de la estructura [2].
- **Adherencia entre concreto y acero:** La adherencia entre concreto y acero es clave para el funcionamiento del concreto armado. Dicha unión permite que ambos materiales trabajen en conjunto sin deslizamientos, asegurando la transferencia de esfuerzos. El uso de acero corrugado mejora la adherencia mecánica debido a la fricción superficial. Esta propiedad es esencial para que el acero actúe efectivamente en conjunto con el concreto [48].
- **Durabilidad:** El concreto actúa como una barrera protectora para el acero de refuerzo frente a agentes agresivos como la humedad, cloruros y dióxido de carbono. Su pH elevado permite formar una capa pasiva sobre el acero que retrasa la corrosión. Cuando se emplea una mezcla bien dosificada y se garantiza un recubrimiento adecuado, se prolonga significativamente la vida útil de la estructura [2].
- **Ductilidad:** El acero aporta al concreto armado la capacidad de deformarse sin colapsar bruscamente, lo que resulta fundamental en zonas sísmicas. Esta ductilidad permite que la estructura disipe energía durante movimientos telúricos, reduciendo el riesgo de colapso repentino y protegiendo vidas humanas [49].

Efectos de la corrosión en el concreto armado

Según Martínez [50], la corrosión en las estructuras de concreto armado tiene varios efectos negativos que afectan tanto la durabilidad como la capacidad estructural del materia los principales efectos son:

- Fisuración del concreto: La expansión de los productos de corrosión genera tensiones internas en el concreto, provocando fisuras que facilitan la entrada de agentes agresivos y aceleran el deterioro.
- Perdida de Adherencia: La corrosión del acero reduce la adherencia entre el concreto y acero, disminuyendo la capacidad portante y comprometiendo la estabilidad estructural.
- Reducción de la Sección de Acero: A medida que la corrosión avanza, el acero pierde sección debido a la formación de óxidos, reduciendo su capacidad de carga y resistencia.
- Deterioro Estético y Funcional: Las manchas de óxido y la fisuración afectan la apariencia y funcionalidad de la estructura, comprometiendo su propósito original.
- Costos de Reparación y Mantenimiento: La corrosión implica elevados costos de reparación y mantenimiento, y en casos extremos, puede requerir la demolición y reconstrucción de la estructura.

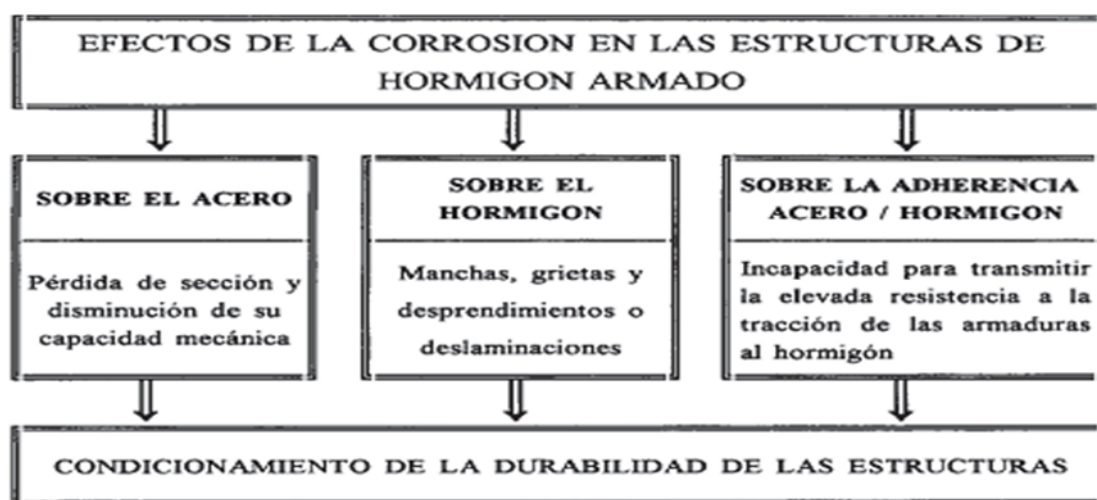


Fig. 1. Esquema de efectos y síntomas visibles de corrosión [50]

Acero de refuerzo

El acero es un material que complementa al concreto armado, ya que compensa su limitada resistencia a la tracción. Además, el entorno alcalino del concreto genera una película pasiva sobre la superficie del acero, protegiéndolo inicialmente contra la corrosión [2].

Características del acero de refuerzo

El acero de refuerzo destinado al concreto armado presenta corrugaciones que mejoran la adherencia mecánica con el concreto, a diferencia de los alambres lisos o mallas electrosoldadas. Según la norma (ASTM A615/A615M) , las barras pueden presentar óxidos superficiales, pliegues menores o cascarilla de laminación sin ser motivo de rechazo, siempre que conserven sus propiedades mecánicas, sección transversal y masa, comprobadas mediante muestras cepilladas [51].

Propiedades del acero

El acero de refuerzo es un material indispensable en la construcción con concreto armado debido a sus propiedades mecánicas que lo convierten en el complemento ideal del concreto frente a esfuerzos de tracción. Según Neville [2], el acero presenta una combinación óptima de resistencia, ductilidad y adherencia, factores que garantizan un comportamiento estructural seguro y eficiente.

Límite elástico o punto de fluencia: definido como el esfuerzo a partir del cual el material deja de comportarse elásticamente y empieza a deformarse de manera permanente. En los aceros corrugados utilizados en obras civiles, este valor suele encontrarse en el orden de 420 MPa, permitiendo resistir grandes esfuerzos sin ruptura inmediata [2].

Resistencia a la tracción: La resistencia a la tracción del acero representa el esfuerzo máximo que puede soportar antes de romperse cuando es sometido a una carga axial de tracción. En aceros estructurales comunes, este valor se sitúa entre 400 y 600 MPa, dependiendo del tipo y proceso de fabricación. Esta propiedad es fundamental en el diseño de elementos sometidos a tensiones elevadas y es indicativa de la capacidad del acero para resistir fallas frágiles. Además, el acero se caracteriza por su ductilidad, permitiendo una notable deformación antes de la fractura, lo cual es deseable en el diseño sísmico. Según Beer et al [52], la resistencia última a

la tracción es uno de los parámetros principales que definen el comportamiento estructural de un material metálico bajo carga

Ductilidad: La ductilidad es la capacidad del acero para deformarse plásticamente antes de fracturarse. Esta propiedad es crucial en zonas sísmicas, ya que permite a las estructuras absorber y disipar energía durante un sismo, evitando fallas frágiles. El Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón de AZA [53] destaca la importancia de la ductilidad en el diseño de estructuras resistentes a eventos sísmicos.

Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es una constante mecánica que mide la rigidez del acero, definida como la razón entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante en la zona elástica. En el caso del acero, este valor es típicamente de 200 000 MPa, lo que refleja una alta capacidad para resistir deformaciones bajo cargas de servicio. Esta propiedad es crucial para asegurar que el acero y el concreto trabajen de manera compatible, sin deformaciones diferenciales significativas. Según Rivera [54], el módulo de elasticidad es una propiedad intrínseca del material que permite predecir su comportamiento elástico bajo solicitaciones, siendo independiente de la forma o tamaño del elemento estructural.

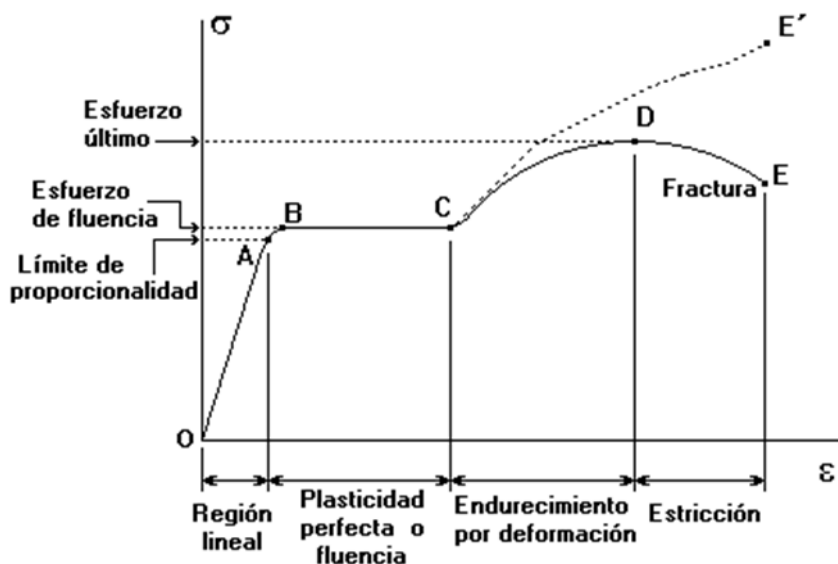


Fig. 2. Curva Esfuerzo-Deformación del Acero [55]

La curva esfuerzo-deformación del acero de refuerzo describe su comportamiento bajo cargas de tracción y se divide en varias regiones:

- A. Región Elástica: En esta fase inicial, el acero se deforma proporcionalmente al esfuerzo aplicado. Si se elimina la carga, el material recupera su forma original.
- B. Punto de Fluencia: Es el esfuerzo a partir del cual el acero comienza a deformarse plásticamente, es decir, las deformaciones son permanentes y no se recuperan al eliminar la carga.
- C. Región de Endurecimiento por Deformación: Después de la fluencia, el acero requiere un aumento en el esfuerzo para continuar deformándose, debido al endurecimiento por trabajo.
- D. Punto de Máxima Resistencia: Es el máximo esfuerzo que el acero puede soportar antes de comenzar a fallar.
- E. Fractura: Finalmente, el material se rompe después de alcanzar su límite de deformación.

Corrosión del Acero de refuerzo

Definición de corrosión

La corrosión del acero en el concreto es un proceso electroquímico que ocurre cuando agentes agresivos, como los iones de cloruro y el dióxido de carbono, penetran en el concreto y alcanzan la superficie del acero, rompiendo la capa pasiva protectora de óxidos o hidróxidos que se forma en condiciones de pH alto típicas del concreto no contaminado [56]. Esta ruptura de la capa pasiva, conocida como des pasivación, permite que se inicie la corrosión activa, un proceso de oxidación-reducción en el cual el hierro se disuelve y se forman productos de corrosión expansivos que pueden causar agrietamiento y deterioro adicional del concreto [57]. La presencia de cloruros, provenientes de sales de deshielo, agua de mar u otras fuentes, y el dióxido de carbono del aire son los principales factores que contribuyen a la des pasivación y posterior corrosión del acero [11], [12] .La insuficiente cantidad de oxígeno, la formación de celdas galvánicas por el contacto de diferentes metales y las corrientes errantes también pueden acelerar este proceso corrosivo [57].

Tipos de corrosión

Corrosión Uniforme

La corrosión uniforme en el acero de refuerzo se caracteriza por una pérdida constante y homogénea de material en toda la superficie expuesta del metal. Este tipo de corrosión ocurre cuando el metal se encuentra en un ambiente agresivo, como en presencia de humedad, oxígeno y sustancias corrosivas, y no cuenta con protección adecuada. En el caso del concreto armado, la corrosión uniforme puede ser provocada por la exposición continua a cloruros, como los que se encuentran en ambientes marinos o en carreteras tratadas con sales de deshielo. Aunque la profundidad de la corrosión puede variar ligeramente, no presenta áreas localizadas de ataque profundo como en la corrosión por picaduras. La detección y gestión de la corrosión uniforme es más sencilla debido a su naturaleza generalizada, pero si no se controla, puede llevar a una reducción significativa del grosor del acero, comprometiendo la integridad estructural del concreto armado. Este tipo de corrosión es más fácil de predecir y mitigar a través de la aplicación de recubrimientos protectores, el uso de inhibidores de corrosión y la selección de materiales resistentes a la corrosión [58].

Corrosión inducida por cloruros

En el libro de Broomfield [59] explica que la corrosión inducida por cloruros en el acero ocurre cuando los iones de cloruro penetran el concreto y alcanzan la superficie del acero, rompiendo la capa protectora de óxidos y provocando la formación de picaduras (pitting). Esta corrosión es común en ambientes marinos y en estructuras expuestas a sales de deshielo, y puede ser desencadenada tanto por cloruros presentes en los materiales de construcción como por los que ingresan del entorno. El proceso resulta en la disolución del hierro y la expansión de productos de corrosión que pueden causar daños significativos al concreto, comprometiendo su integridad estructural. Los cloruros pueden provenir de varias fuentes:

- Interna: Materiales de mezcla contaminados, uso de cloruro de calcio como acelerador en el concreto, etc.
- Externa: Sal marina en ambientes costeros, sales de deshielo utilizadas en carreteras. Los cloruros atacan la capa pasiva de óxidos protectores en la superficie del acero sin necesariamente reducir el pH del concreto. La presencia de cloruros actúa como un catalizador en el proceso de corrosión, facilitando la disolución del hierro y la formación de productos de corrosión.

Corrosión localizada

Corrosión por picadura

En el manual realizado por Carruyo et al [60] menciona que la corrosión por picadura se produce cuando la película pasiva protectora del acero se disuelve en áreas específicas debido a la presencia de iones cloruro, que provienen del ambiente externo o estar presentes en el hormigón desde su mezcla. Esto forma celdas de corrosión donde las áreas intactas actúan como cátodos reduciendo el oxígeno, mientras que las áreas afectadas, los ánodos, sufren la disolución del acero. Este proceso es auto catalítico, ya que los iones cloruro favorecen la hidrólisis del hierro, produciendo iones H^+ y Cl^- , lo que disminuye el pH local y perpetúa la corrosión. Factores como la concentración de cloruros, las condiciones ambientales y los defectos superficiales contribuyen a la iniciación y profundización de las picaduras, haciendo que la corrosión sea continua y severa.

Factores que contribuyen a este tipo de corrosión: concentración de cloruros, condiciones ambientales y defectos superficiales.

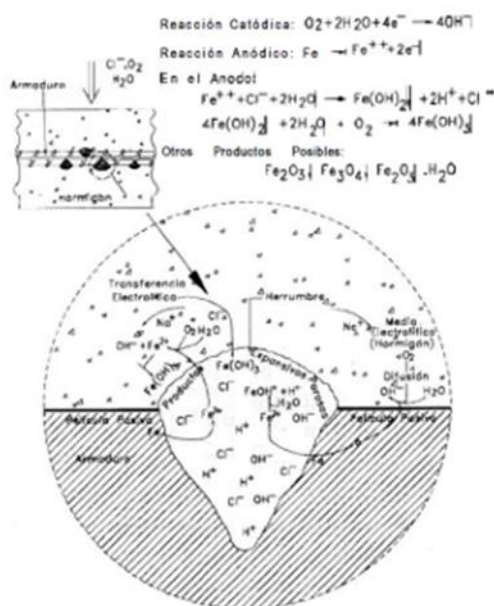


Fig. 3. Mecanismo de Corrosión por Picadura [60]

Corrosión por Espacios Confinados

En el manual realizado por Carruyo et al [60] menciona que la corrosión de este tipo ocurre cuando hay un área del metal que está protegida lo suficiente para evitar que el oxígeno llegue continuamente, lo que puede crear zonas con diferentes niveles de oxígeno que provocan la

corrosión del refuerzo. Hay varias situaciones que pueden causar este daño. Por ejemplo, la inyección de grietas (ya sea estructurales o por corrosión) con material epoxi puede permitir que el medio corrosivo alcance el refuerzo, acelerando así la corrosión debido a la falta de oxígeno. Otro ejemplo es la corrosión del acero de refuerzo con recubrimientos, como los epoxis, cuando la adherencia entre el recubrimiento y el acero se ha deteriorado. Además, si hay iones cloruro en el hormigón, pueden acumularse entre el recubrimiento y el acero, lo que reduce el pH en ese espacio y agrava el proceso de corrosión por un mecanismo auto-catalítico, similar a la corrosión por picadura, lo que resulta en una mayor pérdida de adherencia. El deterioro de la adherencia entre el acero y el recubrimiento puede ocurrir debido a daños mecánicos (durante el doblado de las varillas) o a procesos electroquímicos que pueden ocurrir en el hormigón incluso antes de que los iones cloruro lo penetren.

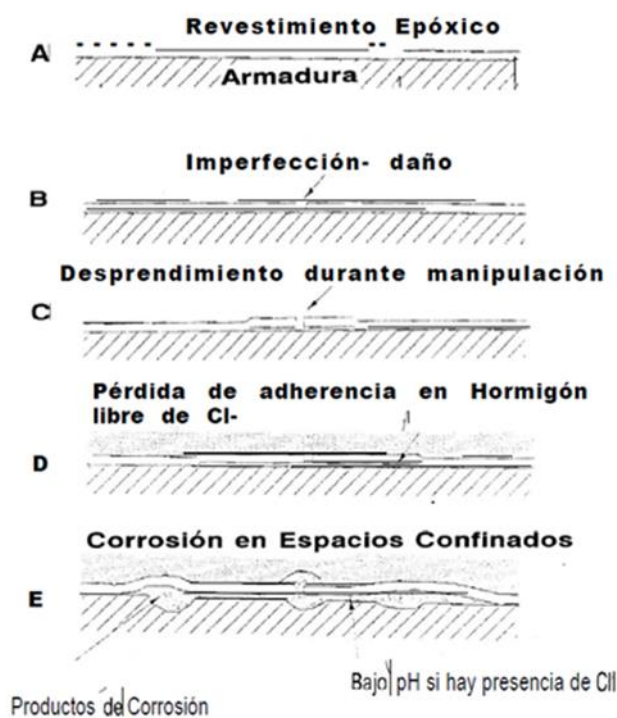


Fig. 4. Mecanismo de Corrosión por Espacios Confinados [60]

Nivel de corrosión del acero

La corrosión del acero de refuerzo es considerada una de las principales causas de deterioro en estructuras de concreto armado expuestas a ambientes agresivos, como zonas costeras o industriales. Este proceso electroquímico conlleva a la pérdida progresiva de sección del acero,

fisuración del concreto, reducción de la adherencia acero-concreto y pérdida de capacidad estructural [61].

Clasificación del nivel de corrosión

La norma ISO 9223 [62], establece una metodología sistemática para clasificar la corrosividad atmosférica de un entorno en seis categorías: C1 a CX. Esta clasificación se basa en la tasa de pérdida de masa de metales como el acero, y toma en cuenta factores ambientales como la humedad relativa, temperatura, y presencia de contaminantes atmosféricos. El propósito de esta norma es facilitar la elección de materiales y estrategias de protección frente a la corrosión, así como contextualizar resultados obtenidos de estudios en campo.

Desde el punto de vista técnico y normativo, la corrosión se clasifica desde dos enfoques complementarios:

1. Según la agresividad del ambiente en que se encuentra la estructura, que influye directamente en la velocidad de corrosión esperada.
2. Según la medición directa del daño en el acero, que permite evaluar el nivel de corrosión a partir de ensayos en laboratorio o en campo.

TABLA I
CATEGORÍA DE CORROSIVIDAD DE LA ATMOSFERA

Category	Corrosivity
C1	Very low
C2	Low
C3	Medium
C4	High
C5	Very high
CX	Extreme

Agresividad del Medio Ambiente / ISO 9223

La norma ISO 9223 [62] clasifica los ambientes atmosféricos según su capacidad para inducir corrosión en metales, a partir de parámetros como humedad relativa anual, temperatura promedio, tiempo de humectación, concentración de dióxido de azufre (SO₂) y presencia de cloruros. Esta clasificación permite prever la durabilidad de materiales metálicos o de concreto armado con acero embebido.

TABLA II

DESCRIPCIÓN DE ENTORNOS ATMOSFÉRICOS TÍPICOS RELACIONADOS CON LA ESTIMACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CORROSIVIDAD

Corrosivity category ^a	Corrosivity	Typical environments — Examples ^b	
		Indoor	Outdoor
C1	Very low	Heated spaces with low relative humidity and insignificant pollution, e.g. offices, schools, museums	Dry or cold zone, atmospheric environment with very low pollution and time of wetness, e.g. certain deserts, Central Arctic/Antarctica
C2	Low	Unheated spaces with varying temperature and relative humidity. Low frequency of condensation and low pollution, e.g. storage, sport halls	Temperate zone, atmospheric environment with low pollution (SO ₂ < 5 µg/m ³), e.g. rural areas, small towns Dry or cold zone, atmospheric environment with short time of wetness, e.g. deserts, subarctic areas
C3	Medium	Spaces with moderate frequency of condensation and moderate pollution from production process, e.g. food-processing plants, laundries, breweries, dairies	Temperate zone, atmospheric environment with medium pollution (SO ₂ : 5 µg/m ³ to 30 µg/m ³) or some effect of chlorides, e.g. urban areas, coastal areas with low deposition of chlorides Subtropical and tropical zone, atmosphere with low pollution
C4	High	Spaces with high frequency of condensation and high pollution from production process, e.g. industrial processing plants, swimming pools	Temperate zone, atmospheric environment with high pollution (SO ₂ : 30 µg/m ³ to 90 µg/m ³) or substantial effect of chlorides, e.g. polluted urban areas, industrial areas, coastal areas without spray of salt water or, exposure to strong effect of de-icing salts Subtropical and tropical zone, atmosphere with medium pollution
C5	Very high	Spaces with very high frequency of condensation and/or with high pollution from production process, e.g. mines, caverns for industrial purposes, unventilated sheds in subtropical and tropical zones	Temperate and subtropical zone, atmospheric environment with very high pollution (SO ₂ : 90 µg/m ³ to 250 µg/m ³) and/or significant effect of chlorides, e.g. industrial areas, coastal areas, sheltered positions on coastline
Corrosivity category ^a	Corrosivity	Typical environments — Examples ^b	
		Indoor	Outdoor
CX	Extreme	Spaces with almost permanent condensation or extensive periods of exposure to extreme humidity effects and/or with high pollution from production process, e.g. unventilated sheds in humid tropical zones with penetration of outdoor pollution including airborne chlorides and corrosion-stimulating particulate matter	Subtropical and tropical zone (very high time of wetness), atmospheric environment with very high SO ₂ pollution (higher than 250 µg/m ³) including accompanying and production factors and/or strong effect of chlorides, e.g. extreme industrial areas, coastal and offshore areas, occasional contact with salt spray
NOTE 1 Deposition of chlorides in coastal areas is strongly dependent on the variables influencing the transport inland of sea salt, such as wind direction, wind velocity, local topography, wind sheltering islands outside the coast, distance of the site from the sea, etc.			
NOTE 2 Extreme effect by chlorides, which is typical of marine splash or heavy salt spray, is outside of the scope of this International Standard.			
NOTE 3 Corrosivity classification of specific service atmospheres, e.g. in chemical industries, is outside of the scope of this International Standard.			
NOTE 4 Surfaces that are sheltered and not rain-washed in marine atmospheric environments where chlorides are deposited and cumulated can experience a higher corrosivity category due to the presence of hygroscopic salts.			
NOTE 5 A detailed description of types of indoor environments within corrosivity categories C1 and C2 is given in ISO 11844-1. Indoor corrosivity categories IC1 to IC5 are defined and classified.			
^a In environments with expected "CX category", it is recommended that the atmospheric corrosivity classification from one-year corrosion losses be determined.			
^b The concentration of sulfur dioxide (SO ₂) should be determined during at least one year and is expressed as the annual average.			

Métodos de medición de nivel de corrosión

Medir el nivel de corrosión en estructuras existentes es clave para diagnosticar el estado del refuerzo y estimar su vida útil. Los métodos más comunes son la medición de la pérdida de masa del acero [63], [64].

Método por tasa de corrosión

Diversos autores, como Andrade y Alonso [61], proponen clasificar el nivel de corrosión del acero de refuerzo con base en el potencial y, principalmente, en la tasa de corrosión, expresada en micrómetros por año ($\mu\text{m}/\text{año}$), la cual refleja la velocidad de pérdida de material del acero y puede determinarse mediante ensayos de pérdida de masa o técnicas electroquímicas como la polarización lineal, permitiendo así contextualizar el daño estructural potencial.

TABLA III

CLASIFICACIÓN DE LA TASA DE CORROSIÓN Y SU EFECTO SOBRE LA DURABILIDAD DEL ACERO DE REFUERZO

Tasa de corrosión	Nivel de corrosión	Condición
< 1	Insignificante	Durabilidad alta
1 – 5	Baja	A largo plazo
5 – 10	Moderada	Intervención media
> 10	Alta	Degradación rápida

Método Pérdida de Masa (Gravimétrico) / ISO 9226

Este método consiste en determinar cuánto material metálico ha sido disuelto por la corrosión a partir de la diferencia entre la masa original estimada del refuerzo y la masa final, luego de realizar una limpieza para eliminar únicamente partículas sueltas o escamas de corrosión no adheridas.

Procedimiento:

1. Extracción de muestra del acero desde el concreto.
2. Limpieza superficial para remover partículas sueltas de corrosión.
3. Pesado final de la muestra (balanza de precisión).
4. Cálculo de la pérdida de masa relativa.

Formulas:

- Pérdida de masa

$$\Delta_m = W_i - W_f \quad (23)$$

- Perdida Porcentual

$$\Delta_m \% = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (24)$$

- Tasa de Corrosión

$$r_{corr} = \frac{\Delta_m}{A \times t} \text{ g/m}^2 \quad (25)$$

Donde:

- W_i : masa inicial estimada de la barra (según diámetro nominal)
- W_f : masa final luego de limpieza superficial
- A : área superficial del acero sin corrosión
- t : tiempo de exposición

TABLA IV

ÍNDICES DE CORROSIÓN, PARA DIFERENTES CATEGORÍAS DE CORROSIVIDAD

Corrosivity category	Corrosion rates of metals				
	Unit	Carbon steel	Zinc	Copper	Aluminium
C1	g/(m ² -a)	$r_{corr} \leq 10$	$r_{corr} \leq 0,7$	$r_{corr} \leq 0,9$	negligible
	$\mu\text{m/a}$	$r_{corr} \leq 1,3$	$r_{corr} \leq 0,1$	$r_{corr} \leq 0,1$	—
C2	g/(m ² -a)	$10 < r_{corr} \leq 200$	$0,7 < r_{corr} \leq 5$	$0,9 < r_{corr} \leq 5$	$r_{corr} \leq 0,6$
	$\mu\text{m/a}$	$1,3 < r_{corr} \leq 25$	$0,1 < r_{corr} \leq 0,7$	$0,1 < r_{corr} \leq 0,6$	—
C3	g/(m ² -a)	$200 < r_{corr} \leq 400$	$5 < r_{corr} \leq 15$	$5 < r_{corr} \leq 12$	$0,6 < r_{corr} \leq 2$
	$\mu\text{m/a}$	$25 < r_{corr} \leq 50$	$0,7 < r_{corr} \leq 2,1$	$0,6 < r_{corr} \leq 1,3$	—
C4	g/(m ² -a)	$400 < r_{corr} \leq 650$	$15 < r_{corr} \leq 30$	$12 < r_{corr} \leq 25$	$2 < r_{corr} \leq 5$
	$\mu\text{m/a}$	$50 < r_{corr} \leq 80$	$2,1 < r_{corr} \leq 4,2$	$1,3 < r_{corr} \leq 2,8$	—
C5	g/(m ² -a)	$650 < r_{corr} \leq 1\ 500$	$30 < r_{corr} \leq 60$	$25 < r_{corr} \leq 50$	$5 < r_{corr} \leq 10$
	$\mu\text{m/a}$	$80 < r_{corr} \leq 200$	$4,2 < r_{corr} \leq 8,4$	$2,8 < r_{corr} \leq 5,6$	—
CX	g/(m ² -a)	$1\ 500 < r_{corr} \leq 5\ 500$	$60 < r_{corr} \leq 180$	$50 < r_{corr} \leq 90$	$r_{corr} > 10$
	$\mu\text{m/a}$	$200 < r_{corr} \leq 700$	$8,4 < r_{corr} \leq 25$	$5,6 < r_{corr} \leq 10$	—

NOTE 1 The classification criterion is based on the methods of determination of corrosion rates of standard specimens for the evaluation of corrosivity (see ISO 9226).

NOTE 2 The corrosion rates, expressed in grams per square metre per year [g/(m²-a)], are recalculated in micrometres per year ($\mu\text{m/a}$) and rounded.

NOTE 3 The standard metallic materials are characterized in ISO 9226.

NOTE 4 Aluminium experiences uniform and localized corrosion. The corrosion rates shown in this table are calculated as uniform corrosion. Maximum pit depth or number of pits can be a better indicator of potential damage. It depends on the final application. Uniform corrosion and localized corrosion cannot be evaluated after the first year of exposure due to passivation effects and decreasing corrosion rates.

NOTE 5 Corrosion rates exceeding the upper limits in category C5 are considered extreme. Corrosivity category CX refers to specific marine and marine/industrial environments (see Annex C).

Método de polarización lineal

La técnica de polarización lineal permite estimar directamente la tasa de corrosión del acero, expresada en unidades como $\mu\text{m/año}$ o $\mu\text{A/cm}^2$. Se basa en la aplicación de un pequeño sobrepotencial alrededor del potencial de corrosión del acero (± 20 mV) y en la medición de la corriente resultante [65]. La pendiente obtenida de la curva corriente-polarización permite calcular la resistencia de polarización y, por tanto, estimar la densidad de corriente de corrosión (i_{corr}), aplicando la ecuación de Stern-Geary:

$$i_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \quad (26)$$

Donde:

- i_{corr} ; es la densidad de corriente de corrosión ($\mu\text{A/cm}^2$)
- B: es la constante de Stern-Geary
- R_p : es la resistencia de polarización ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)

Método potencial de corrosión

El método del potencial de corrosión es una técnica electroquímica no destructiva utilizada para evaluar la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto. Consiste en medir el potencial eléctrico entre una barra de acero y un electrodo de referencia colocado en la superficie del concreto. Generalmente, se utiliza un electrodo de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO_4) como referencia. Según los criterios propuestos por ASTM C876 [66], si el potencial medido es más negativo que -350 mV, existe una alta probabilidad de corrosión activa del acero; si es mayor a -200 mV, la probabilidad es baja.

Este método no proporciona una tasa directa de corrosión, pero es ampliamente aceptado para el mapeo del estado de corrosión en estructuras de concreto armado in situ.

Capacidad estructural

Según McCormac y Brown [67] en su libro menciona que la capacidad estructural del concreto armado se refiere a la capacidad de una estructura para soportar cargas y fuerzas aplicadas sin fallar. En el concreto armado, esta resistencia se obtiene mediante la combinación de concreto (que tiene una alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tensión) y acero de refuerzo (que proporciona la resistencia a la tensión que el concreto carece).

Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión en elementos de concreto armado se refiere a la capacidad que tiene una viga para resistir momentos flectores generados por cargas transversales. Debido a que el concreto es un material con alta resistencia a compresión, pero baja resistencia a tracción, el diseño estructural contempla el uso de acero de refuerzo en las zonas donde se concentran esfuerzos traccionados, mientras que el concreto resiste los esfuerzos de compresión. El análisis estructural en flexión se basa en el equilibrio de fuerzas internas y la compatibilidad de deformaciones, suponiendo que las secciones planas permanecen planas tras la deformación (hipótesis de Bernoulli). El diseño se realiza conforme al método de resistencia última, comparando el momento solicitante M_u con la capacidad de diseño $\phi \cdot M_n$, donde M_n es el momento nominal resistente y ϕ un factor de reducción de resistencia [68] [69].

Formulas empleadas para el análisis:

1. Fuerza de compresión del concreto

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \quad (27)$$

Donde:

- f_c' : resistencia del concreto (MPa).
- b : ancho de la sección (cm o mm).
- a : altura del bloque de compresión equivalente.

2. Fuerza de tracción del acero

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (28)$$

3. Altura de Compresión Equivalente

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (29)$$

Donde:

- A_s : área de acero traccionado (cm²)
- f_y : resistencia de fluencia del acero (MPa)

4. Momento Nominal Resistente

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (30)$$

Donde:

- d: altura útil (distancia del eje neutro al centroide del refuerzo traccionado)

5. Resistencia de Diseño

$$Mr = \phi \cdot Mn \quad (31)$$

El factor de reducción ϕ depende del tipo de control de falla. En vigas con falla dúctil controlada por tracción, se toma $\phi=0.90$

Resistencia a Cortante

La resistencia al corte en vigas de concreto armado se refiere a la capacidad que posee una sección para resistir fuerzas transversales, las cuales tienden a deslizar una parte de la viga con respecto a la otra. Este tipo de esfuerzo se concentra principalmente en zonas próximas a los apoyos, donde es común la aparición de fisuras inclinadas generadas por la acción combinada del esfuerzo normal y cortante.

En el diseño estructural moderno, la evaluación de la resistencia al corte se realiza mediante el método de resistencia última, el cual considera el equilibrio de fuerzas internas al momento crítico de carga. Se emplean modelos idealizados para representar los mecanismos resistentes del concreto y otros componentes estructurales, garantizando una adecuada capacidad de la sección. La comparación entre el esfuerzo cortante actuante V_u y la resistencia de diseño $\phi \cdot V_n$ permite verificar la seguridad del elemento [68], [69].

Formulas empleadas para el análisis:

1. Fuerza de compresión del concreto

$$V_c = 0.53 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \quad (32)$$

Donde:

- f_c' : resistencia del concreto (kg/cm²).
- b: ancho de la sección (cm).
- d: peralte efectivo.

2. Fuerza de tracción del acero

$$V_n = V_c + V_s \quad (33)$$

3. Altura de Compresión Equivalente

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (34)$$

Donde:

- A_v : área total de acero por tramo (en una sección vertical).
- f_y : resistencia a fluencia del acero (MPa).
- s : espaciamiento entre estribos (mm o cm).

4. Resistencia de Diseño al Corte

$$V_{res} = \phi \cdot V_n \quad (35)$$

Normativas y Estándares

Normativa Peruana

- **NTP 341.031 – 2018: PRODUCTOS DE ACERO.** Barras de acero al carbono corrugadas, para refuerzo de concreto armado. En el capítulo 11 Tolerancia de Masa menciona: “Las barras corrugadas de acero destinadas al concreto armado serán examinadas considerando su masa nominal. Esta masa, determinada según el método de una muestra de prueba según ASTM E 29, debe ser al menos el 94% de la masa específica por longitud. Sin excepción, ningún exceso de masa en ninguna barra corrugada será motivo de rechazo.” [70].
- **NTP E.060 – Concreto Armado:** Es la norma técnica peruana que establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de estructuras de armado concreto. Incluye criterios sobre análisis estructural, resistencia a flexión, corte, cantidad mínima de refuerzo, diseño de vigas, columnas, estribos y factores de reducción. Es la base normativa principal para tu análisis estructural [68].

Normativa Internacional

- **ASTM A615/A615M:** Especificación Normalizada para Barras de Acero al Carbono Lisas y Corrugadas para Refuerzo de Concreto. Especifica que: La presencia de óxido, costuras, imperfecciones en la superficie o escamas de la fábrica no resultarán en el rechazo, siempre y cuando la masa nominal, dimensiones, área de sección transversal y propiedades de tracción de una muestra de prueba, luego de ser

cepillada con un cepillo de alambre, cumplan con los requisitos de esta especificación [71].

- **ACI 318-19 – Requisitos del código de construcción para hormigón estructural:** Es la norma internacional más reconocida para el diseño y construcción en concreto armado, emitida por el American Concrete Institute. Su contenido se encuentra armonizado con muchas normativas nacionales, incluida la peruana. Es una fuente de respaldo técnico para métodos de análisis estructural y resistencia [69].
- **ISO 9223 – Clasificación de ambientes en función de su agresividad corrosiva:** establece un sistema de clasificación para ambientes atmosféricos según su capacidad de inducir corrosión sobre materiales metálicos. Esta norma considera factores ambientales como la humedad relativa, la temperatura, la deposición de cloruros y dióxido de azufre, permitiendo categorizar los ambientes en niveles de corrosividad (C1 a C5 e incluso CX para ambientes extremos). Es utilizada para predecir la vida útil de estructuras metálicas expuestas y orientar decisiones sobre protección anticorrosiva [62].
- **ISO 9224 – Valores guía de tasas de corrosión:** proporciona rangos de referencia para las tasas de corrosión de materiales metálicos (acero, zinc, cobre y aluminio) en distintos niveles de categorías de corrosividad definidas por la ISO 9223. Estas tasas se expresan en micrómetros por año ($\mu\text{m}/\text{año}$) y permiten estimar de manera cuantitativa la pérdida de sección de un material metálico cuando está expuesto a un determinado ambiente, siendo útil en evaluaciones de durabilidad y análisis predictivos [72].
- **ISO 9226 – Determinación de tasas de corrosión por exposición natural:** especifica el procedimiento para evaluar empíricamente las tasas de corrosión de materiales metálicos mediante su exposición directa a condiciones atmosféricas reales durante un período de tiempo determinado (normalmente 1 año). Posteriormente, se determina la pérdida de masa y se calcula la tasa de corrosión. Esta norma se emplea para validar la clasificación ambiental de un sitio específico y confirmar las categorías establecidas en la ISO 9223 mediante ensayos prácticos [73].
- **ASTM C876 – Método estándar para medir potenciales de corrosión del acero de refuerzo en concreto:** establece el procedimiento para medir el potencial eléctrico del acero embebido en estructuras de concreto mediante un electrodo de

referencia. Este método permite estimar la probabilidad de que exista corrosión activa, sin necesidad de extraer el acero ni dañar la estructura. La norma define rangos de potencial que permiten interpretar los resultados en función de la probabilidad de corrosión, siendo una herramienta ampliamente utilizada para el diagnóstico de estructuras existentes [66].

Ensayo de corrosión acelerada por electrólisis

El ensayo de corrosión acelerada por corriente impresa, también conocido como electrólisis acelerada, se fundamenta en los principios de la electroquímica y la ley de Faraday. En este método, una fuente de corriente continua (DC) aplica una potencial eléctrico entre el refuerzo de acero conectado como ánodo y un electrodo auxiliar o placa, que actúa como cátodo. Se utiliza una solución salina para mantener el medio húmedo y favorecer la conductividad eléctrica, garantizando así la continuidad de las reacciones electroquímicas necesarias para inducir la corrosión [74]. La corriente circula a través del concreto saturado de cloruros, provocando la oxidación del hierro ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ o Fe^{3+}). Este proceso rompe la capa pasiva del acero y genera productos de corrosión, acelerando la fisuración y el deterioro estructural del recubrimiento de concreto.

La preparación experimental inicia con la conformación de probetas o vigas reforzadas que son sumergidas en una solución salina para garantizar las condiciones de humedad necesarias. Posteriormente, se instala una fuente DC capaz de suministrar una corriente constante. Durante el ensayo, se monitorean de manera continua variables como la corriente, el voltaje aplicado.

Una de las características más importantes en la evaluación de este ensayo es la eficiencia de corriente, que indica el porcentaje de corriente que realmente contribuye a oxidar el acero, pues una parte se consume en reacciones paralelas como la electrólisis del agua o la liberación de cloro en el ánodo. La masa teórica oxidada se calcula mediante la ecuación de Faraday:

$$\Delta_m = \frac{I \times t \times M}{z \times F} \times n \quad (36)$$

donde I es la corriente aplicada (A), t el tiempo en segundos, M la masa molar, z el número de electrones transferidos, n la eficiencia y F la constante de Faraday. En la práctica, la masa real perdida se determina mediante ensayos gravimétricos al final del ensayo, y la eficiencia se calcula como:

$$\Delta_m = \frac{\Delta_{mreal}}{\Delta_{mth}} \times 100\% \quad (37)$$

Ensayo a tracción del acero (NTP 350.405 - ASTM A370)

El objetivo principal del ensayo a tracción del acero es determinar sus propiedades mecánicas fundamentales, tales como el límite de fluencia, la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento y el módulo de elasticidad. Estos parámetros permiten evaluar la calidad del acero de refuerzo y verificar si cumple con los requisitos establecidos por las normas técnicas para su uso en estructuras de concreto armado [75].

Equipos y materiales

- Máquina universal de ensayos: Capaz de aplicar carga axial de tracción y registrar deformaciones.
- Extensómetro: Para medir la deformación unitaria en el tramo calibrado.
- Dispositivo de sujeción: Mandíbulas o mordazas adecuadas al diámetro de la muestra.
- Muestras de acero: Barras rectas de acero de refuerzo, sin fisuras ni dobleces.
- Regla o pie de rey: Para medir el alargamiento.
- Marcador: Para trazar las marcas de medición en la probeta

Procedimiento

Se inicia cortando una barra de acero a la longitud requerida, dejando una zona central calibrada. Luego, se marca una longitud de medida con el fin de registrar el alargamiento que ocurra durante el ensayo. La probeta se instala centrada entre las mordazas de la máquina de tracción, y si corresponde, se conecta un extensómetro en la zona calibrada. La carga axial se aplica de manera continua y controlada, registrando los valores de carga y deformación hasta que ocurra la rotura de la barra. Finalmente, se mide la longitud final entre las marcas para calcular el alargamiento total, y se verifica que la fractura haya ocurrido dentro de la zona calibrada para validar el resultado del ensayo [75], [76].

Materiales y métodos

Materiales

Los materiales empleados es cemento Portland, agregados fino y grueso de procedencia local con granulometría controlada, y agua potable. El refuerzo corresponde a barras de acero corrugado Grado 60 en diámetros de 5/8" y 1/2" para armaduras longitudinales y 3/8" para estribos. Para inducir la corrosión acelerada se utilizó solución salina de NaCl al 3.5 %, una fuente de corriente continua regulable, conductores y electrodos inertes. Se emplearon moldes y cámara de curado para el endurecimiento del concreto. Las vigas experimentales se armaron con 2Ø5/8" + 1Ø1/2" en la zona de tracción y 2Ø5/8" + 1Ø1/2" en compresión, estribos Ø3/8" con el espaciamiento de diseño y recubrimiento nominal conforme a la E.060.

Métodos

Tipo de investigación

La investigación aplicada se centra en entender, intervenir, desarrollar y transformar una realidad problemática [77]. Este tipo de investigación busca soluciones prácticas y concretas a problemas específicos, orientando el conocimiento científico hacia el abordaje directo de situaciones reales. A diferencia de la investigación básica, que se enfoca en generar teorías sin un fin inmediato de aplicación, la investigación aplicada tiene como propósito el uso directo de dicho conocimiento para resolver necesidades concretas.

En ese marco, la presente investigación se califica como aplicada, ya que busca comprender la problemática de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado, con el fin de determinar cuánto influye el nivel de corrosión en la capacidad estructural de viviendas ubicadas en el distrito de Eten Puerto. Los resultados que se obtengan contribuirán a mejorar la durabilidad y seguridad de estas edificaciones, así como a reducir los costos asociados a reparaciones por daños derivados del fenómeno corrosivo.

Nivel de Investigación

La presente investigación se desarrolla en el nivel correlacional, ya que tiene como propósito analizar la relación entre el nivel de corrosión del acero de refuerzo y la capacidad estructural de las vigas de concreto armado. Este nivel permite identificar y medir el grado de asociación entre dos variables, sin asumir necesariamente una relación causal directa entre ellas.

Tal como señala Hernández, el enfoque correlacional busca recolectar datos sobre dos o más variables con el fin de determinar si existe una relación significativa entre ellas, y en qué magnitud [78]. En este caso, se estudia cómo la variación en el nivel de corrosión influye en la resistencia estructural de las vigas, lo que permite comprender el impacto de dicho deterioro sobre el desempeño estructural de edificaciones expuestas a condiciones agresivas.

Diseño de Investigación

El estudio adoptó un diseño experimental de laboratorio, con enfoque cuantitativo y alcance explicativo. Se manipuló deliberadamente la variable independiente para observar su efecto sobre la variable dependiente bajo condiciones controladas, lo que permitió inferir relaciones causales con mayor precisión que en los diseños no experimentales, donde el investigador solo observa sin intervenir [78].

En esta investigación, se elaboraron tres vigas de concreto reforzado y, una vez alcanzada su resistencia, se aplicó un proceso controlado de corrosión que simuló el deterioro observado en estructuras reales. Con ello se cuantificó el nivel de corrosión (pérdida de masa), y se estimó la capacidad estructural en la sección crítica (flexión y corte) mediante cálculo seccional. El tratamiento de los datos se realizó con procedimientos cuantitativos, sustentados en mediciones objetivas, registro numérico por espécimen y comparación estadística.

Como menciona Borja, si bien los diseños no experimentales no permiten establecer relaciones causales directas, el diseño experimental sí posibilita analizar estas conexiones cuando el fenómeno puede ser simulado bajo control [77]. En este estudio, dicha intervención deliberada sobre los elementos estructurales permitió reproducir el proceso de corrosión en condiciones de laboratorio, lo que constituye una aplicación válida del diseño experimental dentro del enfoque cuantitativo y en concordancia con el objetivo de determinar la influencia del nivel de corrosión en la capacidad estructural.

Hipótesis

A mayor nivel de corrosión del acero de refuerzo, menor será la capacidad estructural de las vigas de concreto reforzado en viviendas.

Población

La población de estudio estuvo conformada por las viviendas de concreto armado del distrito de Eten Puerto que presentaban un vano estructural entre columnas con viga de concreto

reforzado, elemento resistente horizontal frente a flexión y corte. En este marco, la unidad de análisis fue la viga de concreto reforzado perteneciente a dichas viviendas y la unidad de observación fue la vivienda de concreto armado.

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda 2017 (INEI), en Eten Puerto se registraron 641 viviendas particulares ocupadas; de ellas, 43,1 % fueron construidas con concreto armado (276 viviendas) [79]. A partir de observaciones directas y del análisis de las tipologías constructivas locales, se estima que 65 % de esas viviendas de concreto armado presenta un vano entre columnas con viga (179 viviendas). El periodo de referencia del censo es 2017, y las observaciones de campo corresponden a 2024 – 2025. Se excluyen de esta población las edificaciones que no utilizan concreto armado, adobe, quincha o madera, al no contar con vigas estructurales compatibles con los objetivos del estudio.

Muestra

La muestra principal estuvo conformada por tres vigas experimentales de concreto reforzado, representativas de un vano entre columnas, elaboradas en laboratorio con materiales controlados y con un detallado estructural propio de viviendas de Eten Puerto. La selección se realizó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. Cada viga se diferenció exclusivamente por el nivel de corrosión inducida, definido a priori y verificado a posteriori por pérdida de masa gravimétrica del tramo corroído. Se adoptaron tres rangos: un nivel bajo con pérdidas entre 1 y 5 %, en el que se registró fisuración longitudinal incipiente del recubrimiento sin desprendimiento; un nivel moderado entre 5 y 12 %, en el que se observaron fisuras múltiples y delaminaciones locales; y un nivel severo entre 12 y 25 %, caracterizado por desprendimientos del recubrimiento. Como referencia geométrica, la pérdida de masa se correspondió con una disminución promedio del diámetro residual de baja magnitud en el nivel bajo, moderada en el nivel intermedio y elevada en el nivel severo.

Adicionalmente, se analizaron tres viviendas reales ubicadas en Eten Puerto, dentro de un radio no mayor a 500 m desde la línea de costa, con el propósito de caracterizar el estado situacional de sus elementos estructurales y estimar la corrosión presente en armaduras. Estas evidencias de campo no integraron la muestra experimental, sino que sirvieron como referencia contextual de los rangos de deterioro observados.

Operacionalización de variables

TABLA V

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE INDEPENDIENTE

TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN	METODO DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE							
Nivel de corrosión del acero de refuerzo	Grado de avance del proceso corrosivo en barras embebidas, manifestado por reducción del diámetro y pérdida de masa del acero, así como por fisuras longitudinales y desprendimientos del recubrimiento, con efecto en la rigidez y la resistencia del elemento [80].	Medición del deterioro del refuerzo mediante tres evidencias cuantificables: pérdida de masa del acero después de limpiar productos de corrosión, reducción del diámetro mínimo obtenida con calibrador en la zona más afectada, y área del recubrimiento comprometido delimitada por mapeo y cálculo geométrico a partir de registros fotográficos.	Severidad de corrosión de acero	Pérdida de masa de acero	%	Razón	Balanza digital
			Reducción geométrica	Disminución del diámetro de acero	mm	Razón	Calibrador Vernier
			Integridad del recubrimiento	Ancho de fisura	mm	Razón	Estimación Visual – Regla (fisurómetro)

TABLA VI

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE

TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
DEPENDIENTE							
Capacidad estructural de vigas de concreto reforzadas	Aptitud del elemento para resistir acciones sin alcanzar la falla, expresada por la resistencia máxima que desarrolla en su sección crítica frente a flexión y corte, en función de la geometría y de las propiedades del concreto y del acero [81].	Determinación de la capacidad última en la sección crítica de cada viga a partir de mediciones de la geometría, del recubrimiento y del refuerzo, incorporando las propiedades mecánicas verificadas del concreto y del acero para calcular momento último (M_u) y cortante último (V_u); los resultados se registran por espécimen en hojas de cálculo para su comparación	Capacidad resistente	Resistencia a flexión	Tnf .m	Razón	Hoja de calculo
			Capacidad resistente	Resistencia a corte	Tnf .m	Razón	Hoja de calculo

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se describieron las técnicas e instrumentos empleados para levantar información sobre el nivel de corrosión del refuerzo y la capacidad estructural de las vigas, priorizando la seguridad, la trazabilidad y la coherencia entre el estado observado y la evaluación estructural.

Diagnóstico de viviendas (levantamiento en sitio y extracciones autorizadas)

En cada vivienda se diagnosticó el estado de las vigas mediante un levantamiento en sitio que incluyó mapeo con escáner para localizar armaduras, estimar el recubrimiento y reconstruir, cuando fue posible, la disposición del refuerzo (separación de barras y espaciamiento de estribos). Se identificaron zonas con señal atenuada o sin lectura, compatibles con deterioro severo o con interferencias por reparaciones, y se registraron discontinuidades del trazo. Estas observaciones se complementaron con inspección visual. Cuando existió autorización, se efectuaron extracciones puntuales para obtener testigos de concreto mediante perforación diamantada y muestras de acero con fines de caracterización en laboratorio. Todas las intervenciones se documentaron en fichas de evaluación.

Armado del refuerzo y encofrado de las vigas experimentales

Las vigas experimentales se armaron reproduciendo el detallado típico de viviendas de Eten Puerto, con la disposición y diámetros representativos del refuerzo longitudinal y los estribos. Antes del vaciado se verificaron la alineación del refuerzo, la separación entre barras, la rigidez del conjunto y el recubrimiento, asegurándolo con dados de concreto para mantener la posición durante la colocación y la vibración del concreto. El encofrado se ejecutó con paneles rígidos sobre base nivelada, comprobando dimensiones internas, alineación y estanqueidad; se sellaron juntas y se aplicó desmoldante. En la zona prevista para el ensayo se dejaron mechas de acero embebidas como puntos de conexión para la etapa posterior de corrosión acelerada, cuidando que su ubicación no alterara el recubrimiento ni la continuidad del refuerzo principal.

Diseño y control del concreto para las vigas experimentales

En laboratorio se diseñó la mezcla de concreto destinada a las vigas experimentales y se verificaron sus propiedades en estado fresco y endurecido. Se controlaron la trabajabilidad, la temperatura, el peso unitario y la resistencia a compresión en edades de referencia, asegurando condiciones iniciales consistentes antes de inducir el deterioro.

Inducción y seguimiento del deterioro por corrosión en laboratorio

Una vez alcanzada la resistencia prevista, las vigas experimentales se sometieron a un proceso controlado de corrosión en solución salina mediante corriente continua. El avance del deterioro se siguió a partir del registro de los parámetros del proceso y de observaciones periódicas del estado superficial. La conexión eléctrica se realizó después del curado y desencofrado, utilizando las mechas embebidas como terminales. Al finalizar, se efectuó una verificación localizada que confirmó la pérdida de material y la reducción geométrica del acero en la zona crítica.

Preparación de datos para el análisis estructural

Se organizaron los datos de pérdida de material del acero, reducción de diámetro y de área en la zona más afectada y patrón de fisura miento del recubrimiento, junto con la resistencia del concreto obtenida con testigos y las propiedades del acero procedentes de las muestras de acero. Con esta información se conformaron las entradas para el análisis seccional, incorporando la geometría efectiva, el recubrimiento remanente y las propiedades medidas de los materiales.

TABLA VII
TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Indicador	Unidad de análisis	Técnica	Instrumento
Mapeo de armaduras y recubrimiento	Viga en viviendas	Escaneo del elemento estructural, inspección visual	Escáner de armaduras, ficha de mapeo
Nivel de corrosión del acero en viviendas	Muestras de acero extraídas de viviendas	Medición de pérdida de masa y diámetro tras limpieza estandarizada y propiedad mecánica	Balanza digital, ficha técnica, vernier, maquina universal
Propiedades del concreto de viviendas	Testigo de concreto diamantina	Ensayo de compresión de testigos para estimar f'_c	Prensa hidráulica para concreto, ficha de compresión
Diseño y control del concreto	Probeta y vaciado de concreto	Ensayos de control en estado fresco y endurecido	Cono de Abrams; termómetro; balanza/recipiente; prensa; ficha de control de calidad
Corrosión inducida en viga experimental	Barras de acero embebidas en la viga experimental	Proceso controlado por corriente impuesta en solución salina;	Fuente DC regulable, electrodos y cables, amperímetro/voltímetro, cronómetro, contenedor, solución salina, ficha de proceso
Reducción del diámetro del acero	Muestras de acero corroído	Medición directa del diámetro	Calibrador Vernier, ficha de control

Propiedades mecánicas del acero (muestra real)	Muestras de acero corroído	Ensayo de tracción f_y y f_u	Máquina universal de ensayos, extensómetro, ficha técnica
Ancho de fisura del concreto	Zona fisurada del recubrimiento en la viga experimental	Inspección visual y medición manual	Regla (fisurómetro)
Capacidad estructural (flexión y corte)	Viga de concreto armado con acero corroído	Calculo seccional con datos medidos	Hoja de cálculo verificada; esquema de sección; ficha de resultados

Procedimiento, estrategia metodológica para demostrar la hipótesis

Se demostró la hipótesis evaluando cómo el nivel de corrosión del acero de refuerzo afecta la capacidad estructural (flexión y corte) de vigas típicas de Eten Puerto. Para ello se integró: la evaluación controlada de tres vigas experimentales con niveles diferenciados de corrosión.

1. Diagnóstico de viviendas

Se analizaron tres viviendas del distrito, a distintas distancias del litoral. Se identificaron sus características estructurales mediante inspección y revisión de la documentación disponible. En cada vivienda se levantó la información de las vigas con escáner para localizar armaduras y estimar recubrimientos, y se registró el patrón de fisuramiento. Con autorización del propietario se obtuvieron testigos de concreto y muestras de acero para su caracterización en laboratorio.

2. Elaboración de las vigas experimentales

Se construyeron tres vigas de concreto reforzado con base y peralte representativos de una viga típica local. La longitud se definió para permitir la evaluación de una sección crítica. Se emplearon materiales convencionales y acero corrugado, disponiendo el refuerzo longitudinal y estribos cerrados a separación uniforme. Se respetaron recubrimientos mediante dados de concreto y se realizó el vaciado en moldes rígidos con vibrado mecánico.

3. Curado de las vigas

Tras el desencofrado, las vigas se curaron en húmedo hasta completar 28 días, sin inducir deterioro durante esta etapa.

4. Inducción de la corrosión acelerada

Cumplido el curado, cada viga se sometió a corrosión acelerada por corriente impuesta en solución salina, con control de tiempo e intensidad. Se establecieron tres metas de

deterioro (bajo, medio y alto) para diferenciar niveles. El progreso se siguió con el registro de los parámetros del proceso y observaciones periódicas del estado superficial. Finalizado el proceso, se detuvo la inducción al alcanzar la meta establecida para cada viga.

5. Verificación del deterioro del acero

Concluida la inducción, se realizó un destape controlado en la zona crítica para exponer las barras y efectuar la verificación destructiva localizada: pérdida de masa por limpieza estandarizada y medición del diámetro mínimo con calibrador. De manera complementaria, se ejecutó el ensayo de tracción de cupones para estimar la resistencia residual del acero.

6. Evaluación del recubrimiento y del concreto

Se inspeccionó la superficie de las vigas experimentales para identificar fisuras y desprendimientos asociados a la corrosión. La zona comprometida se delimitó y midió para estimar el área efectiva de concreto en la sección crítica.

7. Determinación de la capacidad estructural

Con la información anterior se realizó el análisis seccional de la sección crítica de cada viga. Se integraron: geometría, recubrimiento remanente, área de acero efectiva tras la reducción medida, y propiedades de material verificadas (concreto y acero). Se obtuvo la capacidad a flexión ($T_n.m$) y a corte ($T_n.m$) y se comparó con una sección de referencia sin deterioro construida con los mismos parámetros iniciales.

8. Análisis comparativo y contrastación de la hipótesis

Los resultados se organizaron en hojas de cálculo para contrastar el estado de referencia frente a los tres niveles de corrosión. Se presentaron tablas y gráficos de comparación y se calcularon las reducciones relativas de capacidad. La hipótesis se consideró respaldada si: a) la capacidad disminuyó de forma monótona (nivel bajo < medio < alto), y b) las reducciones fueron técnicamente significativas y robustas frente a un análisis de sensibilidad razonable de los parámetros de entrada.

Flujograma

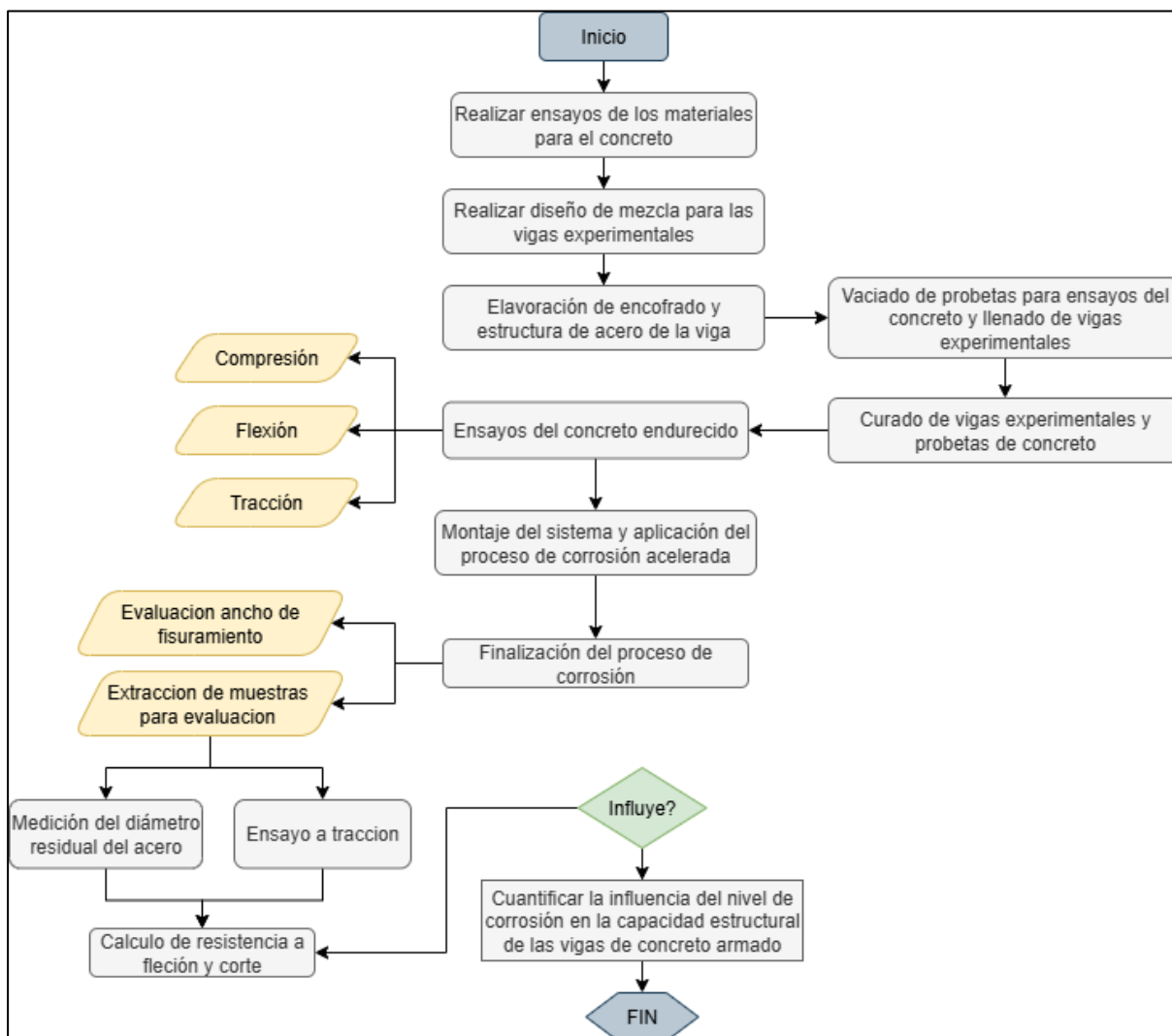


Fig. 5.Flujograma de proceso para el desarrollo de la investigación.

Caracterización de materiales

Agregados

Para la elaboración del concreto utilizado en la viga experimental, se emplearon materiales comúnmente usados en la zona. El agregado fino fue obtenido de la cantera La Victoria, ubicada en el distrito de Pátapo, mientras que el agregado grueso provino de la cantera Tres Tomas, situada en la provincia de Ferreñafe. Ambos materiales fueron transportados al laboratorio y almacenados de forma adecuada hasta su uso. El cemento empleado es el Fortimax Antisalitre Pacasmayo, es el que mayormente se usa en la localidad de Eten Puerto.

Ensayo de Laboratorio de los agregados

Ensayo de Humedad

El procedimiento consistió en tomar una muestra representativa de agregado fino y agregado grueso, de aproximadamente 500 g y 1000 g, respectivamente. Estas muestras fueron colocadas en recipientes resistentes al calor y llevadas al horno a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se retiraron las muestras del horno, se dejaron enfriar y se pesaron nuevamente.

La diferencia entre el peso inicial (húmedo) y el peso final (seco) permitió determinar el porcentaje de humedad presente en cada tipo de agregado. Este valor fue considerado en el diseño de mezcla para garantizar la cantidad exacta de agua en el concreto.



Fig. 6. Cuarteo de agregado fino y grueso.

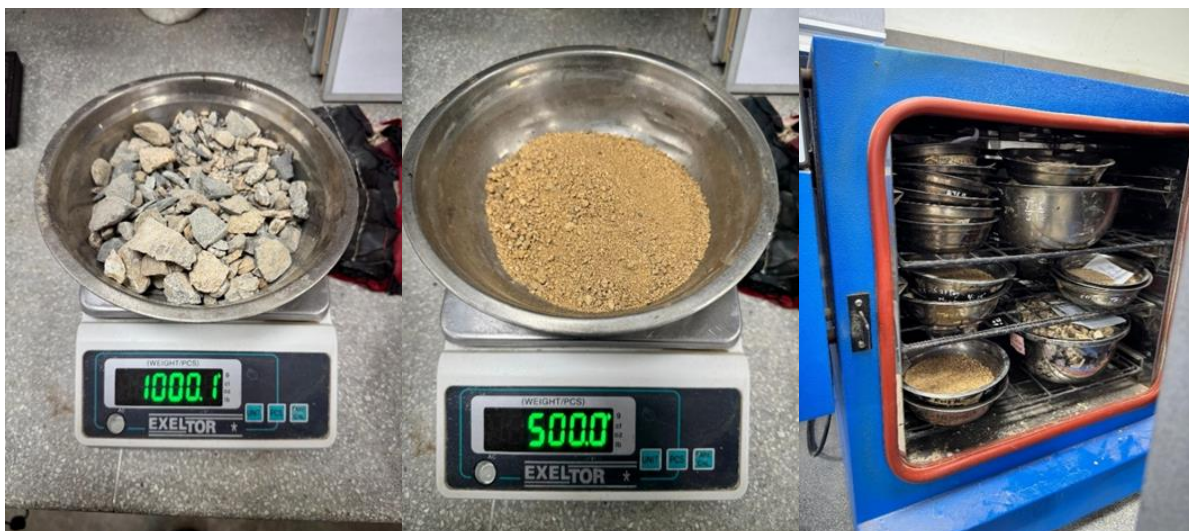


Fig. 7. Pesaje de muestras y puestas en el horno

TABLA VIII

TABLA RESULTADO CONTENIDO DE HUMEDAD

Muestra	Resultado
Agregado Fino	1.01 %
Agregado Grueso	0.39 %

Granulometría

El procedimiento consistió en secar previamente la muestra, para luego tamizarla utilizando una serie de mallas normalizadas, ordenadas de mayor a menor abertura. El tamizado se llevó a cabo de forma manual durante un tiempo determinado, de modo que las partículas más pequeñas pasen a través de cada malla sucesiva. Posteriormente, se pesaron los materiales retenidos en cada tamiz para calcular su proporción respecto al total de la muestra.

Para el agregado fino, se empleó una muestra de 500 gramos. Las mallas utilizadas fueron: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y el fondo.

TABLA IX

RESULTADO PESOS RETENIDOS DE CADA MALLA DEL AGREGADO FINO

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)
1/2"	12.700	0
3/8"	9.500	0
N° 4	4.750	20.8
N° 8	2.360	79.0
N° 16	1.180	123.3
N° 30	0.600	103.7
N° 50	0.300	85.1
N° 100	0.150	45.9
Fondo	—	37.2

La tabla N° 06 muestra que la malla que retuvo mayor cantidad fue la N°16 con 123.3 g, mientras que la N°4 fue la que menos retuvo con 20.8 g, y el fondo registró 37.2 g.



Fig. 8. Muestras retenidas de cada tamiz agregado fino

De igual manera, para el agregado grueso, se empleó una muestra de 2 kg. Las mallas utilizadas fueron: 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4, N°8 y N°16.

TABLA X

RESULTADO PESOS RETENIDOS DE CADA MALLA DEL AGREGADO GRUESO.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)
2"	50.800	0
1 ½"	38.100	0
1"	25.400	0
¾"	19.000	372.8
½"	12.700	1132.9
3/8"	9.500	347.1
N° 4	4.750	142.4
N° 8	2.360	0.5
N° 16	1.180	0
Fondo	—	4.3

La tabla N° 08 muestra que la malla de 1/2" fue la que retuvo mayor peso con 1132.9 g, la N°4 retuvo 142.4 g, y el fondo registró 4.3 g.



Fig. 9. Muestras retenidas de cada tamiz agregado grueso

Peso Unitario Suelto y Compactado

Para el peso unitario suelto, inicialmente se registró el peso del recipiente o molde completamente vacío. Luego, se llenó el recipiente vertiendo el agregado con una cuchara metálica, procurando que el material cayera libremente desde una altura máxima de 50 mm, sin ejercer ningún tipo de compactación o golpeo. Al finalizar el llenado, se niveló la superficie con los dedos, se limpió el exterior del recipiente y se procedió a pesar el conjunto recipiente-agregado. La diferencia permitió calcular el peso unitario suelto.



Fig. 10. Peso del molde



Fig. 11. Comparación de peso sueltos del agregado fino



Fig. 12. Comparación de peso sueltos del agregado grueso

Para el peso unitario compactado, se siguió un procedimiento por capas. Primero, se llenó el molde hasta un tercio de su capacidad, se niveló con los dedos y se aplicaron 25 golpes de compactación con la varilla de acero. En la segunda capa, se llenó hasta dos tercios de la capacidad total, se repitió el procedimiento de nivelado y se aplicaron otros 25 golpes. Finalmente, se completó el llenado, permitiendo que el agregado sobresaliera ligeramente, se aplicaron 25 golpes más y se niveló la superficie. Luego, se limpió el recipiente y se pesó nuevamente para obtener el peso unitario compactado.



Fig. 13. Comparación de pesos compactados del agregado fino



Fig. 14. Comparación de pesos compactados del agregado grueso

TABLA XI

TABLA RESULTADA DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Muestra	Resultado	
	Suelto	Compactado
Agregado Fino	1532 kg/cm ³	1742 kg/cm ³
Agregado Grueso	1441 kg/cm ³	1646 kg/cm ³

Peso Específico y Absorción

Agregado Grueso

Para el agregado grueso, se inició con el cuarteo del material en estado natural para obtener una muestra representativa. De dicha muestra, se seleccionaron porciones opuestas que fueron utilizadas para el ensayo. A continuación, se realizó un lavado del agregado con el objetivo de eliminar polvo o impurezas adheridas. Posteriormente, se tomó una muestra de 2 kg y se dejó en remojo en un recipiente con agua durante 24 horas.

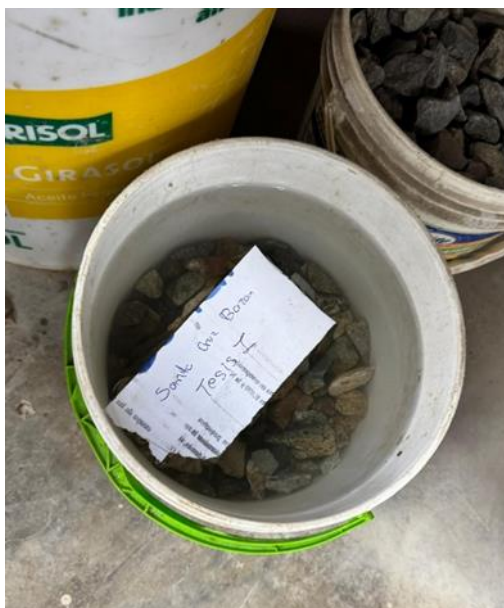


Fig. 15. Muestra del agregado grueso saturado en agua

Cumplido el tiempo de inmersión, el agregado fue llevado a su estado de saturación superficial seca (SSS), eliminando el exceso de agua superficial, sin afectar la cantidad de agua absorbida por el interior del material. En este estado, se pesó el agregado, registrando el valor correspondiente.



Fig. 16. Secado y pesado de la muestra

Seguidamente, se colocó cuidadosamente el agregado en una canastilla sumergida en agua, y se registró el peso sumergido, siguiendo los criterios establecidos por la norma.



Fig. 17. Peso de la canastilla más la muestra sumergida

Finalmente, se trasladó el agregado al horno para ser secado a una temperatura constante durante 24 horas. Luego de este tiempo, se retiró el material, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó nuevamente para obtener el peso seco, con el cual se calcularon el peso específico y la absorción del agregado grueso.



Fig. 18. Muestra puesta en horno

Agregado Fino

Para el ensayo con agregado fino se utilizó una balanza, recipientes de metal, un horno, una fiola y agua destilada. El procedimiento constó de varias etapas. Primero se realizó la división del agregado en estado natural para obtener una muestra representativa. Se seleccionaron porciones opuestas de esta muestra y se sometieron a secado en horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para eliminar toda humedad superficial e impurezas. Este paso permitió acondicionar correctamente la muestra para los análisis posteriores.

En el siguiente paso, se verificó que aproximadamente tres cuartas partes del material se desmoronaran al tacto, indicando que la muestra se encontraba completamente seca. Se utilizó un molde cónico sobre una base adecuada, el cual fue llenado parcialmente con el agregado fino seco. Luego, se compactó aplicando 25 golpes uniformes con una barra compactadora, asegurando una distribución homogénea. Se limpiaron los bordes del molde y se levantó cuidadosamente en forma vertical para evaluar la condición del agregado.

Finalmente, se tomó una muestra de 500 gramos y se procedió al pesaje para el desarrollo del ensayo de peso específico y absorción.



Fig. 19. Peso de la muestra de 500g para peso específico del agregado fino



Fig. 20. Muestra puesta en el cono de absorción de arena

Posteriormente se procede al pesaje de la fiola sola y luego llena con agua destilada.



Fig. 21. Peso de la fiola sola y con agua

Posteriormente, se retiró una porción del agua y se introdujeron los 500 gramos del material fino en la fiola. Se realizó el proceso de rodamiento y agitación manual de la fiola con el propósito de eliminar cualquier burbuja de aire presente. Una vez que el contenido estuvo libre de burbujas, se registró el peso total, incluyendo la muestra, la fiola y el agua.



Fig. 22. Rodamiento manual de la fiola



Fig. 23. Peso de la fiola con agua más agregado fino

Seguidamente, el contenido de la fiola fue cuidadosamente vaciado en un recipiente metálico, asegurándose de no perder partículas del agregado durante el trasvase. El agua se eliminó con precaución, y el agregado húmedo se colocó en el horno para someterlo a secado completo durante 24 horas a temperatura constante.



Fig. 24. Vaciado de la muestra y eliminación del agua excedente

Una vez finalizado el secado, se retiró la muestra del horno y se procedió a pesarla, se resta el peso de la tara y con la muestra sacada del horno, obteniendo así su peso seco definitivo. Con este dato se completó el procedimiento del ensayo.



Fig. 25. Peso de tara y peso de tara más muestra seca

TABLA XII
RESULTADO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Muestra	Resultado	
	Peso Especifico	% Absorción
Agregado Fino	2.606 g/cm ³	0.87%
Agregado Grueso	2.762 g/cm ³	0.65%

Armado de viga Encofrado y Acero

Para la construcción de la viga experimental se siguió un procedimiento sistemático que incluyó el armado del acero, doblado de estribos, confección de amarres y la instalación del encofrado.

Primero, se realizó el corte de las barras de acero de refuerzo principal de acuerdo con las dimensiones especificadas. Las barras fueron cortadas con una esmeriladora angular, garantizando precisión en la longitud para la correcta distribución del refuerzo. Luego, se procedió al doblado de los estribos utilizando una dobladora manual.



Fig. 26. Corte de barras de acero para armado de viga

Posteriormente, se realizó el armado de la viga, colocando las barras longitudinales y los estribos en su posición correspondiente. Los estribos fueron distribuidos con una separación uniforme. Se empleó alambre negro N° 8 para realizar los amarres entre estribos y barras longitudinales, asegurando rigidez y estabilidad en la armadura.

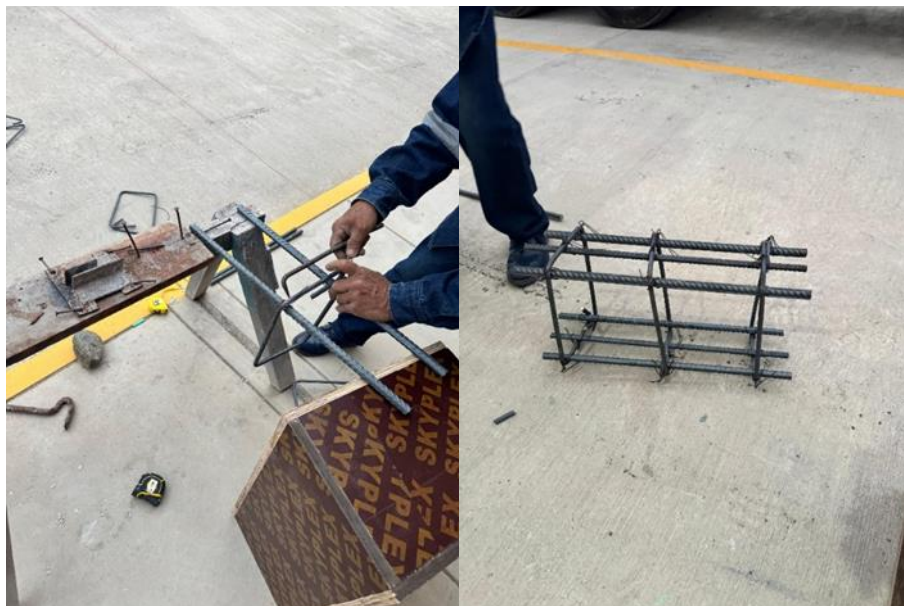


Fig. 27. Amarre de estribos y armado de la viga

Una vez armado el refuerzo, se procedió con la colocación del encofrado, el cual fue fabricado con planchas de madera tipo triplay reforzadas con listones de madera. Las dimensiones del encofrado fueron adecuadas a las medidas de la viga. Además, se colocaron dados en la base del encofrado para garantizar el recubrimiento del concreto sobre el acero de refuerzo, conforme a lo establecido en la normativa vigente.



Fig. 28. Viga lista para llenado

Diseño de Mezcla

El diseño de la mezcla se realizará conforme a los lineamientos establecidos por el Método del Comité 211 del ACI, en armonía con las especificaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.060.

TABLA XIII

DISEÑO DE MEZCLA PARA 1M³ DE CONCRETO F'C = 210 KG/CM²

Material	Pesos
Cemento	544.115 kg
Agua	303.834 Lts
Agr. Fino	620.908 kg
Agr. Grueso	791.516 kg

Ensayo de Asentamiento (SLUM)

Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto fresco utilizando el cono de Abrams, con el fin de evaluar su consistencia y trabajabilidad. La mezcla se colocó en tres capas dentro del cono, compactándola ligeramente en cada una, y posteriormente se retiró el molde de forma vertical. Se midió la deformación vertical del concreto, obteniéndose un asentamiento de 4 pulgadas, cumpliendo con el slum de diseño.



Fig. 29. Comprobación de slum de diseño

Ensayo de Contenido de Aire

Para determinar el porcentaje de aire incorporado en el concreto, se empleó el medidor de presión tipo A. Se llenó la cámara con concreto fresco y se aplicó presión según lo establecido en el procedimiento. Este ensayo permitió identificar el contenido de aire atrapado, fundamental para controlar la durabilidad de la mezcla. El valor obtenido fue de 2%, dentro del rango permitido para concretos estructurales.



Fig. 30. Contenido de Aire en el Concreto

Ensayo de Temperatura

Se midió la temperatura del concreto fresco utilizando un termómetro de penetración directamente en la mezcla colocada en balde, previo al vaciado de los moldes. Este control es esencial para asegurar un adecuado fraguado e hidratación del cemento, especialmente en ambientes cálidos o fríos. La temperatura registrada fue de 25.3°C, dentro del rango aceptable según la normativa.



Fig. 31. Temperatura del concreto en estado fresco.

Ensayo Peso Unitario (Densidad del Concreto)

El ensayo de peso unitario se realizó llenando completamente un recipiente de volumen conocido con concreto fresco, cuidando su compactación y posterior nivelación de la superficie. Luego se pesó el recipiente con la mezcla para calcular la densidad del concreto fresco. Este parámetro es importante para verificar la uniformidad de la mezcla y su rendimiento por volumen. Se obtuvo un peso unitario de 2258.88 kg/m³.



Fig. 32.Densidad del concreto

Vaciado de Probetas

Una vez concluidos los ensayos correspondientes al concreto fresco y verificados sus parámetros de trabajabilidad, contenido de aire, temperatura y peso unitario, se procedió con el llenado de las probetas cilíndricas y prismáticas destinadas a los ensayos del concreto endurecido. Simultáneamente, se realizó el vaciado de la viga experimental diseñada para el análisis de corrosión acelerada, cuidando el correcto posicionamiento de las armaduras y el recubrimiento especificado. Tanto las probetas como la viga fueron moldeadas siguiendo los procedimientos normativos, compactando adecuadamente la mezcla en capas dentro de moldes previamente preparados, con el fin de garantizar un curado uniforme y resultados representativos en los ensayos posteriores.



Fig. 33. Llenado de probetas y viga experimental

Ensayo de Resistencia a la Compresión

Se ensayaron probetas de concreto a los 7, 14 y 28 días de curado para determinar su resistencia a la compresión. Cada muestra fue sometida a carga axial hasta su ruptura mediante prensa hidráulica, registrando el valor máximo soportado. Este procedimiento permitió verificar el comportamiento del concreto en etapas tempranas de curado y confirmar que alcanzó la resistencia esperada conforme a las condiciones de diseño y mezcla.



Fig. 34. Ensayo de resistencia a la compresión

TABLA XIV

TABLA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Muestra Nº	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	15/05/2025	7	191.5
02	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	15/05/2025	7	186.9
03	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	15/05/2025	7	188.3
04	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	22/05/2025	14	257.4
05	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	22/05/2025	14	255.3
06	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	22/05/2025	14	248.6
10	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	05/06/2025	28	301.7
11	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	05/06/2025	28	296.8
12	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	05/06/2025	28	294.9

Ensayo de tracción

El ensayo de tracción se efectuó a los 28 días de curado, cuando el concreto alcanza su resistencia máxima. La carga fue aplicada de forma diametral sobre las probetas cilíndricas, generando esfuerzos de tracción en su eje transversal hasta provocar la rotura. Este procedimiento permitió determinar la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de tracción, los cuales son críticos en el diseño estructural y la evaluación del desempeño frente a fisuración.



Fig. 35. Ensayo a Tracción en pruebas cilíndricas.

TABLA XV

TABLA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Resistencia a tracción (Mpa)
01	PROBETA CILINDRICA 210 kg/cm ²	14/05/2025	11/06/2025	28	2.42
02	PROBETA CILINDRICA 210 kg/cm ²	14/05/2025	11/06/2025	28	2.49
03	PROBETA CILINDRICA 210 kg/cm ²	14/05/2025	11/06/2025	28	2.46

Ensayo a flexión

El ensayo de flexión se realizó a los 28 días de curado, momento en que el concreto alcanza su resistencia máxima. La carga fue aplicada en un solo punto centrado sobre la probeta prismática, generando una sollicitación de flexión pura en la zona media del elemento hasta producir su ruptura. Este procedimiento permitió determinar el módulo de rotura del concreto, valor representativo de su capacidad para resistir esfuerzos de tracción en elementos estructurales sometidos a flexión.



Fig. 36. Ensayo a Flexión de vigas

TABLA XVI

TABLA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Muestra	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de	Fecha de	Días	Módulo de
Nº		Vaciado	Ensayo		Ruptura (kg/cm ²)
01	VIGA CONCRETO 210 kg/cm ²	13/05/2025	10/06/2025	28	27.92
02	VIGA CONCRETO 210 kg/cm ²	13/05/2025	10/06/2025	28	30.83
03	VIGA CONCRETO 210 kg/cm ²	13/05/2025	10/06/2025	28	30.63

Análisis de Viviendas en el distrito de Eten Puerto

Escaneo del elemento estructural (Viga)

Se realizó el escaneo del elemento estructural (viga) en cada una de las viviendas analizadas. Este procedimiento permitió identificar la distribución de las barras de refuerzo, la ubicación y separación de los estribos, así como las dimensiones del recubrimiento de concreto. Además, el escáner permitió determinar los diámetros de las barras empleadas en la construcción y detectar la presencia o ausencia de corrosión en el acero de refuerzo, gracias a su sistema de evaluación magnética interna.



Fig. 37.Escaneo para determinar diámetros de aceros de las viviendas

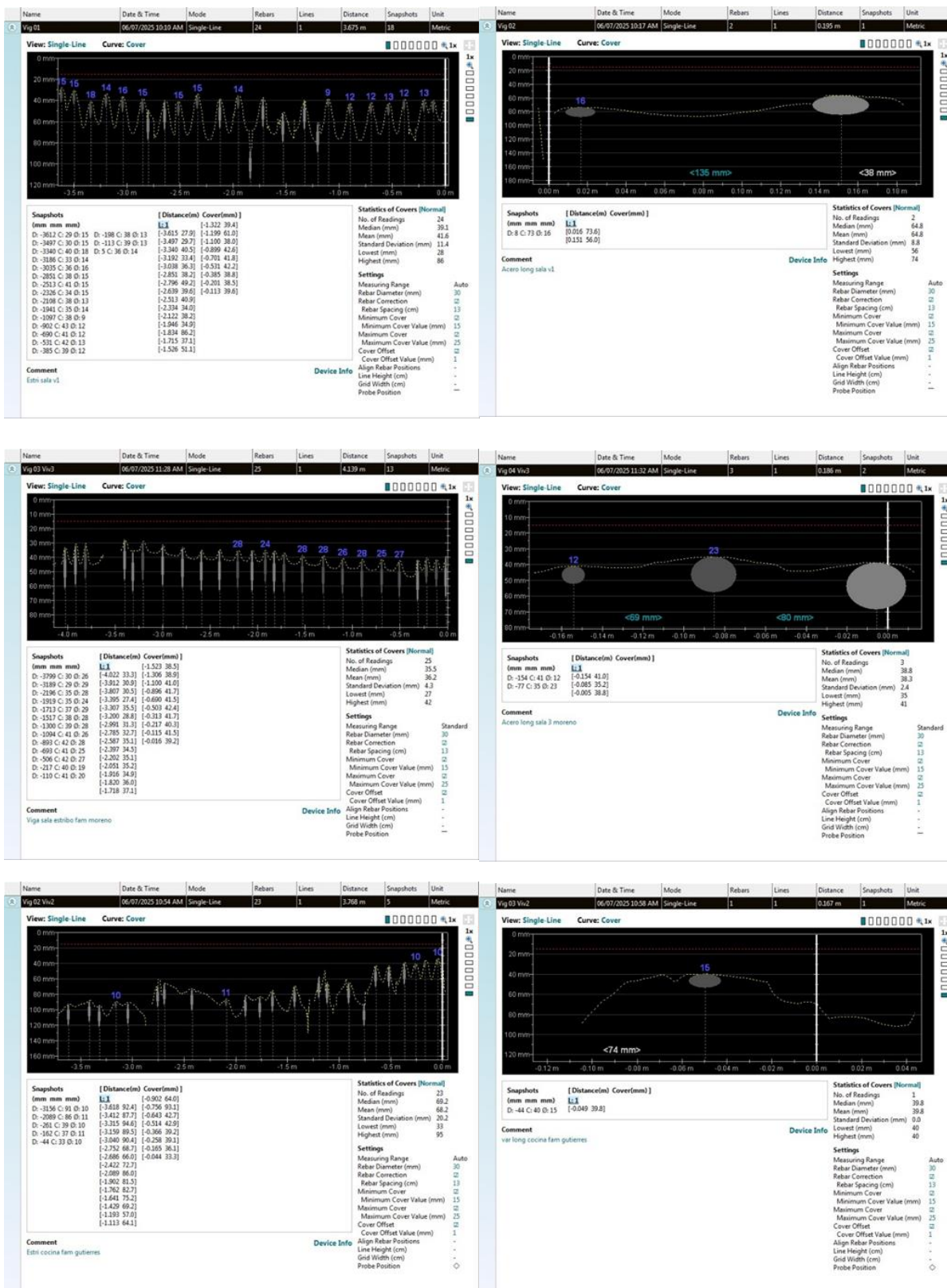


Fig. 38. Datos obtenidos del escáner

TABLA XVII**TABLA DE DATOS PROCESADOS DEL ESCÁNER**

Nº De Escaneado	Ubicación del Elemento	Numero de Aceros Encontrados	Numero de Aceros Leídos en mm	Espesor de Acero		Distancia entre aceros aprox	Distancia recorrida	Diámetro de acero aprox	Recubrimiento de Acero
				Mínimo	Máximo				
VI - 01	Acero Principal	3	2	15 mm	15 mm	0.2	0.4	1/2	40 mm
VI - 01	Estribo	24	18	9 mm	15 mm	0.1	3.5	3/8	40 mm
VI - 02	Acero Principal	3	2	16 mm	16 mm	0.2	0.18	1/2	40 mm
VI - 02	Estribo	23	4	10 mm	11 mm	0.1	3.5	3/8	40 mm
VI - 03	Acero Principal	3	2	12 mm	23 mm	0.1	0.2	5/8	40 mm
VI - 03	Estribo	25	8	24 mm	28 mm	0.2	4	3/8	40 mm

Ensayo de obtención de corazones de diamantina

Con el propósito de estimar la resistencia a compresión del concreto en servicio, se extrajeron testigos cilíndricos mediante perforación diamantada en zonas autorizadas de la edificación. Los núcleos fueron acondicionados y ensayados en laboratorio bajo condiciones controladas, registrando dimensiones. A partir de los esfuerzos últimos se obtuvo la resistencia a compresión f'_c , valor que se adoptó como parámetro de material para el análisis de la capacidad estructural de las vigas evaluadas.



Fig. 39. Extracción de corazones de diamantina.

TABLA XVIII

TABLA DE DATOS DE DIAMANTINA

N°	Descripción de las Extracciones	Fecha de Extracción	Fecha de Ensayo	f _c
	Ubicación: Eten Puerto - Chiclayo - Lambayeque			(kg/cm ²)
1	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 01- VIVIENDA 01	19-09-25	24-09-25	178
2	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 02- VIVIENDA 01	19-09-25	24-09-25	180
3	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 03 - VIVIENDA 01	19-09-25	24-09-25	177
4	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 01- VIVIENDA 02	19-09-25	24-09-25	162
5	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 02- VIVIENDA 02	19-09-25	24-09-25	167
6	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 03 - VIVIENDA 02	19-09-25	24-09-25	164
7	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 01- VIVIENDA 03	19-09-25	24-09-25	152
8	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 02- VIVIENDA 03	19-09-25	24-09-25	158
9	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 03 - VIVIENDA 03	19-09-25	24-09-25	160

Análisis del nivel de corrosión del acero

Se extrajeron muestras representativas del acero de refuerzo de cada vivienda. Estas fueron sometidas a un proceso de limpieza controlado para eliminar productos de corrosión adheridos, respetando el procedimiento técnico necesario para preservar el material base. Para determinar el nivel de corrosión se emplearon dos métodos: el primero consistió en medir la pérdida de

masa del acero tras su limpieza, y el segundo en la comparación entre el diámetro actual y el diámetro nominal. Ambos métodos permitieron establecer el grado de deterioro del material y estimar la tasa de corrosión acumulada durante los años de servicio.



Fig. 40. Limpieza de los aceros corroídos



Fig. 41. Aceros después de su limpieza



Fig. 42. Toma de diámetros y pesaje del acero

TABLA XIX

TABLA NIVEL DE CORROSIÓN DE ACERO 5/8" – VIVIENDAS

Vivienda	Año de Antigüedad	Distancia al Mar	Elemento	Pérdida de Masa (g/m ²)	Pérdida de Diámetro (mm/año)	Nivel de Corrosión	% de Reducción	
							Pérdida de Masa	Pérdida de Diámetro
VI - 01	15 años	170 m	Viga	281.03 g/m ²	0.070 mm/año	MODERADA	13.47%	6.64%
VI -02	25 años	355 m	Viga	326.81 g/m ²	0.085 mm/año	SEVERA	26.11%	13.43%
VI - 03	30 años	355 m	Viga	327.79 g/m ²	0.087 mm/año	MUY SEVERA	31.42%	16.34%

TABLA XX

TABLA DE TASA DE CORROSIÓN DE ACERO 1/2" - VIVIENDAS

Vivienda	Año de Antigüedad	Distancia al Mar	Elemento	Pérdida de Masa (g/m ²)	Perdida de Diámetro (mm/año)	Nivel de Corrosión	Teórico del Real	
							Pérdida de Masa	Perdida de Diámetro
VI - 01	15 años	170 m	Viga	255.84 g/m ²	0.070 mm/año	MODERAD	15.29%	8.31%
VI -02	25 años	355 m	Viga	334.11 g/m ²	0.086 mm/año	SEVERA	33.29%	16.83%
VI - 03	30 años	355 m	Viga	302.68 g/m ²	0.087 mm/año	MUY SEVERA	36.19%	20.48%

Determinación del límite de fluencia del acero de refuerzo mediante ensayo de tracción

Una vez obtenidas las muestras limpias, se efectuaron ensayos de tracción con el propósito de determinar el límite de fluencia del acero de refuerzo. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores correspondientes a barras en estado natural, lo que permitió identificar la disminución en la capacidad resistente del material debido al proceso corrosivo y establecer la variación porcentual respecto a su condición original de diseño.



Fig. 43. Ensayo de tracción acero de viviendas.

TABLA XXI

TABLA LÍMITE DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO EN ESTADO NATURAL
Y CORROÍDO (Ø 5/8")

Vivienda	Año de Antigüedad	Distancia al Mar	Fy estado natural	Fy estado corroído	Diferencia	Reducción en %
V - 01	15 años	170 m	4200.00 kg/cm ²	3744.71 kg/cm ²	455.29 kg/cm ²	10.84%
V - 02	25 años	355 m	4200.00 kg/cm ²	3597.78 kg/cm ²	602.22 kg/cm ²	14.34%
V - 03	30 años	355 m	4200.00 kg/cm ²	3457.76 kg/cm ²	742.24 kg/cm ²	17.67%

TABLA XXII

TABLA LÍMITE DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO EN ESTADO NATURAL
Y CORROÍDO (Ø 1/2")

Vivienda	Año de Antigüedad	Distancia al Mar	Fy estado natural	Fy estado corroído	Diferencia	Reducción en %
V - 01	15 años	170 m	4200.00 kg/cm ²	3724.54 kg/cm ²	475.46 kg/cm ²	11.32%
V - 02	25 años	355 m	4200.00 kg/cm ²	3571.60 kg/cm ²	628.40 kg/cm ²	14.96%
V - 03	30 años	355 m	4200.00 kg/cm ²	3406.07 kg/cm ²	793.93 kg/cm ²	18.90%

Ensayo de vigas experimentales

Determinación de niveles de corrosión

La corriente eléctrica necesaria para inducir la corrosión se determinó en función de la superficie expuesta del acero y del porcentaje de pérdida de masa fijado para cada nivel. Se utilizó una densidad de corriente constante para todas las probetas, calculada sobre el perímetro y la longitud efectiva del tramo corroído, de modo que las condiciones eléctricas fueran equivalentes entre muestras. A partir de la masa objetivo correspondiente a cada nivel (bajo, moderado y severo) se establecieron los valores de corriente y tiempo de exposición que garantizaron la disolución progresiva del metal hasta alcanzar los rangos definidos. De esta manera, la intensidad aplicada permitió controlar con precisión el avance de la corrosión y reproducir de forma acelerada los grados de deterioro previstos en cada viga experimental.

TABLA XXIII

NIVELES DE CORROSION A EMPLEAR

Nivel	Rango por pérdida de masa (%m)
L1 (bajo)	1-5 %
L2 (moderado)	6 - 12 %
L3 (severo)	12 - 25 %

Corrosión acelerada por Electrólisis

El ensayo de corrosión acelerada se llevó a cabo aplicando corriente continua de baja tensión a las vigas experimentales, con el fin de inducir la oxidación del acero embebido en el concreto mediante el método de electrólisis. Las vigas fueron conectadas a un sistema eléctrico compuesto por una fuente de alimentación, acondicionada para operar como fuente de corriente constante. El conductor positivo se conectó a las armaduras de acero, que actuaron como ánodos, mientras que el conductor negativo se vinculó a un acero inoxidable.

Se utilizó una solución de cloruro de sodio al 3.5 %, la cual se mantuvo en contacto permanente con el recubrimiento de las vigas para asegurar la conductividad del medio. Las conexiones se realizaron con bornes aislados y cables de cobre, verificando la continuidad del circuito antes de iniciar la aplicación de corriente. Durante el proceso, se controlaron los parámetros eléctricos

de voltaje, intensidad y tiempo, ajustando el flujo de corriente a través de resistencias de balance, de manera que la densidad de corriente se mantuviera uniforme en todas las barras.

El sistema se mantuvo en funcionamiento continuo durante los días programados para cada nivel de corrosión. A lo largo del ensayo se efectuaron lecturas periódicas de corriente y voltaje.



Fig. 44. Viga experimental sometida a corrosión

Registro y medición del deterioro superficial

Una vez concluido el proceso de corrosión acelerada, las vigas se desconectaron del sistema eléctrico y se dejaron secar a temperatura ambiente hasta alcanzar un estado superficial estable. Durante este periodo se tomaron registros fotográficos detallados de cada probeta, documentando la aparición de fisuras longitudinales, la propagación de grietas y cualquier desprendimiento del recubrimiento visible en la superficie del concreto. Posteriormente, se midieron las longitudes y anchos de las grietas con apoyo de una regla milimétrica y un calibrador, registrando los valores correspondientes en una ficha de observación. Las evidencias visuales se clasificaron según el nivel de corrosión aplicado, diferenciando los patrones de fisuración y el grado de afectación del recubrimiento entre las tres vigas experimentales.

Limpieza y evaluación posterior de la corrosión

Se realizó una limpieza superficial del acero mediante cepillado y remoción mecánica de residuos para exponer el metal. A continuación, se efectuó una limpieza química destinada a retirar impurezas adheridas; no se dispuso del reactivo especificado por la norma, por lo que se empleó vinagre como alternativa, lo que permitió desincrustar y eliminar residuos remanentes

en la superficie. Tras ello, las barras se enjuagaron y secaron, quedando listas para su evaluación y pesada final.



Fig. 45. Limpieza de aceros corroídos.

Medición del diámetro residual del acero

El procedimiento de medición del diámetro se realizó una vez finalizada la limpieza de las barras. Cada muestra fue identificada y fijada sobre una superficie estable para asegurar precisión durante la medición. Se empleó un calibrador vernier para registrar el diámetro en distintos puntos del tramo corroído, tomando las lecturas en intervalos equidistantes a lo largo de la longitud afectada. En cada barra se efectuaron doce mediciones, procurando abarcar zonas con distinta apariencia superficial.

Las lecturas obtenidas se anotaron en una ficha de registro, diferenciando los valores correspondientes a cada muestra. Con estos datos se calculó el diámetro promedio residual, el cual se comparó con el diámetro nominal original para determinar el porcentaje de reducción.



Fig. 46. Medición de diámetro residual del acero.

Ensayo de tracción del acero

Se efectuó el ensayo a tracción en las barras de refuerzo previamente limpiadas y medidas, con el objetivo de determinar sus propiedades mecánicas después del proceso de corrosión. Las muestras fueron identificadas y cortadas a una longitud adecuada para su colocación en la máquina universal de ensayos, asegurando la correcta alineación de los extremos para evitar esfuerzos adicionales por excentricidad.

Durante el ensayo se aplicó una carga axial creciente y continua hasta la rotura de la probeta, registrándose las lecturas de carga y alargamiento. Con los valores máximos de carga obtenidos y las áreas efectivas medidas para cada barra, se calculó el límite de fluencia (f_y) y la resistencia última (f_u), expresadas en kg/cm^2 . Estos resultados permitieron evaluar la reducción del esfuerzo de fluencia respecto al acero en estado no corroído y sirvieron como base para el análisis comparativo del comportamiento estructural de las vigas.



Fig. 47. Preparación y ejecución del ensayo a tracción del acero de refuerzo corroído.



Fig. 48. Registro de resultados del ensayo a tracción del acero corroído.

Cálculo de resistencia a flexión y corte

Para la determinación de los esfuerzos de diseño y la posterior evaluación de la capacidad estructural, se elaboró un modelo analítico en el software ETABS que representa las condiciones geométricas de una vivienda típica del distrito de Eten Puerto. El modelado permitió obtener los momentos flectores y cortantes generados por las cargas gravitacionales y sísmicas que actúan sobre los elementos estructurales. A partir de los resultados del análisis se

obtuvieron los valores de diseño que fueron empleados en la hoja de cálculo para el cálculo de la resistencia a flexión y corte de las vigas con distintos niveles de corrosión.

Estructuración de los elementos

La estructuración del modelo se definió a partir de mediciones directas en edificaciones representativas de la zona. Se estableció una configuración de pórticos de concreto armado, compuestos por vigas y columnas, con cubierta mediante losa aligerada. Para el análisis se adoptaron secciones representativas de la práctica local: vigas de 25×35 cm, columnas de 25×25 cm y losa aligerada de 20 cm de espesor. Con estos parámetros se modeló el entrepiso en ETABS, de modo que la geometría representara fielmente una vivienda típica de concreto armado y permitiera obtener los momentos y cortantes de diseño empleados posteriormente en los cálculos de resistencia a flexión y corte.

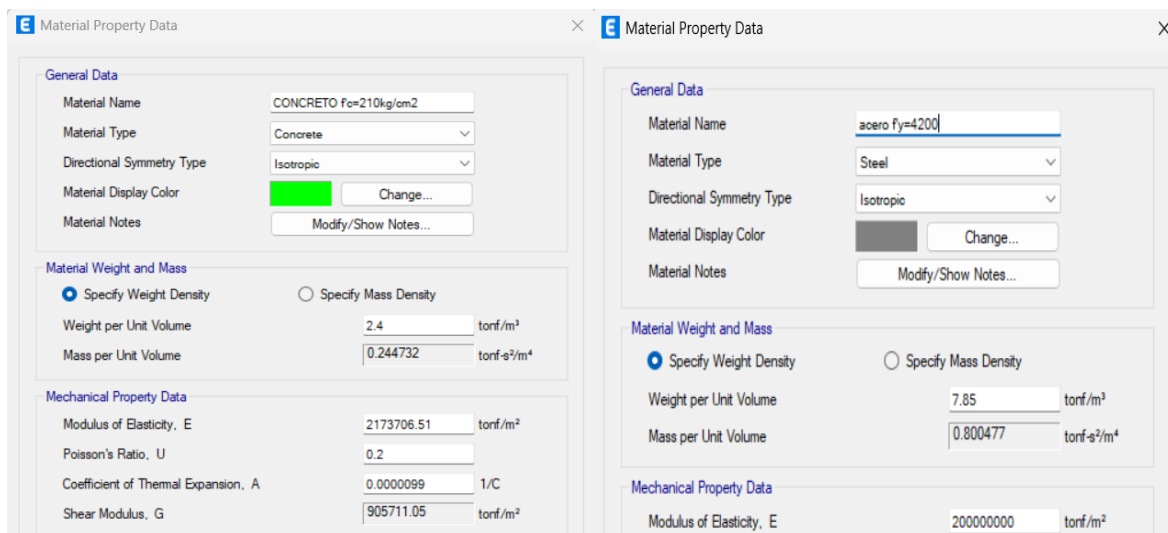


Fig. 49. Asignación de propiedades de los materiales

Metrado de cargas

Para el metrado de cargas se tomó en cuenta las cargas establecido en la normativa, ya que se analiza una vivienda familiar se usó una sobrecarga de 200 kg/m^2 , para la carga muerta se consideró el peso específico de la losa, peso de acabados y tabiquería los cuales se observa en la siguiente tabla.

TABLA XXIV
METRADO DE CARGAS GRAVITACIONALES

Carga muerta		
Peso propio de Losa unidireccional e=20	0.3	tn/m2
Peso de la tabiquería	0.1	tn/m2
Peso de acabados	0.1	tn/m2
Carga muerta total losa unidireccional	0.5	tn/m2
Carga viva		
Sobrecarga	0.2	tn/m2

Una vez definidas las propiedades y dimensiones se procedieron a modelar en software Etabs, se dibujó cada elemento y sus asignaciones de cargas correspondientes, posterior a ello se definió los patrones de cargas y combinaciones. Para la estructura se consideró el peso sísmico del 100% de la carga muerta y un 25% de la carga viva.

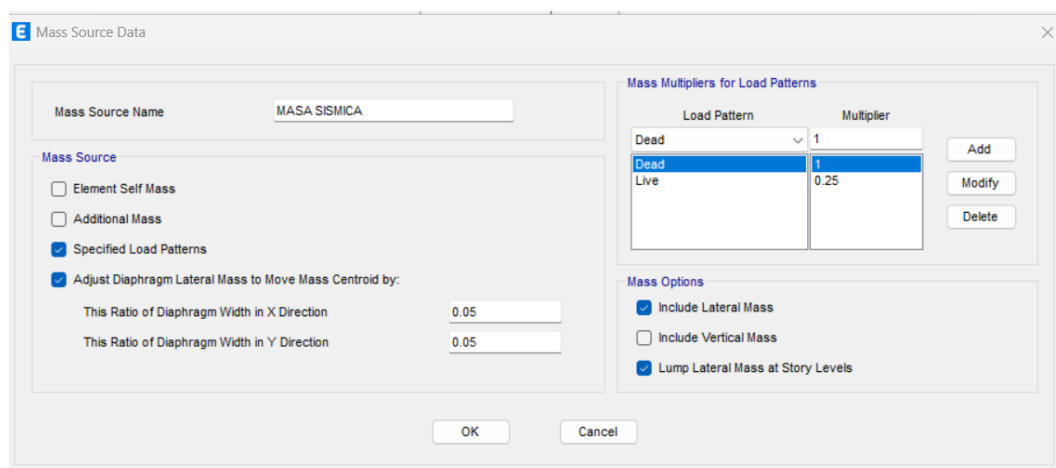


Fig. 50. Definición de masa sísmica.

Análisis estático

Para el análisis estático se consideró lo relacionado con la norma E030, donde menciona que de acuerdo con el lugar donde se encuentra la estructura se tendrá parámetros que serán necesarios para el análisis, desde el tipo de zona el cual se encuentre en tipo 4, el uso es tipo C debido a que es una vivienda unifamiliar y el tipo de suelo es un S3.

TABLA XXV
METRADO DE CARGAS GRAVITACIONALES

Parámetros sísmicos	Valor
Z: Factor de zona	0.45
U: Factor de uso o importancia	1.00
S: Factor de amplificación del suelo	1.10
TP: Periodo que define la plataforma del factor C (s)	0.60
TL: Periodo que define el inicio de la zona del factor C (s)	1.60

Adicional a estos valores se consideró un factor de reducción (R_0) de 8 debido a que es un sistema a porticado.

TABLA XXVI
CALCULO DE COEFICIENTE SISMICO SENTIDO X-X

PARÁMETROS DE CÁLCULO EN DIRECCIÓN X-X	VALOR
TX: Periodo natural en la dirección X (s)	0.440
CX: Factor de amplificación sísmica en X	2.50
Rox: Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas	8.00
Iax: irregularidad en altura	1.00
Ipx: irregularidad en planta (esq entrantes)	1.00
RX: Coeficiente de reducción sísmico en X	8.00
Cx/Rx =	0.31
Kx: Exponente relacionado con el período fundamental	1.000
Cx: Base Shear Coeficient = $Z*U*S*C_x / R_x$	0.1547

TABLA XXVII
CALCULO DE COEFICIENTE SISMICO SENTIDO Y-Y

PARÁMETROS DE CÁLCULO EN DIRECCIÓN Y-Y		VALOR
TY: Periodo natural en la dirección Y (s)		0.250
CY: Factor de amplificación sísmica en Y		2.50
R _{0y} : Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas		8.00
I _{ay} : irregularidad en altura		1.00
I _{py} : irregularidad en planta (Torsion)		1.00
R _Y : Coeficiente de reducción sísmico en X		8.00
C _y /R _y =	0.31	OK
K _y : Exponente relacionado con el período fundamental		1.000
C _y : Base Shear Coefficient = $Z*U*S*C_y / R_y$		0.1547

Luego de obtener los valores de los coeficientes de base, en el modelado se crearon los patterns tanto de carga viva como carga muerta además del sismo estático tanto en X como en Y, se asignan los coeficientes correspondientes a cada uno y se crean los casos correspondientes a cada sismo.

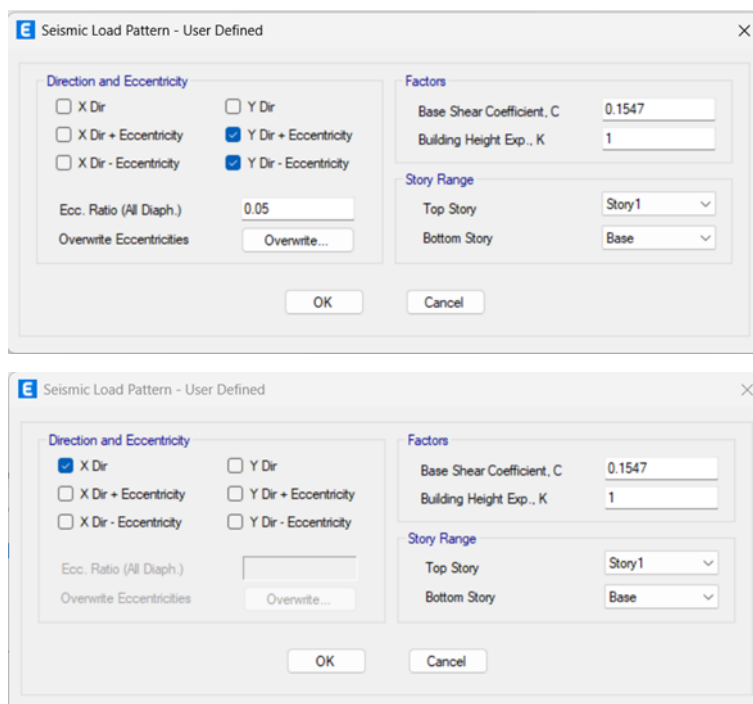


Fig. 51. Asignación de coeficientes sísmicos en ambos sentidos al modelado en ETABS.

Diseño a flexión de vigas

Una vez finalizado el modelado estructural y obtenidos los resultados del análisis, se procede a extraer los momentos flectores de la envolvente generada por las combinaciones. A partir de dichos resultados, se desarrolla el diseño a flexión de cada viga, considerando las propiedades del material. Este proceso tiene como finalidad determinar la resistencia última a flexión que garantice el comportamiento estructural adecuado frente a los momentos de diseño obtenidos del modelo. Finalmente, se elabora un cuadro resumen por viga con la disposición del refuerzo requerido y las verificaciones correspondientes.

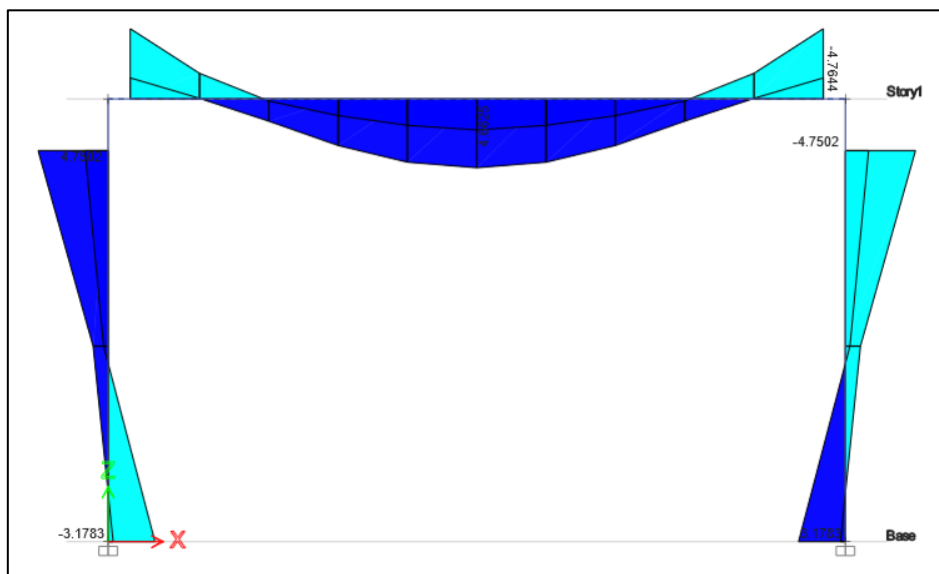


Fig. 52. Diagrama de envolvente de momentos

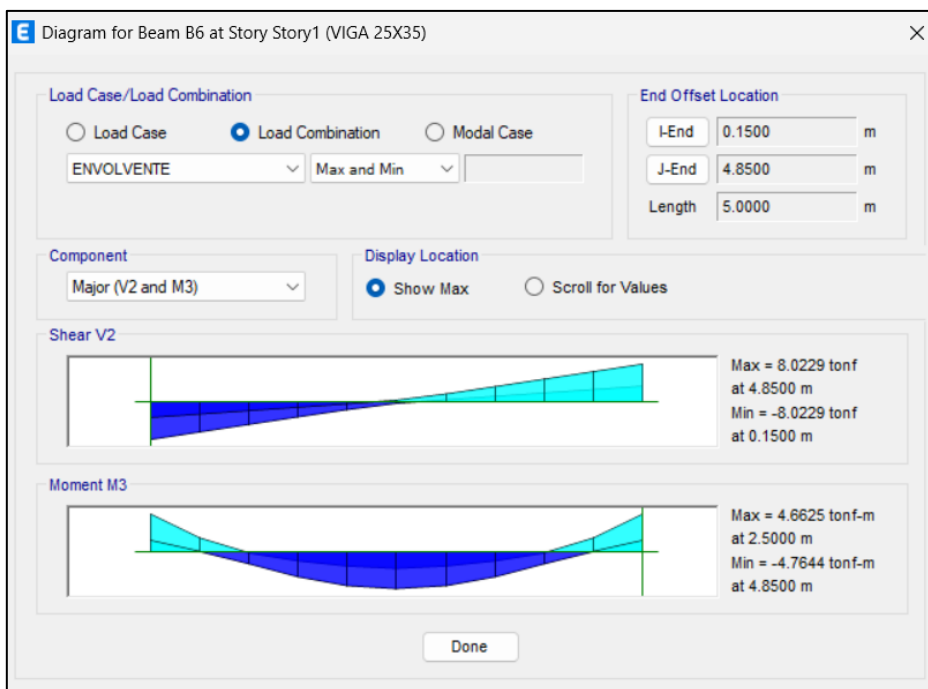


Fig. 53. Momentos y cortantes máximas en vigas

Cálculo de diseño a flexión y corte cumpliendo normativa

Con los datos extraídos de ETABS, se calcula el área de acero a flexión de cada viga y, en función de ese resultado, se define la distribución y el diámetro de las barras a emplear tanto para el momento positivo como para el momento negativo.

TABLA XXVIII

CALCULO DE ACERO REQUERIDO MOMENTO POSITIVO

MOMENTO POSITIVO		
Mu+=	4.66	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	29.00	cm
f'c=	210.00	kg/cm ²
f'Y=	4200.00	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρb	0.02	
ρmax	0.02	

ρ min	0.0024	
As min	1.81	cm ²
Asmax	11.95	cm ²
Mn	6.14	tn.m
a=	4.16	cm
AS	4.42	cm ²

Una vez determinada el área de acero requerida, se verifico que la distribución de acero empleado en las viviendas si cumple con el área requerida.

TABLA XXIX

DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	5.24	cm ²

Se procedió a determinar el área de acero a emplear para el momento negativo, utilizando los momentos negativos de la envolvente del modelo. Con este valor se define la disposición de las barras superiores y sus diámetros.

TABLA XXX

CALCULO DE ACERO REQUERIDO MOMENTO NEGATIVO

MOMENTO NEGATIVO		
Mu=-	4.76	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	30.00	cm
f'c=	210.00	kg/cm ²
f'Y=	4200.00	kg/cm ²

$f_i=$	0.90	
ρ_b	0.02	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0024	
$A_{s\ min}$	1.81	cm ²
$A_{s\ max}$	11.95	cm ²
M_n	6.13	tn.m
$a=$	4.25	cm
$A_s=$	4.52	cm ²

Una vez determinada el área de acero requerida, se verifico que la distribución de acero empleado en las viviendas si cumple con el área requerida.

TABLA XXXI

DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	5.24	cm ²

Diseño a corte en vigas

A partir de los cortantes obtenidos en ETABS, se establece la demanda de corte por viga y, con base en ella, se determina el refuerzo transversal: diámetro y separación de estribos, así como su disposición en zonas críticas (apoyos y cercanías a cargas concentradas). Con estos resultados se fija el detalle final de estribos y anclajes requeridos para garantizar la capacidad a corte.

TABLA XXXII**CALCULO DE CORTANTE RESISTENTE**

Vu	8.02	tn
Vc	5.76	tn
Vn	9.44	tn
Vs	3.67	tn
S	48.61	cm
S puesta	10.00	cm
Vs original	17.86	tn
V resis	20.08	tn

Debemos tener en cuenta los siguientes criterios de separación de estribos.

TABLA XXXIII**CRITERIO DE SEPARACIÓN DE ESTRIBOS**

SEPARACIÓN MAXIMA		
S1	7.63	cm
S2	9.54	cm
S3	15.00	cm

Cálculo de diseño a flexión y corte con datos de viviendas evaluadas

Para evaluar la estructura de las viviendas, se procederá a calcular su diseño a flexión y a corte en las secciones más críticas. Estos cálculos se basarán en la geometría y las propiedades reales del concreto y su acero de refuerzo, previamente medidas. Finalmente, se contrastará la capacidad resistente estimada de cada vivienda con las cargas y esfuerzos obtenidos del modelado, y se realizará la comparación con el cálculo ideal.

Vivienda 01 – antigüedad 15 años

Cálculo de acero positivo

TABLA XXXIV**CALCULO DE ACERO REQUERIDO – VIVIENDA 01**

MOMENTO POSITIVO		
Mu+=	4.66	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	30.00	cm
f'c=	178.00	kg/cm2
f'Y=	3744.01	kg/cm2
fi=	0.90	
ρ_b	0.02	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0025	
As min	1.87	cm2
Asmax	11.90	cm2
Mn	4.66	tn.m
a=	4.98	cm
As=	5.03	cm2

Una vez determinada el área de acero requerida, se verifica que la distribución de acero empleado cumpla con el área requerida.

TABLA XXXV**DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO**

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	4.52	cm2

Calculo área de acero negativo

TABLA XXXVI**CALCULO DE ACERO REQUERIDO – VIVIENDA 01**

MOMENTO NEGATIVO		
Mu=	4.76	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	30.00	cm
f'c=	178.00	kg/cm ²
f'Y=	3744.01	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρ_b	0.02	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0025	
As min	1.87	cm ²
Asmax	11.90	cm ²
Mn	4.65	tn.m
a=	5.09	cm
As=	5.15	cm ²

Verificación de área de acero cumpla con el requerido

TABLA XXXVII**DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO**

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	4.52	cm ²

Vivienda 02 – antigüedad 25 años

Cálculo de acero positivo

TABLA XXXVIII

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – VIVIENDA 02

MOMENTO POSITIVO		
Mu+=	4.66	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	30.00	cm
f'c=	165.00	kg/cm ²
f'y=	3595.34	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρb	0.02	
ρmax	0.02	
ρ min	0.0025	
As min	1.88	cm ²
Asmax	11.66	cm ²
Mn	3.78	tn.m
a=	5.41	cm
As=	5.28	cm ²

Distribución de área de acero obtenida

TABLA XXXIX

DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO

2	φ	5/8"
+		
1	φ	1/2"
AS	3.85	cm ²

Cálculo de área de acero para momento negativo

TABLA XL

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – VIVIENDA 02

MOMENTO NEGATIVO		
Mu=-	4.76	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	30.00	cm
f'c=	165.00	kg/cm ²
f'Y=	3595.34	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρb	0.02	
ρmax	0.02	
ρ min	0.0025	
As min	1.88	cm ²
Asmax	11.66	cm ²
Mn	3.77	tn.m
a=	5.54	cm
As=	5.40	cm ²

Verificación de área de acero cumpla con el requerido

TABLA XLI

DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO

2	φ	5/8"
+		
1	φ	1/2"
AS	3.85	cm ²

Vivienda 03 – antigüedad 30 años

Cálculo de acero positivo

TABLA XLII

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – VIVIENDA 03

MOMENTO POSITIVO		
Mu+=	4.66	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	30.00	cm
f'c=	157.00	kg/cm ²
f'Y=	3436.07	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρb	0.02	
ρmax	0.02	
ρ min	0.0026	
As min	1.91	cm ²
Asmax	11.81	cm ²
Mn	3.41	tn.m
a=	5.72	cm
As=	5.55	cm ²

Distribución de área de acero obtenida

TABLA XLIII

DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO

2	φ	5/8"
+		
1	φ	1/2"
AS	3.66	cm ²

Cálculo de área de acero para momento negativo

TABLA XLIV

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – VIVIENDA 03

MOMENTO NEGATIVO		
Mu=-	4.76	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	3.00	cm
d=	30.00	cm
f'c=	157.00	kg/cm ²
f'Y=	3436.07	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρb	0.02	
ρmax	0.02	
ρ min	0.0026	
As min	1.91	cm ²
Asmax	11.81	cm ²
Mn	3.40	tn.m
a=	5.86	cm
As=	5.69	cm ²

Verificación de área de acero cumpla con el requerido

TABLA XLV

DISTRIBUCION DE ACERO EMPLEADO

2	φ	5/8"
+		
1	φ	1/2"
AS	3.66	cm ²

Diseño a flexión de vigas experimentales

Se realizará el análisis a flexión de las vigas experimentales con corrosión inducida (L1–L3). El cálculo de la capacidad resistente se realizará empleando los datos medidos para cada espécimen, incluyendo la resistencia del concreto ($f'c$), su geometría, y el estado del acero como la reducción de diámetro y resistencia residual. El objetivo es comparar estos resultados con una viga de control en estado normal para así cuantificar la degradación de la resistencia a flexión.

Diseño a flexión de viga – Nivel Bajo

Cálculo de acero positivo:

TABLA XLVI

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – NIVEL BAJO

MOMENTO POSITIVO		
Mu+=	4.66	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	4.00	cm
d=	29.00	cm
f'c=	210.00	kg/cm ²
f'Y=	4023.59	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρ_b	0.02	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0025	
As min	1.83	cm ²
Asmax	12.27	cm ²
Mn	5.04	tn.m
a=	4.32	cm
As=	4.79	cm ²

Una vez determinada el área de acero requerida, se procede a evaluar con la distribución que se tiene, pero determinada con el área residual

TABLA XLVII

AREA DE ACERO – NIVEL BAJO

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	4.66	cm ²

Cálculo de acero negativo:

TABLA XLVIII

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – NIVEL BAJO

MOMENTO NEGATIVO		
Mu=	4.76	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	4.00	cm
d=	29.00	cm
f'c=	210.00	kg/cm ²
f'Y=	4023.59	kg/cm ²
f'i=	0.90	
ρ_b	0.02	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0025	
As min	1.83	cm ²
Asmax	12.27	cm ²
Mn	5.03	tn.m
a=	4.42	cm
As=	4.91	cm ²

Una vez determinada el área de acero requerida, se procede a evaluar con la distribución que se tiene, pero determinada con el área residual.

TABLA XLIX

AREA DE ACERO - NIVEL BAJO

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	4.66	cm ²

Diseño a flexión de viga - Nivel Moderado

Cálculo área de acero positivo:

TABLA L

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – NIVEL MODERADO

MOMENTO POSITIVO		
Mu+=	4.66	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	4.00	cm
d=	29.00	cm
f'c=	210.00	kg/cm ²
f'Y=	3794.23	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρ_b	0.02	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0027	
As min	1.94	cm ²
Asmax	13.32	cm ²
Mn	4.68	tn.m
a=	4.32	cm
As=	5.08	cm ²

Área de acero obtenido después del proceso de corrosión

TABLA LI

AREA DE ACERO - NIVEL MODERADO

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	4.60	cm ²

Cálculo de acero negativo:

TABLA LII

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – NIVEL MODERADO

MOMENTO NEGATIVO		
Mu=-	4.76	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	4.00	cm
d=	29.00	cm
f'c=	210.00	kg/cm ²
f'Y=	3794.23	kg/cm ²
fi=	0.90	
ρ_b	0.02	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0027	
As min	1.94	cm ²
Asmax	13.32	cm ²
Mn	4.67	tn.m
a=	4.42	cm
As=	5.20	cm ²

Área de acero obtenido con el diámetro residual

TABLA LIII**AREA DE ACERO – NIVEL MODERADO**

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	4.60	cm ²

Diseño a flexión de viga – Nivel Severo

Cálculo acero positivo:

TABLA LIV**CALCULO DE ACERO REQUERIDO – NIVEL SEVERO**

MOMENTO POSITIVO		
Mu+=	4.66	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	4.00	cm
d=	29.00	cm
f _c =	210.00	kg/cm ²
f _Y =	3572.31	kg/cm ²
f _i =	0.90	
ρ_b	0.03	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0028	
As min	2.06	cm ²
Asmax	14.48	cm ²
Mn	3.76	tn.m
a=	4.32	cm
As=	5.40	cm ²

Área de acero obtenido con el diámetro residual.

TABLA LV

AREA DE ACERO DEL NIVEL DE CORROSION – NIVEL SEVERO

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	3.92	cm ²

Calculo acero negativo:

TABLA LVI

CALCULO DE ACERO REQUERIDO – NIVEL SEVERO

MOMENTO NEGATIVO		
Mu=-	4.76	tn.m
b=	25.00	cm
h	35.00	cm
rec	4.00	cm
d=	29.00	cm
f _c =	210.00	kg/cm ²
f _Y =	3572.31	kg/cm ²
f _i =	0.90	
ρ_b	0.03	
ρ_{max}	0.02	
ρ_{min}	0.0028	
As min	2.06	cm ²
Asmax	14.48	cm ²
Mn	3.75	tn.m
a=	4.42	cm
As=	5.53	cm ²

Área de acero obtenido con el diámetro residual.

TABLA LVII

AREA DE ACERO – NIVEL SEVERO

2	ϕ	5/8"
+		
1	ϕ	1/2"
AS	3.92	cm ²

A continuación, se muestran las tablas resumen de las áreas de acero, de las viviendas evaluadas y de las vigas experimentales.

TABLA LVIII

CUMPLIMIENTO DE AREAS DE ACERO VIVIENDAS – MOMENTO POSITIVO

Vivienda	As req (cm ²)	As real (cm ²)	As res / As req	Resultado
Patrón	4.42	5.24	1.19	CUMPLE
V - 01	5.03	4.52	0.90	NO CUMPLE
V - 02	5.28	3.85	0.73	NO CUMPLE
V - 03	5.55	3.66	0.66	NO CUMPLE

TABLA LIX

CUMPLIMIENTO DE AREAS DE ACERO VIVIENDAS – MOMENTO NEGATIVO

Vivienda	As req (cm ²)	As real (cm ²)	As res / As req	Resultado
Patrón	4.52	5.24	1.16	CUMPLE
V - 01	5.15	4.52	0.88	NO CUMPLE
V - 02	5.40	3.85	0.71	NO CUMPLE
V - 03	5.69	3.66	0.64	NO CUMPLE

TABLA LX

**CUMPLIMIENTO AREAS DE ACERO VIGAS EXPERIMENTALES - MOMENTO
POSITIVO**

Nivel de corrosión	As req (cm²)	As real (cm²)	As real / As req	Resultado
Normal	4.70	5.24	1.11	CUMPLE
Bajo	4.79	4.66	0.97	NO CUMPLE
Moderado	5.08	4.60	0.90	NO CUMPLE
Severo	5.40	3.92	0.73	NO CUMPLE

TABLA LXI

**CUMPLIMIENTO AREAS DE ACERO VIGAS EXPERIMENTALES - MOMENTO
NEGATIVO**

Nivel de corrosión	As req (cm²)	As real (cm²)	As real / As req	Resultado
Normal	4.70	5.24	1.11	CUMPLE
Bajo	4.91	4.66	0.95	NO CUMPLE
Moderado	5.20	4.60	0.88	NO CUMPLE
Severo	5.53	3.92	0.71	NO CUMPLE

Diseño corte de viviendas evaluadas

Para determinar la capacidad real de las vigas ante esfuerzos cortantes, realizaremos su diseño a corte considerando las condiciones encontradas, sus dimensiones, la resistencia del concreto, el recubrimiento y el estado del acero. Posteriormente, compararemos esta capacidad real con la que tendría una viga ideal, es decir, una viga sin corrosión. Este contraste nos permitirá cuantificar la pérdida de resistencia y justificar la diferencia entre el comportamiento actual y el de referencia.

Vivienda 01 – antigüedad 15 años

TABLA LXII

CORTANTE RESISTENTE – VIVIENDA 01

Vu	8.02	tn
Fy	3746.38	kg/cm2
Vc	5.30	tn
Vn	9.44	tn
Vs	4.13	tn
S	31.97	cm
S puesta	10.00	cm
Vs original	13.21	tn
V resis	15.74	tn

Vivienda 02 – antigüedad 25 años

TABLA LXIII

CORTANTE RESISTENTE – VIVIENDA 02

Vu	8.02	tn
Fy	3609.65	kg/cm2
Vc	5.11	tn
Vn	9.44	tn
Vs	4.33	tn
S	24.14	cm
S puesta	10.00	cm
Vs original	10.45	tn
V resis	13.22	tn

Vivienda 03 – antigüedad 30 años

TABLA LXIV

CORTANTE RESISTENTE – VIVIENDA 03

Vu	8.02	tn
Fy	3443.05	kg/cm ²
Vc	4.98	tn
Vn	9.44	tn
Vs	4.45	tn
S	22.38	cm
S puesta	10.00	cm
Vs original	9.97	tn
V resis	12.71	tn

Diseño a corte con corrosión medida

En este análisis, se establece la resistencia al cortante de la viga incorporando los efectos de la degradación por corrosión en el acero. La metodología consiste en utilizar los valores medidos directamente de los estribos, como su diámetro y fluencia residual, para recalcular el área efectiva de refuerzo. El resultado de esta capacidad se contrasta con los esfuerzos cortantes que solicita el análisis estructural, asegurando así la verificación de las normativas de seguridad vigentes.

Diseño por corte - Nivel Bajo

TABLA LXV

CORTANTE RESISTENTE – NIVEL BAJO

Vu	8.02	tn
Fy	4081.85	kg/cm ²
Vc	5.57	tn
Vn	9.44	tn
Vs	3.87	tn
S	41.95	cm
S puesta	10.00	cm

Vs original	16.22	tn
V resis	18.52	tn

Diseño por corte - Nivel Moderado

TABLA LXVI

CORTANTE RESISTENTE – NIVEL MODERADO

Vu	8.02	tn
Fy	3931.85	kg/cm ²
Vc	5.66	tn
Vn	9.44	tn
Vs	3.87	tn
S	38.19	cm
S puesta	10.00	cm
Vs original	14.77	tn
V resis	17.28	tn

Diseño por corte - Nivel Severo

TABLA LXVII

CORTANTE RESISTENTE – NIVEL SEVERO

Vu	8.02	tn
Fy	3683.96	kg/cm ²
Vc	5.57	tn
Vn	9.44	tn
Vs	3.87	tn
S	31.95	cm
S puesta	10.00	cm
Vs original	12.35	tn
V resis	15.23	tn

Resultados y Discusión

Resultados

Resultado nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural.

En las siguientes tablas se presenta los resultados del análisis de capacidad estructural. La verificación se presenta como las relaciones capacidad/demanda en flexión y en corte, expresados como ($\phi M_n / M_u$) y ($\phi V_n / V_u$). El índice global de capacidad (IGC) se define como el mínimo de ambas, por ser el modo que gobierna la seguridad del elemento; la pérdida de capacidad estructural (PCE) se calcula como la variación porcentual del IGC respecto del estado de referencia (no corroído).

TABLA LXVIII

PERDIDA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS

Vivienda	$\phi M_n / M_u$	$\phi V_n / V_u$	IGC	PCE %
Patrón	1.11	2.42	1.11	0.00%
V - 01	0.88	1.96	0.88	24.16%
V - 02	0.73	1.68	0.73	38.50%
V - 03	0.66	1.61	0.66	44.55%

TABLA LXIX

PERDIDA CAPACIDAD ESTRUCTURAL VIGA EXPERIMENTAL

Nivel de corrosión	$\phi M_n / M_u$	$\phi V_n / V_u$	IGC	PCE %
Normal	1.11	2.42	1.11	0.00%
Bajo	0.95	2.31	0.95	14.69%
Moderado	0.88	2.16	0.88	20.71%
Severo	0.71	1.90	0.71	36.35%

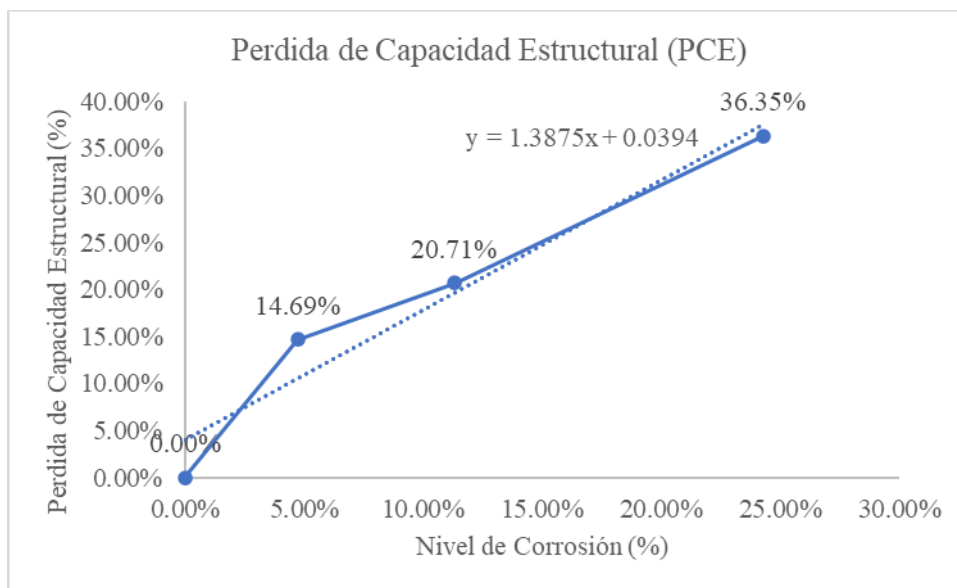


Fig. 54. Pérdida porcentual de la capacidad estructural

Resultado disminución del diámetro del acero.

En las siguientes tablas se presenta la cuantificación de reducción del diámetro en el acero de refuerzo, tanto en su disposición longitudinal como transversal, como consecuencia directa del proceso de corrosión. Se presenta la disminución del diámetro en el acero de refuerzo, tanto en su configuración longitudinal como transversal, la cual fue determinada a partir de mediciones tomadas tanto en las viviendas evaluadas como en las muestras experimentales. Para asegurar la precisión, el diámetro residual en cada nivel se calculó promediando las mediciones realizadas en doce puntos a lo largo de cada barra o estribo. Los datos resultantes permiten cuantificar de manera precisa y comparativa la pérdida dimensional del acero.

TABLA LXX

RESULTADOS DISMINUCIÓN DEL DIÁMETRO – VIVIENDAS

Vivienda	Tipo de barra	Diámetro teórico (mm)	Diámetro residual prom. (mm)	Pérdida de diámetro (%)
V - 01	5/8"	15.90	14.84	6.64%
	1/2"	12.70	11.64	8.31%
	3/8"	9.50	8.65	8.94%
V - 02	5/8"	15.90	13.76	13.43%
	1/2"	12.70	10.56	16.83%

	3/8"	9.50	7.84	17.49%
V - 03	5/8"	15.90	13.30	16.34%
	1/2"	12.70	10.10	20.48%
	3/8"	9.50	7.51	20.93%

TABLA LXXI**RESULTADOS DISMINUCIÓN DEL DIÁMETRO – MUETRAS EXPERIMENTALES**

Nivel de corrosión	Tipo de barra	Diámetro teórico (mm)	Diámetro residual prom. (mm)	Pérdida de diámetro (%)
Bajo	5/8"	15.90	15.48	2.67%
	1/2"	12.70	12.39	2.47%
	3/8"	9.50	9.34	1.68%
Moderado	5/8"	15.90	14.89	6.34%
	1/2"	12.70	11.91	6.23%
	3/8"	9.50	9.08	4.42%
Severo	5/8"	15.90	13.75	13.53%
	1/2"	12.70	11.00	13.36%
	3/8"	9.50	8.58	9.68%

Resultado disminución de las áreas de concreto armado debido a los efectos de corrosión.

En la siguiente tabla se presentan los resultados correspondientes a la disminución de las áreas del acero de refuerzo en elementos de concreto armado, clasificados por nivel de corrosión. Se detallan los valores teóricos y residuales del área de las barras, el porcentaje de reducción obtenido, el promedio por nivel y el ancho estimado de fisura observado para cada condición. Además, se incluye una descripción cualitativa del estado superficial del recubrimiento asociado a cada nivel de deterioro, lo cual permite evidenciar el grado de afectación del sistema estructural frente al avance del proceso corrosivo.

TABLA LXXII

RESULTADO DISMINUCIÓN DE LAS ÁREA DE CONCRETO ARMADO

Vivienda	Tipo de Barra	Área teórica (cm ²)	Área residual (cm ²)	% Reducido	Promedio
V - 01	5/8"	1.986	1.731	12.84%	15.28%
	1/2"	1.267	1.065	15.93%	
	3/8"	0.709	0.588	17.08%	
V - 02	5/8"	1.986	1.488	25.06%	29.27%
	1/2"	1.267	0.876	30.83%	
	3/8"	0.709	0.483	31.92%	
V - 03	5/8"	1.986	1.390	30.01%	34.75%
	1/2"	1.267	0.801	36.76%	
	3/8"	0.709	0.443	37.47%	

TABLA LXXIII

RESULTADO DISMINUCIÓN DE LAS ÁREA DE CONCRETO ARMADO

Nivel de Corrosión	Tipo de Barra	Área teórica (cm ²)	Área residual (cm ²)	% Reducido	Promedio	Ancho de fisura mm	Observaciones
Bajo	5/8"	1.986	1.881	5.27%	4.50%	< 0.10	Presencia de fisuras finas; se evidencia oxidación incipiente sin alteración visible del recubrimiento.
	1/2"	1.267	1.205	4.88%			
	3/8"	0.709	0.685	3.34%			
Moderado	5/8"	1.986	1.742	12.28%	11.00%	0.3 – 0.4	Oxidación moderada del refuerzo; se observa expansión del óxido acompañada de microfisuración superficial longitudinal.
	1/2"	1.267	1.114	12.07%			
	3/8"	0.709	0.648	8.65%			
Severo	5/8"	1.986	1.484	25.24%	22.87%	0.85 – 1.2	Corrosión generalizada del refuerzo; presencia de fisuras longitudinales abiertas y continuas sin pérdida de recubrimiento.
	1/2"	1.267	0.951	24.93%			
	3/8"	0.709	0.578	18.43%			

Resultado resistencia a flexión debido a los efectos de corrosión.

En las siguientes tablas se presenta los resultados analíticos de resistencia a flexión, obtenidos tras evaluar elementos estructurales tanto en las viviendas como en las muestras experimentales específicas del estudio. Los valores registrados se centran en el momento flector último (M_u) y el momento nominal (M_n) para cada elemento, clasificado en los tres viviendas y niveles de corrosión establecidos. La comparación entre el momento resistente de diseño (ϕM_n) y el momento flector requerido (M_u) permite cuantificar la influencia del deterioro por corrosión en la capacidad resistente de la sección estructural. De manera consistente, se observa que a

medida que el nivel de corrosión avanza, el momento nominal (M_n) disminuye progresivamente.

TABLA LXXIV

RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN – VIVIENDAS

Vivienda	Mu (tn.m)	As req (cm ²)	As obt (cm ²)	Mn (tn.m)	ϕ Mn (tn.m)	$\phi M_n \geq M_u$	Reducción ϕM_n vs Normal (%)
Patrón	4.76	4.52	5.24	6.13	5.52	CUMPLE	0.00%
V - 01	4.76	5.15	4.52	4.65	4.19	NO CUMPLE	24.16%
V - 02	4.76	5.40	3.85	3.77	3.39	NO CUMPLE	38.50%
V - 03	4.76	5.69	3.66	3.40	3.06	NO CUMPLE	44.55%

TABLA LXXV

RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN – EXPERIMENTAL

Nivel de corrosión	Mu (tn.m)	As req (cm ²)	As obt (cm ²)	Mn (tn.m)	ϕ Mn (tn.m)	$\phi M_n \geq M_u$	Reducción ϕM_n vs Normal (%)
Normal	4.76	4.70	5.24	5.89	5.30	CUMPLE	0.00%
Bajo	4.76	4.91	4.66	5.03	4.52	NO CUMPLE	14.69%
Moderado	4.76	5.10	4.60	4.67	4.21	NO CUMPLE	20.71%
Severo	4.76	5.21	3.92	3.75	3.38	NO CUMPLE	36.35%

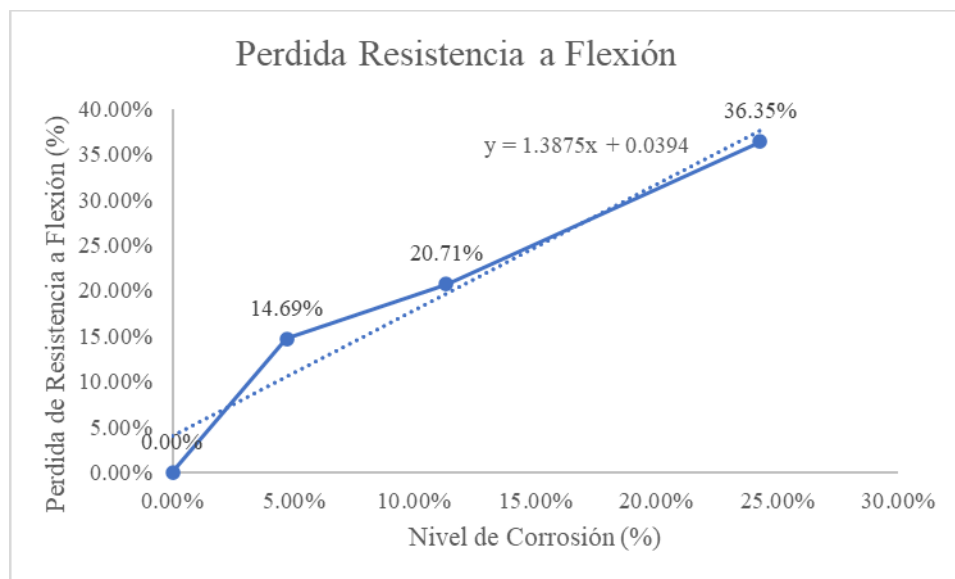


Fig. 55. Pérdida porcentual de la resistencia a flexión.

Resultado resistencia a corte debido a los efectos de corrosión

En las siguientes tablas se presenta los resultados analíticos de la resistencia a corte, obtenidos tras la evaluación de vigas de concreto armado, incluyendo tanto los elementos de las viviendas como las muestras experimentales diseñadas para el estudio. Los cálculos reflejados aquí consideran varios factores críticos que afectan la capacidad a corte: la pérdida de sección en los estribos, la reducción del esfuerzo de fluencia del acero transversal, y la disminución del recubrimiento, que a su vez afecta el peralte efectivo de la viga. Como se observa, los resultados demuestran una reducción progresiva de la capacidad resistente frente a esfuerzos cortantes, la cual se torna más significativa en los niveles de corrosión intermedio y avanzado. Esta degradación es resultado de la pérdida de contribución conjunta del acero transversal (ϕV_n) y del concreto, afectada por la fisuración y la disminución del área efectiva del refuerzo.

TABLA LXXVI

RESULTADOS DE RESISTENCIA A CORTE – VIVIENDA

Vivienda	V_u (tn)	V_n (tn)	ϕV_n (tn)	$\phi V_n \geq V_u$	Reducción ϕV_u vs Normal (%)
Patrón	8.02	22.84	19.41	CUMPLE	0.00%
V - 01	8.02	18.52	15.74	CUMPLE	21.62%
V - 02	8.02	15.82	13.44	CUMPLE	43.56%
V - 03	8.02	15.20	12.92	CUMPLE	55.74%

TABLA LXXVII

RESULTADOS DE RESISTENCIA A CORTE - EXPERIMENTAL

Nivel de corrosión	Vu (tn)	Vn (tn)	ϕVn (tn)	$\phi Vn \geq Vu$	Reducción ϕVu vs Normal (%)
Normal	8.02	22.84	19.41	CUMPLE	0.00%
Bajo	8.02	21.79	18.52	CUMPLE	4.58%
Moderado	8.02	20.34	17.28	CUMPLE	11.47%
Severo	8.02	17.92	15.23	CUMPLE	24.16%

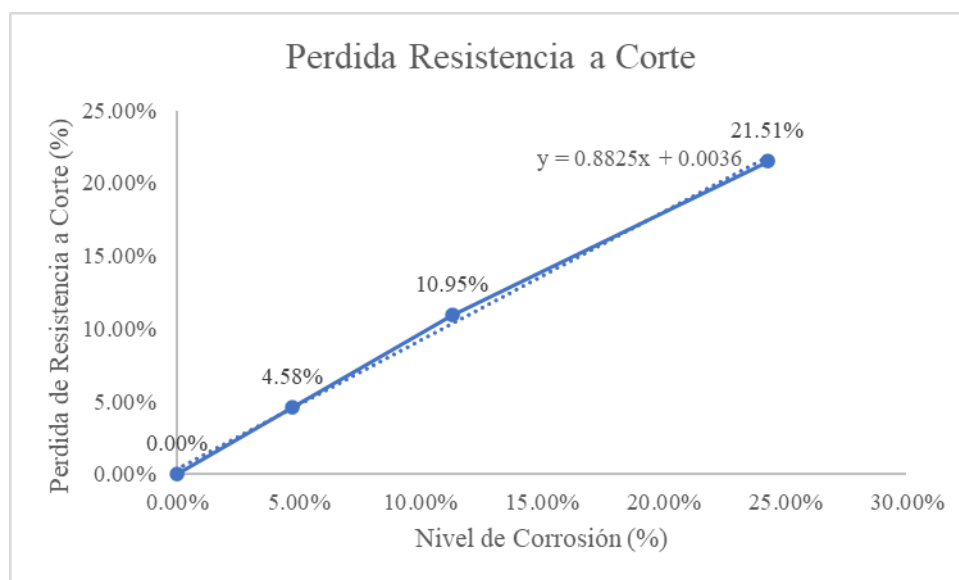


Fig. 56. Pérdida porcentual de la resistencia a corte.

Resultado de resistencia a tracción del acero

En las siguientes tablas se presenta los resultados del ensayo de tracción, obtenidos de las muestras de acero de refuerzo recuperadas tanto de las viviendas como de las muestras experimentales, y se comparan con las propiedades mecánicas del acero en estado normal. Los valores registrados incluyen el límite de fluencia (f_y) y la resistencia última (f_u) residual del acero en los diferentes niveles de corrosión. La comparación de estos valores con los del estado normal permite cuantificar la influencia del deterioro por corrosión en la capacidad mecánica y ductilidad del refuerzo. Como se observa, conforme el nivel de corrosión aumenta, tanto el límite de fluencia (f_y) como la resistencia última (f_u) disminuyen progresivamente. Esto se

traduce en una pérdida significativa de la capacidad portante del acero, lo cual es fundamental para el cálculo de la resistencia estructural de los elementos de concreto armado.

TABLA LXXVIII

RESULTADOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL ACERO - VIVIEDAS

Vivienda	Tipo de barra	Pu (kg)	Área (cm ²)	fy teórico (kg/cm ²)	fy medido (kg/cm ²)	Reducción fy (%)	fu teórico (kg/cm ²)	fu medido (kg/cm ²)	Reducción fu (%)
V - 01	5/8"	9721	1.73	4200	3744.71	10.84%	6300	5617.06	10.84%
	1/2"	5950	1.07	4200	3724.54	11.32%	6300	5586.81	11.32%
	3/8"	3303	0.59	4200	3746.38	10.80%	6300	5619.57	10.80%
V - 02	5/8"	8030	1.49	4200	3597.78	14.34%	6300	5396.67	14.34%
	1/2"	4694	0.88	4200	3571.60	14.96%	6300	5357.40	14.96%
	3/8"	2613	0.48	4200	3609.65	14.06%	6300	5414.47	14.06%
V - 03	5/8"	7208	1.39	4200	3457.76	17.67%	6300	5186.63	17.67%
	1/2"	4093	0.80	4200	3406.07	18.90%	6300	5109.11	18.90%
	3/8"	2259	0.44	4200	3397.93	19.10%	6300	5096.89	19.10%

TABLA LXXIX

RESULTADOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL ACERO - EXPERIMENTAL

Nivel de corrosión	Tipo de barra	Pu (kg)	Área (cm ²)	fy teórico (kg/cm ²)	fy medido (kg/cm ²)	Reducción fy (%)	fu teórico (kg/cm ²)	fu medido (kg/cm ²)	Reducción fu (%)
Bajo	5/8"	11371	1.88	4200	4030.26	4.04%	6300	6045.39	4.04%
	1/2"	7260	1.20	4200	4016.92	4.36%	6300	6025.38	4.36%
	3/8"	4195	0.69	4200	4081.85	2.81%	6300	6122.78	2.81%
Moderado	5/8"	9975	1.74	4200	3817.91	9.10%	6300	5726.87	9.10%
	1/2"	6300	1.11	4200	3770.56	10.22%	6300	5655.84	10.22%
	3/8"	3819	0.65	4200	3931.85	6.38%	6300	5897.77	6.38%
Severo	5/8"	8015	1.48	4200	3599.51	14.30%	6300	5399.26	14.30%
	1/2"	5057	0.95	4200	3545.12	15.59%	6300	5317.67	15.59%
	3/8"	3195	0.58	4200	3683.96	12.29%	6300	5525.94	12.29%

Discusión

Según el objetivo general, “determinar la influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto”, los resultados evidencian que esta influencia es directa y perjudicial, exhibiendo una disminución progresiva. Esta influencia se ha cuantificado mediante el modelo de regresión lineal $y = 1.3875x + 0.0394$, donde la variable “y” representa la pérdida de capacidad estructural en porcentaje y la variable “x” representa el nivel de corrosión en porcentaje. Los datos que sustentan este modelo evidenciaron esta tendencia: en el nivel de corrosión bajo con 4.73% de pérdida de masa se registró una pérdida de capacidad estructural del 14.69%; en el nivel moderado con 11.89% de pérdida de masa resultó en una reducción del 20.71%; y en el nivel severo con 24.78% de pérdida de masa provocó la mayor afectación con una reducción del 36.35%. Por lo tanto, el hallazgo principal de este modelo es el coeficiente de la pendiente 1.3875, el cual establece que por cada 1% de incremento en la pérdida de masa del acero, se puede estimar una pérdida de capacidad estructural de aproximadamente 1.39%. Al comparar los resultados con los obtenidos por Hui Yu (2024) en su artículo “Experimental investigation on flexural performance of corroded RC beams with high-strength concrete and steel bars”, se evidencio una disminución progresiva de la capacidad estructural conforme aumenta el nivel de corrosión, con PCEs que variaron entre 9.11% en el nivel bajo, 24.01% en el nivel moderado y 38.60% en el nivel severo. La comparación de los resultados evidencia una tendencia mixta en la variación de la pérdida de capacidad. En el nivel bajo, el presente estudio fue 5.58% mayor que el antecedente. Sin embargo, en el nivel moderado, la tendencia se invierte, y el antecedente reportó una pérdida 3.30% mayor que el estudio, diferencia que se mantiene en el nivel severo con 2.25 %. Esta divergencia se debe a la diferencia metodológica: en el presente estudio se basa en un cálculo analítico que considera la pérdida de sección A_s y resistencia F_y promedio; en contraste, el estudio de Hui Yu (2024) es experimental y evalúa la viga bajo carga última real con equipo especializado. Esta diferencia explica la tendencia mixta observada: en el nivel bajo, el modelo analítico resulta más conservador que el experimental del antecedente, al penalizar la pérdida de área desde el inicio, antes de que la pérdida de adherencia sea crítica. Sin embargo, en los niveles moderado y severo, la tendencia se invierte, y el ensayo experimental es más agresivo porque captura el efecto acoplado de la pérdida crítica de adherencia y la concentración de tensiones, mecanismos que provocan una falla súbita y que el modelo analítico no considera, explicando así la mayor pérdida del antecedente en estas etapas avanzadas. De acuerdo con Singh y Maheshwari (2024), la corrosión reduce la capacidad

mediante dos mecanismos acoplados: la pérdida de adherencia y la disminución geométrica del refuerzo. La expansión de los óxidos genera presión radial que microfisura el recubrimiento y abre fisuras longitudinales, debilitando el anclaje y la transferencia de esfuerzos. En paralelo, la reducción diametral contrae el área efectiva del acero y el brazo interno de compresión. Es crucial que, una vez superado el umbral de fisuración del recubrimiento, el transporte de agentes agresivos se acelera y las pérdidas de resistencia se vuelven más severas, tal como se observa en la progresión de las PCE.

Según el objetivo específico “determinar la disminución del diámetro del acero de refuerzo debido a los efectos de la corrosión”. Los resultados evidencian una reducción del diámetro conforme escala el nivel de daño. En el nivel bajo se mostró una degradación que oscila entre 1.68 – 2.67%, 4.42 – 6.34% para un nivel moderado y 9.68 – 13.53% para un nivel severo. Estas magnitudes confirman un proceso corrosivo activo que contrae la sección transversal del refuerzo a medida que avanza el deterioro. Al comparar los resultados experimentales con los obtenidos por Singh y Maheshwari (2024) en su artículo científico titulado “Effect of corrosion on bond between reinforcement and concrete: an experimental study” se evidencia una disminución progresiva del diámetro. En el nivel bajo la reducción oscila entre 3.33 - 5.83 %, en el nivel moderado entre 9.2 - 15.8 %; y en el nivel severo alcanzó entre un 19.17 - 21.67 %. La comparación de estos resultados evidencia una divergencia sistemática, siendo la pérdida de diámetro en el antecedente significativamente mayor. La diferencia entre la pérdida máxima de este estudio y la máxima del antecedente es de 3.16% en el nivel bajo, 9.46 % en el moderado y 8.14% en el nivel severo. En todos los niveles, la pérdida mínima del antecedente es superior a la pérdida máxima de este estudio. Dicha variación tan marcada se explica por la morfología de la corrosión, el presente estudio la pérdida de diámetro es uniforme, mientras que los datos del antecedente son más altos y dispersos, son característicos de una corrosión localizada (picaduras). En este escenario, la pérdida de masa se concentra en puntos específicos, creando diámetros mínimos más pequeños y, por lo tanto, tasas de reducción porcentual mucho más altas, lo que explica la mayor degradación registrada en el antecedente. Según Bertolini et al. (2013), el mecanismo se inicia tras la pérdida de pasividad inducida por cloruros. Este proceso disuelve el metal base y genera óxidos cuyo volumen es considerablemente mayor al del acero original. La presión radial resultante provoca la microfisuración del recubrimiento y, subsecuentemente, la apertura de fisuras longitudinales. Es esencial entender que, al mismo tiempo, la corrosión produce picaduras que, al ser focos localizados, concentran tensiones y aceleran la pérdida efectiva de sección transversal.

Según el objetivo específico “determinar la disminución de las áreas de concreto armado debido a los efectos de corrosión”, los resultados mostraron una clara correlación entre el grado de deterioro y la pérdida del área sección transversal, así como la afectación del recubrimiento. En el nivel bajo, la reducción promedio del área fue del 4.50%, con un ancho de fisura menor a 0.10 mm, observándose solo fisuras finas y una oxidación incipiente sin alteración visible del concreto. El nivel moderado mostró un incremento significativo, alcanzando una pérdida promedio del 11.00% y fisuras en el rango de 0.3 - 0.4 mm, lo cual se asoció con una oxidación moderada del refuerzo y microfisuración superficial longitudinal. Finalmente, el nivel severo presentó el mayor impacto, con una reducción promedio del 22.87% y un ancho de fisura entre 0.85 - 1.20 mm. Al comparar los resultados con los obtenidos por Chen et al (2020) en su artículo “Correlation between concrete cracks and corrosion characteristics of steel reinforcement in pre-cracked plain and fibre-reinforced concrete beams” se evidencia una progresión de daño consistente. En el nivel bajo una reducción de área de 5%, se observó la presencia de fisuras finas con anchos menores a 0.10 mm, sin evidencia de daño visible en el recubrimiento superficial. En el nivel moderado, con reducciones entre 5 - 10%, se manifestó una oxidación moderada del acero acompañada de expansión del óxido, con formación de fisuras longitudinales superficiales y anchos estimados de 0.10 - 0.40 mm. Finalmente en el nivel severo, alcanzaron valores entre 20 - 34%, con fisuras longitudinales abiertas y anchos de fisura entre 0.80 mm y 1.00 mm. La comparación de los resultados evidencia una progresión de diferencias cuantificadas, en el nivel bajo, las reducciones de área son prácticamente equivalentes, con una diferencia 0.5% y anchos menores a 0.10 mm en ambos estudios, en el nivel moderado la diferencia de pérdida de área es de 1.0% y mantiene anchos de 0.10 - 0.40 mm dentro del mismo rango. Sin embargo, en el nivel severo se presenta la divergencia clave, mientras la pérdida de área de este estudio es de 22.87% se encuentra dentro del rango severo del antecedente 20 - 34%, el ancho de fisura observado en este estudio, de 0.85 mm a 1.2 mm, fue notablemente superior al del antecedente de 0.80 mm a 1.00 mm.. La variación observada, especialmente en el nivel severo, sugiere que la diferencia principal reside en las propiedades mecánicas del concreto. El hallazgo clave es que, aunque la pérdida de área de este estudio es menor que el máximo del antecedente, el ancho de fisura resultante fue superior. Esto significa que el concreto circundante en este estudio fue menos resistente a la presión expansiva de los óxidos, lo que provocó que se fisurara más (una apertura de fisura superior) con una cantidad de corrosión comparable o incluso menor. Según Angst (2022), señala que la reducción del área y fisuramiento del recubrimiento se producen cuando la presión de los óxidos supera la

resistencia a tracción de la matriz de concreto. La clave de la variación reside en que el umbral y la profundidad observable del daño no son constantes universales. Dependen directamente de la relación recubrimiento a diámetro de barra, la porosidad y la rigidez del concreto, la tasa de corrosión y el ambiente de exposición.

Según el objetivo específico “evaluar la resistencia a flexión en vigas de concreto armado debido a los efectos de corrosión”, los resultados muestran una disminución progresiva momento resistente de diseño ϕM_n conforme aumenta el nivel de corrosión. En el estado normal sin corrosión, la capacidad fue de 5.30 tn.m cumpliendo la demanda del Mu. Sin embargo, en el nivel bajo la capacidad descendió a 4.52 tn.m, con una reducción del 14.69%, confirmando que la sección deja de satisfacer la demanda Mu desde este nivel. El deterioro continuó en el nivel moderado con 4.21 tn.m con una reducción del 20.71% y culminó en el nivel severo con 3.38 tn.m con reducción del 36.35%. Este comportamiento confirma que, aunque el elemento normado inicia con un margen de seguridad, la corrosión impone un deterioro que compromete la seguridad estructural tempranamente. Al comparar los resultados con los obtenidos por Ahmad et al (2022) en su artículo “An Experimental Approach to Evaluate the Effect of Reinforcement Corrosion on Flexural Performance of RC Beams”, se evidenció una disminución progresiva de resistencia a flexión conforme aumenta el nivel de corrosión, que variaron entre 17.30% en el nivel bajo, 23.51% en el nivel moderado y 26.55% en el nivel severo. Estos porcentajes evidencian un deterioro acumulativo del comportamiento flexional con pérdidas acumulativas que se incrementan. La comparación entre los resultados evidencia una disminución progresiva de la resistencia a flexión alcanzando porcentajes máximos de 2.61% en el nivel bajo, 2.80% para el nivel moderado y 9.80% en el nivel severo. Esta divergencia de resultados es atribuible a una diferencia fundamental en la aproximación metodológica: en el presente estudio, el cálculo analítico se basa en el modelo de diseño, limitándose a considerar la pérdida de área de acero (A_s) y la reducción del esfuerzo de fluencia (F_y) promedio del refuerzo, mientras que el estudio de Ahmad et al (2022), basado en un ensayo experimental a carga última, captura la totalidad del daño acoplado. La comparación revela una tendencia mixta y un hallazgo clave, en los niveles bajo y moderado, el modelo experimental de Ahmad reporta una pérdida mayor que el presente cálculo analítico, lo cual se explica porque el ensayo experimental captura mecanismos de falla temprana como la pérdida de adherencia que el modelo analítico no considera. Sin embargo, en el nivel severo, la tendencia se invierte drásticamente, el modelo analítico de este estudio predice una pérdida de capacidad significativamente mayor que la reportada en el experimento. Este hallazgo es crucial, pues

sugiere que el modelo analítico, al basarse en una pérdida promedio de sección y fluencia, puede ser excesivamente conservador en etapas de corrosión muy avanzadas, sobrestimando la pérdida de capacidad en comparación con la falla real, donde la viga aún puede poseer capacidad residual. Singh et al. (2024) señalan que la disminución de la resistencia a flexión debido a la corrosión obedece a la acción conjunta de dos mecanismos dominantes: la pérdida de adherencia y la reducción geométrica del refuerzo. La corrosión genera presión radial por la expansión de los óxidos, lo que provoca la microfisuración del recubrimiento y abre fisuras longitudinales, reduciendo el anclaje y la eficiencia en la transferencia de esfuerzos. Simultáneamente, se produce una reducción geométrica del refuerzo que disminuye el área de acero efectiva (A_s) contrayendo la fuerza de tracción máxima y acortando el brazo interno de la pareja de fuerzas resistente. En consecuencia, el momento resistente (ϕM_n), siendo proporcional a A_s , el esfuerzo de fluencia (F_y) y el brazo interno, decrece de forma acumulativa e intensificada una vez superado el umbral de fisuración del recubrimiento, debido a la interdependencia de estos fenómenos degradatorios.

Según el objetivo específico “evaluar la resistencia a corte en vigas de concreto armado debido a los efectos de corrosión”, los resultados confirman que, si bien la corrosión afecta la capacidad resistente ϕV_n , no se convirtió en el factor limitante para la seguridad, la principal consecuencia fue la pérdida progresiva y sostenida de la reserva estructural frente a la demanda. Los resultados obtenidos validan esta tendencia al cuantificar la contracción de la reserva estructural. Partiendo de una capacidad inicial en estado normal de 19.41 tn, lo cual descendió a 18.52 tn en el nivel bajo con reducción del 4.58%, continuó hasta 17.28 tn en el nivel moderado con reducción del 10.95%, y culminó en 15.23 tn en el nivel severo alcanzando una pérdida máxima del 21.51%. Aunque el cumplimiento de ϕV_n se verificó en todos los casos, la consecuencia directa es la contracción dramática de la reserva de corte, que pasó de un amplio margen de 19.41 tn en el estado normal a solo 15.23tn en el nivel severo, confirmando una pérdida sostenida de la resistencia a corte a medida que avanza la corrosión. Al comparar los resultados con los obtenidos por Huang et al (2024) en el artículo “Steel corrosion induced shear performance deterioration of RC beams: Experimental investigation and numerical simulation”, se evidenció una disminución progresiva de la resistencia a corte conforme aumenta la corrosión. En el nivel bajo el impacto presentó una disminución del 4.41%; en el nivel moderado se reportó una disminución del 23.14%. Los autores atribuyen el deterioro al debilitamiento de la interacción concreto estribo, la microfisuración por expansión de óxidos y la consiguiente menor contribución del refuerzo transversal al mecanismo resistente, lo que

conduce a una pérdida acumulativa no proporcional. La comparación de estos porcentajes de pérdida revela una tendencia mixta y un hallazgo crítico sobre la naturaleza de la falla a cortante. En el nivel bajo, el presente modelo analítico es de 4.58% siendo ligeramente más conservador que el experimental de 4.41%, lo que sugiere que el cálculo analítico, al penalizar la pérdida de A_v , sobrestima el daño inicial mientras la viga real aún conserva intactos sus mecanismos de cortante. Sin embargo, en el nivel moderado, la tendencia se invierte drásticamente, la pérdida experimental de Huang es de 23.14% más del doble que la predicha por el modelo analítico 10.95%. Esta divergencia es la clave, pues el modelo analítico de este estudio, basado solo en A_v y f_y , no puede capturar el colapso súbito del mecanismo de cortante que sí ocurre en la viga real. Finalmente, Huang et al (2024) no evaluaron el nivel severo porque la viga alcanzó una fase de vida útil crítica. Xiat et al (2011) menciona que la corrosión en estribos y en la zona de alma reduce la capacidad a corte por mecanismos acoplados: pérdida de contribución del refuerzo transversal (seccionamiento y anclaje) y disminución del aporte del concreto, alterando el mecanismo puntal tirante.

Según el objetivo específico “determinar la resistencia a tracción del acero luego de haber sido expuesto a la corrosión”, los resultados muestran una disminución progresiva de las propiedades mecánicas del acero de refuerzo. Esta degradación afecta directamente tanto el esfuerzo de fluencia (f_y) como el esfuerzo último (f_u). La cuantificación de los resultados evidencia en el nivel bajo reducciones que oscilaron entre un 2.81 – 4.36%, la pérdida se intensificó significativamente en el nivel moderado donde las reducciones oscilaron entre 6.38 – 10.22%, el nivel severo presentó una disminución de 12.29 – 15.59%. Al comparar los resultados con los de Liu et al (2023) en su artículo “Degradation of Steel Rebar Tensile Properties Affected by Longitudinal Non-Uniform Corrosion”, también se obtuvo una disminución creciente de la resistencia a tracción conforme aumenta el nivel de corrosión. En el nivel bajo, se reporta una reducción de 10.79 – 13.59 %, en el nivel moderado las disminuciones alcanzan entre el 14.43 – 17.70 %, en el nivel severo se reportan reducciones de 26.30 – 29.52%. En conjunto, la evidencia respalda un deterioro acumulativo de resistencia y deformación conforme progresa la corrosión. La comparación entre los resultados evidencia una divergencia significativa, siendo la pérdida reportada por el antecedente 9.23% mayor en el nivel bajo, 7.48% mayor en el nivel moderado y 13.93% mayor en el nivel severo. La variación porcentual en la reducción es explicada por la diferencia en el daño de corrosión, en el presente estudio se presenta una corrosión uniforme, la pérdida de resistencia es más moderada ya que es linealmente proporcional a la reducción de la sección transversal; sin

embargo, en Liu et al (2023) la corrosión que se presenta es predominantemente localizada (picaduras). Aquí, la disminución se intensifica drásticamente porque las picaduras actúan como concentradores de tensión en el punto más débil de la barra, forzando la falla prematuramente y resultando en una reducción de la resistencia efectiva mucho más severa de lo que indicaría una simple pérdida de masa. Esto hace que el impacto de la corrosión localizada sea varias veces mayor que el impacto de la corrosión uniforme. Fernández et al (2015), explican que la caída de la resistencia a tracción responde a dos mecanismos acoplados: reducción de la sección neta y concentración de tensiones en picaduras que actúan como muescas, facilitando la iniciación y propagación de fisuras bajo carga axial; la rugosidad y el daño superficial alrededor de las corrugas generan microgrietas, degradan la capacidad de deformación y adelantan la localización plástica, por lo que la respuesta se vuelve más sensible al incremento del daño.

Conclusiones

- Se determinó que la influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo compromete la capacidad estructural de manera progresiva y cuantificable. Los resultados experimentales demostraron esta tendencia: para un nivel de corrosión bajo, con una pérdida de masa de 4.73%, la capacidad estructural se redujo en 14.69%; para un nivel moderado, con una pérdida de masa de 11.89%, la reducción fue de 20.71%; y para un nivel severo, con una pérdida de masa de 24.78%, la reducción alcanzó un 36.35%. El hallazgo principal del estudio es la cuantificación de esta tendencia mediante el modelo de regresión lineal $y = 1.3875x + 0.0394$, el cual establece una tasa de deterioro de aproximadamente 1.39% de pérdida de capacidad estructural por cada 1% de incremento en la pérdida de masa del acero.
- Se determinó que la progresión de la corrosión tiene como consecuencia directa la reducción del diámetro del acero de refuerzo. Tras el análisis, se cuantificaron las pérdidas de diámetro en rangos de 1.68 - 2.67% para el nivel bajo, de 4.42 - 6.34% para el nivel moderado, y de 9.68 - 13.53% para el nivel severo. Estos resultados demuestran que la pérdida geométrica del refuerzo se acelera significativamente, ya que el incremento en la reducción del diámetro es notablemente más pronunciado al avanzar del nivel moderado al severo, confirmando así la naturaleza agresiva y el deterioro físico sobre el material.
- Se determinó que la pérdida de sección de concreto armado es un fenómeno complejo que se vincula al fisuramiento y agrietamiento del recubrimiento, y simultáneamente a la pérdida de área de acero. En el nivel bajo se presentó una reducción del área de 4.50% con fisuras finas de un ancho menor a 0.10mm y oxidación incipiente sin daño visible, en el nivel moderado, se evidenció una reducción de 11.00% de área efectiva, con un ancho de fisura entre 0.3 – 0.4mm donde se observa una oxidación moderada. Finalmente, en el nivel severo se registró una disminución del 22.87% del área con un ancho de fisura de 0.85 – 1.20 mm. Este patrón progresivo confirma que el avance del agrietamiento y la pérdida de área del acero comprometen directamente el confinamiento del acero y la transmisión de esfuerzos.
- Se evaluó que la resistencia de diseño ϕM_n disminuye significativamente conforme aumenta el nivel de corrosión. En estado normal presenta 5.30 tn.m el cual satisface la demanda de momento de M_u de 4.76 tn.m. Sin embargo, en el nivel bajo la capacidad desciende a 4.52 tn.m lo que representa una reducción de 14.69% el cual no cumple con

la demanda, en el nivel moderado se obtiene 4.21 tn.m equivalente a una reducción de 20.71% y se mantiene en el incumplimiento. Finalmente, en el nivel severo la capacidad se reduce a 3.38 tn.m, con una disminución de 36.35% y el mayor déficit. Este comportamiento confirma una disminución de la resistencia a flexión, por lo cual la corrosión induce el incumplimiento del estado limite ultimo de flexión incluso en etapas tempranas de daño.

- Se evaluó que la resistencia al corte decrece consistentemente conforme aumenta el nivel de corrosión, aunque conserva el cumplimiento frente a la demanda. En el nivel bajo, la capacidad baja a 18.52 tn, lo que implica una reducción de 4.58%; el nivel moderado se obtiene 17.28 tn, equivalente a una reducción de 10.95%; y el nivel severo la capacidad alcanza 15.23 tn, con una reducción de 21.51 %. Aunque el cumplimiento se mantiene en todos los niveles, la reserva de capacidad se contrae sostenidamente evidenciando una pérdida a cortante que, si bien no gobierna frente a la demanda, reduce el margen de seguridad conforme avanza el deterioro.
- Se determinó que la corrosión reduce progresivamente la resistencia a tracción del acero tanto en el límite elástico f_y como en la resistencia última f_u . Para el nivel bajo la reducción oscilo entre 2.81 – 4.36%, en el nivel moderado entre 6.38 – 10.22% y en el nivel severo se registró una reducción entre 12.29 – 15.59%. Estas pérdidas progresivas resultan estructuralmente significativas desde el nivel moderado, mientras que en el nivel severo llegan a ser más del triple de las observadas en el nivel bajo, contribuyendo de forma directa a la caída de la capacidad estructural.

Recomendaciones

- Se recomienda cumplir y verificar rigurosamente el recubrimiento mínimo establecido por la normativa E.060 según la clase de exposición y el tipo de elemento, asegurando en obra la ubicación precisa del refuerzo con separadores adecuados y control dimensional. El incumplimiento del recubrimiento compromete la durabilidad y acelera la iniciación de la corrosión.
- Se recomienda que el concreto cumpla con una resistencia mínima de 210 kg/cm² para viviendas. La calidad debe garantizarse mediante dosificación validada en laboratorio, control riguroso en obra del asentamiento por cada lote, elaboración de probetas para edades especificadas en norma, y aceptación solo si los resultados cumplen la resistencia indicada. Esta calidad es esencial para crear una barrera densa contra la penetración de agentes corrosivos.
- Se recomienda proteger de inmediato cualquier acero de refuerzo expuesto para cortar el inicio y la propagación temprana de la corrosión. Esto incluye limpieza mecánica hasta metal sano, pasivado del acero, aplicación de imprimante rico en zinc o recubrimiento epóxico y reposición del recubrimiento con morteros de alta calidad. Simultáneamente, debe sellarse toda fisura cercana para evitar el ingreso de humedad y cloruros.
- Se recomienda implementar un monitoreo y mantenimiento preventivo, con inspecciones visuales, medición anchos de fisura y detección de humedad u oxidación, complementado con evaluaciones no destructivas básicas (potenciales y resistividad) una vez al año. Ante fisuras iguales o mayores a 0.30mm o indicios de corrosión, se debe activar la intervención temprana inmediata (sellado, pasivado y reposición), pues este umbral marca el inicio del deterioro acelerado.
- Se recomienda gestionar el ciclo de vida de la estructura integrando un plan anual de mantenimiento que priorice las intervenciones en elementos críticos a flexión. Esta priorización es fundamental, dado que el presente estudio demostró que la corrosión provoca el incumplimiento del estado límite último de flexión incluso en etapas tempranas de daño. El monitoreo debe basarse en la pérdida de capacidad progresiva cuantificada, lo cual permite optimizar los costos de reparación antes de alcanzar estados severos, donde la pérdida es máxima.

Referencias

- [1] M. I. Alas Rojas, «INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO», Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2019.
- [2] Adam M. Neville, *Tecnología del Concreto*. 2013.
- [3] R. Hernandez, «Protección contra la corrosión del acero de refuerzo en concreto una solución a nuestro alcance», 25 de enero de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/proteccion-contra-la-corrosion-del-acero-de-refuerzo-roberto-a->
- [4] I. NACE, «CORROSION COSTS AND PREVENTIVE STRATEGIES IN THE UNITED STATES».
- [5] L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedersen, y R. Polder, *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. 2003. doi: 10.1002/3527603379.
- [6] European Environment agency, «Los riesgos climáticos están aumentando en toda Europa en frecuencia y gravedad». [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/los-riesgos-climaticos-estan-aumentando>
- [7] D. S *et al.*, «Impact of climate change on the corrosion of the European reinforced concrete building stock», n.º KJ-NA-31-900-EN-N (online), 2024, doi: 10.2760/016004%20(online).
- [8] M. Kashani y A. Crewe, «Structural capacity assessment of corroded RC bridge piers. Proceedings of the ICE - Bridge Engineering». 2016.
- [9] P. D. Carvalho Souza, P. L. Fonseca Menezes, V. de F. Cunha Lins, y V. R. Capelossi, «Evaluation of the use of species of Brazilian flora to inhibit corrosion of carbon steel in acidic medium: a review». 2023.
- [10] Fibergrate Composite Structures, «La corrosión está drenando silenciosamente la economía», 5 de octubre de 2020.
- [11] SENCICO, «Estudio de corrosión atmosférica en el territorio peruano – Lima Metropolitana». 31 de marzo de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2787233/Informe%20de%20Colocaci%C>

3%B3n%20de%20nuevas%20probetas%20de%20planchas%20met%C3%A1licas.pdf?v=1648762748

- [12] INDECI, «Compendio Estadístico del INDECI 2019 en la Preparación, Respuesta y Rehabilitación de la GRD / Perú». 2019. [En línea]. Disponible en: https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/COMPENDIO-FINALBAJA.pdf?utm_source
- [13] J. Liu, X. Luo, y Q. Chen, «Degradation of Steel Rebar Tensile Properties Affected by Longitudinal Non-Uniform Corrosion». 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma16072917>
- [14] X. Hui Yu, A. Yang, K. Yu Dai, W. H. Zhang, y D. G. Lu, «Experimental investigation on flexural performance of corroded RC beams with high-strength concrete and steel bars». 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04079>
- [15] N. F. Ortega y S. I. Robles, «Assessment of Residual Life of concrete structures affected by reinforcement corrosion», *HBRC J.*, vol. 12, n.º 2, pp. 114-122, ago. 2016, doi: 10.1016/j.hbrcj.2014.11.003.
- [16] O. Bidari, B. Kumar Singh, y R. Maheshwari, «Effect of corrosion on bond between reinforcement and concrete-an experimental study». 3 de septiembre de 2024.
- [17] W. Li *et al.*, «Steel corrosion induced shear performance deterioration of RC beams: Experimental investigation and numerical simulation». julio de 2024.
- [18] S. Ahmad, M. A. Al-Huri, M. A. Al-Osta, M. Maslehuddin, y A. H. Al-Gadhib, «An Experimental Approach to Evaluate the Effect of Reinforcement Corrosion on Flexural Performance of RC Beams».
- [19] C. G. M. Antonio y L. H. J. Luis, «Resistencia y capacidad de adherencia con el concreto del acero de refuerzo sometido a agentes corrosivos».
- [20] M. Cerna Vazques y W. Galicia Guarniz, «Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material», 2010.
- [21] J. F. Marchena Córdova, «Estructuras de concreto y corrosión del acero corrugado en la I.E. Niño Jesús de Praga distrito de SMP 2017», Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2017.
- [22] M. S. Shetty, *Concrete Technology: Theory and Practice*. S. Chand Publishing.

- [23] INACAL, «NTP 339.183: CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio».
- [24] INACAL, «NTP 400.012: AGREGADOS. Método de ensayo análisis granulométrico del agregado fino y grueso.» 2021.
- [25] ASTM International, «Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates». 2019.
- [26] ASTM International, «Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size». 2024.
- [27] INACAL, «NTP 339.185: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado». 2021.
- [28] ASTM International, «ASTM C566: Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying». 2019.
- [29] INACAL, «NTP 400.021: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.», 2020.
- [30] INACAL, «NTP 400.021: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso». 2020.
- [31] ASTM International, «ASTM C127: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate». 2024.
- [32] INACAL, «NTP 400.022: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino». 2024.
- [33] ASTM International, «ASTM C128: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate». 2023.
- [34] INACAL, «NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.» 2020.
- [35] ASTM International, «ASTM C29/C29M: Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate». 2023.

- [36] INACAL, «NTP 339.035: CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto del cemento Portland». 2020.
- [37] ASTM International, «ASTM C143/C143M: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete». 2015.
- [38] INACAL, «NTP 339.046: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).» 2019.
- [39] ASTM International, «ASTM C138/C138M: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete». 2023.
- [40] INACAL, «NTP 339.184: CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo». 2021.
- [41] ASTM International, «ASTM C1064/C1064M: Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete». 2023.
- [42] INACAL, «NTP 339.034: CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo.» 2021.
- [43] ASTM International, «ASTM C39/C39M: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens». 2023.
- [44] INACAL, «NTP 339.078: CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos. Método de ensayo». 2022.
- [45] ASTM International, «ASTM C78/C78M: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)». 2023.
- [46] ASTM International, «ASTM C496/C496M: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens». 2017.
- [47] J. E. Salas Sepúlveda, «Comportamiento del hormigón con inhibido de corrosión en el amasado», UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 2003.
- [48] S. Mindess, J. F. Young, y D. Darwin, «Desempeño mecánico y durable de concretos que incorporan agregado reciclado fino comercial».

- [49] ACI Committee, «Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)». Enero 2015.
- [50] E. A. M. Hernández, «Corrosión en estructuras de concreto reforzado con acero».
- [51] ASTM International, «ASTM A615/A615M: Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement».
- [52] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Jr., John T. DeWolf, y David F. Mazurek, «Mecánica de Materiales».
- [53] GRUPO AZERO, «MANUAL DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCION CON ACERO».
- [54] Rivera Berrio, «Resistencia de materiales Libro interactivo para ingenieros».
- [55] L. ÁLVAREZ LEÓN, M. GÓMEZ GUTIÉRREZ, y O. MORALES DÁVILA, «Apuntes Mecánicas de los Materiales».
- [56] G. K. Glass y N. R. Buenfeld, «Chloride-induced corrosion of steel in concrete», *Prog. Struct. Eng. Mater.*, vol. 2, n.º 4, pp. 448-458, oct. 2000, doi: 10.1002/pse.54.
- [57] A. Poursaei, «Corrosion of steel in concrete structures», en *Corrosion of Steel in Concrete Structures*, Elsevier, 2016, pp. 19-33. doi: 10.1016/B978-1-78242-381-2.00002-X.
- [58] W. S. Tait, «Controlling Corrosion of Chemical Processing Equipment», en *Handbook of Environmental Degradation of Materials*, Elsevier, 2018, pp. 583-600. doi: 10.1016/B978-0-323-52472-8.00028-9.
- [59] J. Broomfield, *Corrosion of steel in concrete*. 1997.
- [60] O. Rincon, A. Carruyo, C. Andrade, P. Helene, y I. Diaz, «Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado». 2002. [En línea]. Disponible en: <https://www.phd.eng.br/manual-de-inspeccion-evaluacion-y-diagnostico-de-corrosion-en-estructuras-de-hormigon-armado/>
- [61] C. Andrade y C. Alonso, «Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site», *Constr. Build. Mater.*, vol. 10, n.º 5, pp. 315-328, 1996, doi: [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00044-5](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00044-5).

- [62] ISO 9223, «Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation».
- [63] ACI Committee, «Protection of Metals in Concrete Against Corrosion».
- [64] ASTM International, «ASTM G1-03: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens». 4 de abril de 2012. [En línea]. Disponible en: <https://store.astm.org/g0001-03.html>
- [65] ASTM International, «ASTM G59-97:Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements». 2020. [En línea]. Disponible en: <https://store.astm.org/g0059-97r20.html>
- [66] ASTM International, «ASTM C876: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete». 2022. [En línea]. Disponible en: <https://store.astm.org/c0876-22b.html>
- [67] J. McCormac y R. Brown, *Design of reinforced concrete*. 2008.
- [68] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.060 CONCRETO ARMADO».
- [69] American Concrete Institute (ACI), «Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)».
- [70] INACAL, *NTP 341.031: PRODUCTOS DE ACERO. Barras de acero al carbono corrugadas, para refuerzo de concreto armado. Requisitos*. 2018.
- [71] AENOR, *ASTM A615/A615M - Especificación Normalizada para Barras de Acero al Carbono Lisas y Corrugadas para Refuerzo de Concreto*. 2018.
- [72] ISO 9224, «Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Guiding values for the corrosivity categories».
- [73] ISO 9226, «Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity».
- [74] S. Hong *et al.*, «Determination of impressed current efficiency during accelerated corrosion of reinforcement», *Cem. Concr. Compos.*, vol. 108, p. 103536, abr. 2020, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103536.

- [75] INACAL, «NTP 350.405: PRODUCTOS DE ACERO. Métodos de ensayo normalizados y definiciones para ensayos mecánicos.» 2015.
- [76] ASTM International, «ASTM A370: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products». 2024.
- [77] M. Borja, *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, 2016.
- [78] R. Hernández Sampieri y C. F. Fernandez-Collado, *Metodología de la investigación*, Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.
- [79] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), «Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas». 2018.
- [80] American Concrete Institute (ACI), «ACI 222R-19: Guide to Protection of Reinforcing Steel in Concrete against Corrosion». 2019.
- [81] American Concrete Institute (ACI), «ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete». 2022.

ANEXOS

Anexo N° 1: Validación ensayos de laboratorio.



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

- LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS
- CONCRETO Y ASFALTO

INFORME N° LEM USAT 002-2025-II

FECHA: 20 de Octubre 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Carlos Naun Santa Cruz Bazan

TITULO DE LA TESIS: Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Análisis granulométrico agregado fino y grueso.
- Peso unitario agregado fino y grueso.
- Contenido de humedad agregado fino y grueso.
- Peso específico y absorción del agregado fino y grueso.
- Peso unitario del agregado fino y grueso.
- Diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Ensayo de concreto en estado fresco: asentamiento, temperatura y peso unitario.
- Ensayo resistencia a la compresión, flexión y tracción.
- Ensayo ferrosacan
- Ensayo de tracción acero
- Ensayo corazones diamantinos

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Laboratorio de Ensayo de Materiales, Suelos y Pavimentos

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil

Anexo N° 2: Granulometría de Agregado Fino.



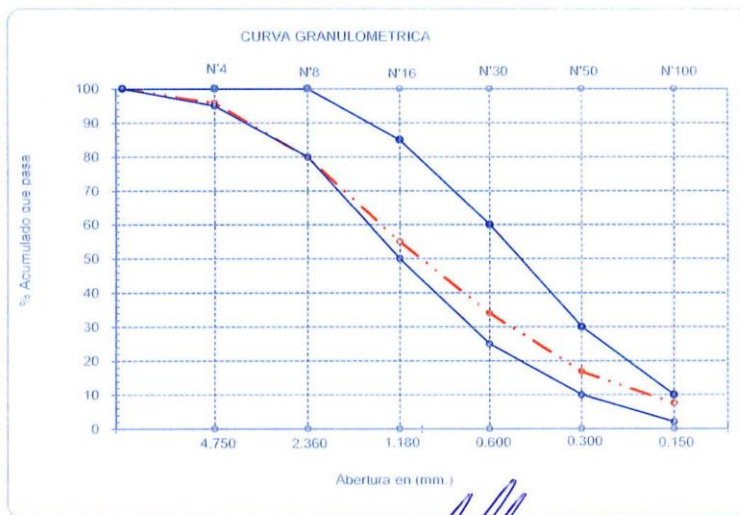
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Arena - Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial H.** 500.0 **% de Humedad** = 1.01
P. Inicial S. 495.0

Malla	Peso	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg. (mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.700	0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	20.8	4.2	95.8	95	100
N° 08	2.360	79	16.0	79.8	80	100
N° 16	1.180	123.3	24.9	54.9	50	85
N° 30	0.600	103.7	20.9	34.0	25	60
N° 50	0.300	85.1	17.2	16.8	10	30
N° 100	0.150	45.9	9.3	7.5	2	10
Fondo		37.2	7.5	100.0	0.0	
Módulo de Fineza			3.112			
Abertura de malla de referencia			0.600			



Henry Rivadeneyra Obllitas
 Tec. Laboratorio USAT

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 3: Granulometría de Agregado Grueso.



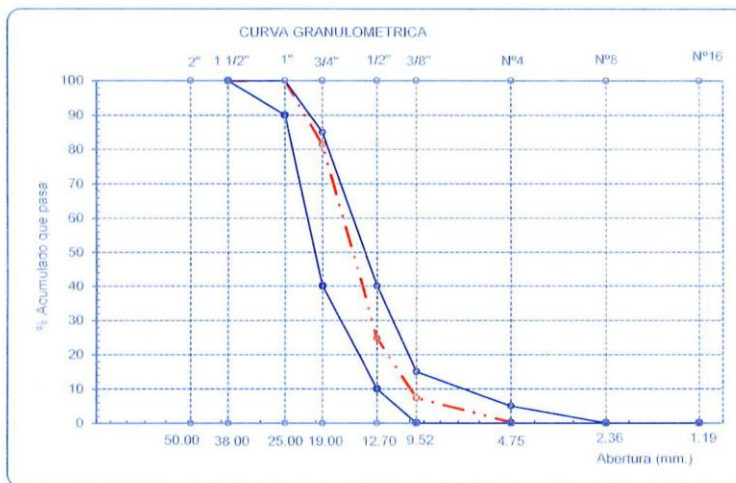
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Piedra chancada -Tres Tomas-Ferreñafe. **P. Inicial H.** 2000 **% de Humedad =** 0.00
P. Inicial S. 2000

Malla	Peso	Ret.	Ret.	Ret.	Ret.	Especificaciones	
						Que Pasa	USO 56
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	372.8	18.6	18.6	81.4	40.0	85.0
1/2"	12.70	1132.9	56.6	75.3	24.7	10.0	40.0
3/8"	9.52	347.1	17.4	92.6	7.4	0.0	15.0
Nº 04	4.75	142.4	7.1	99.8	0.2	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.5	0.0	99.8	0.2	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	99.8	0.2	0.0	0.0
Fondo		4.3	0.2	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	25.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	19.00			



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



Anexo N° 4: Peso unitario suelto y compactado agregado fino.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025

Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Canetra : Arena - Cantera La Victoria-Pátapo.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8480	8482
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8480	8482
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1547	1548
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1532	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9638	9650
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9638	9650
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1759	1761
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1742	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500	500
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	495	495
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.0	1.0
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.01	

Henry Rivadeneira Oblitas
Téc. Laboratorio USAT



Anexo N° 5: Peso unitario seco suelto y compactado agregado grueso.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Piedra chancada -Tres Tomas-Ferreñafe.

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7939	7915
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7939	7915
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1449	1444
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1441	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9066	9050
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9066.0	9050.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1654	1651
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1646	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1000	1000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	996.1	996.1
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.39	


Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT




Anexo N° 6: Peso específico y absorción agregado fino y grueso.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Arena - Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del	(g)	948.7	948.7
2.- Pesr Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	643.2	643.2
3.- Peso del Agua	(g)	305.5	305.5
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	638.9	638.9
5.- Peso del Frasco	(g)	143.2	143.2
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	496	496
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.549
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.571
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.606
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.87

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Piedra chancada -Tres Tomas-Ferreñafe.

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	2076	2076
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	2089	2089
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2224	2224
4.- Peso de la canastilla	(g)	900	900
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1324	1324

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.713
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.731
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.762
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.65

Henry Rivadeneira Obilitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 7: Contenido de humedad agregado fino y grueso.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Arena - Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500	500
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	495	495
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.01	1.01
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.01	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Piedra chancada -Tres Tomas-Ferreñafe.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1000	1000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	996.1	996.1
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.39	


Henry Obdinas
T.C. Laboratorio
USAT
Universidad Santo Toribio de Mogrovejo


USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
TECNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 8: Diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLA

Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
 Ensayo : DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (Sin aire incorporado)
 Referencia : RECOMENDACIÓN ACI 211

Resistencia del Diseño : $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

I.) DATOS DEL AGREGADOS:

GRUESO : Piedra chancada -Tres Tomas-Ferreñafe. FINO : Arena - Cantera La Victoria-Pátapo.

01.- Tamaño máximo nominal	3/4"	-----	pulg.
02.- Peso Unitario suelto seco	1441	1532	kg/cm ³
03.- Peso Unitario compactado seco	1646	-----	kg/cm ³
04.- Peso específico de masa seco	2713	2549	kg/cm ³
05.- Contenido de humedad	0.39	1.01	%
06.- Contenido de absorción	0.65	0.87	%
11.- Módulo de finiza (adimensional)	-----	3.112	

II.) DATOS DE LA MEZCLA Y OTROS

12.- Resistencia especificada a los 28 días	f'_{cr}	294	kg/cm ²
13.- Contenido de aire atrapado		2	%
14.- Relación agua cemento	$R_{a/c}$	0.558	
15.- Asentamiento		3	Pulg.
16.- Volumen unitario del agua		205	L/m ³
17.- Volumen del agregado grueso		0.589	m ³
18.- Peso específico del cemento		3000	kg/cm ³
19.- Aditivo		0.0	%
20.- Densidad aparente del aditivo		1.000	kg/cm ³

III.) Calculo de volúmenes absolutos, corrección por humedad y aporte de agua

a) Cemento	367	Kg/m ³	0.122	m ³		
b) Agua	205	Lt/m ³	0.205	m ³	Corrección por humedad	
c) Aire	2	%	0.020	m ³		Agua Efectiva
d) Arena	753	Kg/m ³	0.295	m ³	760	1.1
e) Grava	970	Lt/m ³	0.357	m ³	973	-2.5
	2296		1.000	m ³		-1.4

IV.) Resultado final de diseño (húmedo)

a) Cemento	367	Kg/m ³	3.028	kg	$F_{f'_{cr}/f'_{cr}}$	8.6	Bolsas
b) Agua	206	Lt/m ³	1.702	Lt	$R_{a/c}$	0.558	Diseño
c) Arena	760	Kg/m ³	44	6.269	$R_{a/c}$	0.562	Obra
d) Grava	973	Kg/m ³	56	8.027	Aditivo	0.000	Kg/m ³
e) Aditivo	0.00	Lt/m ³	0.00	0.000			
	2307			19.026			

VI.) Dosificación en volumen [materiales con humedad natural]

Proporcion en peso :	1.00	2.07	2.65	23.9	0.000	Lts/Pic ³
Proporcion en volumen :	1.00	2.03	2.76	23.9	0.000	Lts/Pic ³

Henry Rivadeneyra Obittas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 9: Ensayos del concreto estado fresco: asentamiento, temperatura, contenido de aire y peso unitario.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025

Código : N.T.P. 339.035 / ASTM C143
Título : Ensayo de Asentamiento Slum

Muestra N°	Denominación ó descripción	Slum de Diseño	Slum de Ensayo
01	SLUM CONCRETO 210 kg/cm2	4	4

Código : N.T.P. 339.184 / ASTM C1064
Título : Ensayo de Temperatura Concreto fresco

Muestra N°	Denominación ó descripción	Temperatura Optenida C°
01	TEMPERATURA CONCRETO 210 kg/cm2	25,3 C°

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05
Título : Ensayo de contenido de Aire

Muestra N°	Denominación ó descripción	% de Aire Diseño	% de Aire Ensayo
01	CONTENIDO DE AIRE CONCRETO 210 kg/cm2	2	2

Código : N.T.P. 339.046 / ASTM C138
Título : Peso Unitario del Concreto Fresco

Muestra N°	Denominación ó descripción	Peso del Molde (kg)	Peso del Molde + Molde (kg)	Peso del Concreto (kg)	Volumen de Molde (m3)	PUC (kg/m3)
01	PESO UNITARIO CONCRETO 210 kg/cm2	0.432	12.901	12.469	0.00552	2258.87681

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



Anexo N° 10: Ensayo de resistencia a la compresión.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	15/05/2025	7	191.5
02	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	15/05/2025	7	186.9
03	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	15/05/2025	7	188.3
04	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	22/05/2025	14	257.4
05	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	22/05/2025	14	255.3
06	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	22/05/2025	14	248.6
07	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	05/06/2025	28	301.7
08	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	05/06/2025	28	296.8
09	CONCRETO 210 kg/cm ²	08/05/2025	05/06/2025	28	294.9

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry Ruedeneira Obitas
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 11: Ensayo resistencia a tracción y flexión.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 13 de Junio del 2025

Código : Norma ASTM C-78 ó N.T.P. 339.123

Título : Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	Modulo de Ruptura (kg/cm2)
01	VIGA CONCRETO 210 kg/cm2	13/05/2025	10/06/2025	28	27.92
02	VIGA CONCRETO 210 kg/cm2	13/05/2025	10/06/2025	28	30.83
03	VIGA CONCRETO 210 kg/cm2	13/05/2025	10/06/2025	28	30.63

Código : Norma ASTM C-496 ó N.T.P. 339.128

Título : Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	Resistencia a Traccion (Mpa)
01	PROBETA CILINDRICA 210 kg/cm2	14/05/2025	11/06/2025	28	2.42
02	PROBETA CILINDRICA 210 kg/cm2	14/05/2025	11/06/2025	28	2.49
03	PROBETA CILINDRICA 210 kg/cm2	14/05/2025	11/06/2025	28	2.46

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry
Rivadeneira
Obittas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo
TECNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 12: Datos procesados del escáner.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Eten Puerto, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 07 de Junio del

Código : Datos Procesados del Escaner

Título : Determinación de la Presencia de Aceros en las diferentes viviendas de Eten Puerto

N° De Escaneado	Fecha Escaneada	Elemento	Numero de Aceros Encontrados	Numero de Aceros Leídos en mm	Espesor de Acero		Distancia entre aceros aprox	Distancia recorrida	Diametro de acero aprox	Recubrimiento de Acero
					Mínimo	Máximo				
VI - 01	07/06/2025	Viga	3	2	15 mm	15 mm	0.2	0.4	1/2	40 mm
VI - 01	07/06/2025	Viga	24	18	9 mm	15 mm	0.1	3.5	3/8	40 mm
VI - 02	07/06/2025	Viga	3	2	16 mm	16 mm	0.2	0.18	1/2	40 mm
VI - 02	07/06/2025	Viga	23	4	10 mm	11 mm	0.1	3.5	3/8	40 mm
VI - 03	07/06/2025	Viga	3	2	12 mm	23 mm	0.1	0.2	5/8	40 mm
VI - 03	07/06/2025	Viga	25	8	24 mm	28 mm	0.2	4	3/8	40 mm

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry
 Rivas de Cyra
 Oblitas
 Dicc. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 13: Ensayo resistencia a compresión de corazones diamantinos.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 24 de Setiembre del 2025

Código : NTP 339.059:2017

Título : CONCRETO: Método para obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas seccionadas de concreto

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	f _c kg/cm ²
01	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 01- VIVIENDA 01	19/09/2025	24/09/2025	178.2
02	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 02- VIVIENDA 01	19/09/2025	24/09/2025	179.6
03	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 03 - VIVIENDA 01	19/09/2025	24/09/2025	177.4
04	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 01- VIVIENDA 02	19/09/2025	24/09/2025	161.9
05	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 02- VIVIENDA 02	19/09/2025	24/09/2025	167.4
06	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 03 - VIVIENDA 02	19/09/2025	24/09/2025	164.2
07	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 01- VIVIENDA 03	19/09/2025	24/09/2025	151.9
08	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 02- VIVIENDA 03	19/09/2025	24/09/2025	157.8
09	TESTIGO DIAMANTINA DE CONCRETO N° 03 - VIVIENDA 03	19/09/2025	24/09/2025	160.4

NOTAS :

- Muestras ensayadas en la condición de humedad Natural

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.

- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


Henry Rivadeneyra Obillas
Tec. Laboratorio USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 14: Ensayo resistencia a tracción acero.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten
Lugar : Dist. Eten Puerto, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 22 de Setiembre del 2025

Código : ASTM A370

Título : Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

Nivel de corrosión	Tipo de barra	Pu (kg)	Área (cm ²)	fy teórico (kg/cm ²)	fy medido (kg/cm ²)	Reducción fy (%)	fu teórico (kg/cm ²)	fu medido (kg/cm ²)	Reducción fu (%)
L1	5/8"	11371	1.88	4200	4030.26	4.04%	6300	6045.39	4.04%
	1/2"	7260	1.20	4200	4016.92	4.36%	6300	6025.38	4.36%
	3/8"	4195	0.69	4200	4081.85	2.81%	6300	6122.78	2.81%
L2	5/8"	9975	1.74	4200	3817.91	9.10%	6300	5726.87	9.10%
	1/2"	6300	1.11	4200	3770.56	10.22%	6300	5655.84	10.22%
	3/8"	3819	0.65	4200	3931.85	6.38%	6300	5897.77	6.38%
L3	5/8"	8015	1.48	4200	3599.51	14.30%	6300	5399.26	14.30%
	1/2"	5057	0.95	4200	3545.12	15.59%	6300	5317.67	15.59%
	3/8"	3195	0.58	4200	3683.96	12.29%	6300	5525.94	12.29%

- Muestreo realizados por el solicitante.

- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


Henry Ribadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Santa Cruz Bazan, Carlos Naun
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil
Tesis : Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten
Lugar : Dist. Eten Puerto, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 22 de Setiembre del 2025

Código : ASTM A370
Título : Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

Vivienda	Tipo de barra	Pu (kg)	Área (cm ²)	fy teórico (kg/cm ²)	fy medido (kg/cm ²)	Reducción fy (%)	fu teórico (kg/cm ²)	fu medido (kg/cm ²)	Reducción fu (%)
V - 01	5/8"	9721	1.73	4200	3744.71	10.84%	6300	5617.06	10.84%
	1/2"	5950	1.07	4200	3724.54	11.32%	6300	5586.81	11.32%
	3/8"	3303	0.59	4200	3746.38	10.80%	6300	5619.57	10.80%
V - 02	5/8"	8030	1.49	4200	3597.78	14.34%	6300	5396.67	14.34%
	1/2"	4694	0.88	4200	3571.60	14.96%	6300	5357.40	14.96%
	3/8"	2613	0.48	4200	3609.65	14.06%	6300	5414.47	14.06%
V - 03	5/8"	7208	1.39	4200	3457.76	17.67%	6300	5186.63	17.67%
	1/2"	4093	0.80	4200	3406.07	18.90%	6300	5109.11	18.90%
	3/8"	2259	0.44	4200	3397.93	19.10%	6300	5096.89	19.10%

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry
Rivadeneira
Obitos
Tec. Laboratorio
USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TECNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 15: Ficha evaluación estado de vivienda 01.



INFLUENCIA DEL NIVEL DE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS TÍPICAS DE ETEN PUERTO

FICHA DE EVALUACION DE VIVIENDAS

DATOS	PARÁMETRO	CRITERIOS DE EVALUACION					
FECHA: 07-Jun-25 UBICACIÓN: Calle Mariscal Sucre - 588 N° DE PISOS: 1 Piso TIPO DE OCUPACIÓN: Vivienda Unifamiliar ELEMENTO EVALUADO: VIGA	1	Documentación Técnica Disponibilidad de planos estructurales Supervisión técnica durante la ejecución Cumplimiento de criterios normativos según norma E.060	<table border="1"> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> </table>	NO	NO	NO	
	NO						
	NO						
	NO						
	2	Condición superficial del concreto Fisuras visibles en elementos estructurales Exposición del núcleo del concreto Presencia de desprendimiento Humedad en el concreto	<table border="1"> <tr><td align="center">S</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">S</td></tr> <tr><td align="center">S</td></tr> </table>	S	NO	S	S
	S						
	NO						
S							
S							
3	Diseño del concreto Conocimiento de la dosificación utilizada Elaboración del concreto bajo control técnico Resistencia del concreto empleada	<table border="1"> <tr><td align="center">DESCONOCIDA</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">178 kg/cm²</td></tr> </table>	DESCONOCIDA	NO	178 kg/cm ²		
DESCONOCIDA							
NO							
178 kg/cm ²							
4	Condición del acero Distribución del acero en el elemento Tipo de recubrimiento utilizado Cumple recubrimiento según norma Identificación del tipo de acero empleado	<table border="1"> <tr><td align="center">4 ø 5/8" - 2 ø 1/2"</td></tr> <tr><td align="center">3.0 cm</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">Corrugado grado 60</td></tr> </table>	4 ø 5/8" - 2 ø 1/2"	3.0 cm	NO	Corrugado grado 60	
4 ø 5/8" - 2 ø 1/2"							
3.0 cm							
NO							
Corrugado grado 60							
5	Presencia de Corrosión Corrosión por picadura Corrosión generaliza Corrosión superficial	<table border="1"> <tr><td align="center">S</td></tr> <tr><td align="center">S</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> </table>	S	S	NO		
S							
S							
NO							
6	Perdida de sección del acero Diámetro teórico del acero Cálculo de pérdida de diámetro respecto al valor teórico Porcentaje perdido de diámetro respecto al valor teórico	<table border="1"> <tr><td align="center">15.90 mm</td></tr> <tr><td align="center">14.84 mm</td></tr> <tr><td align="center">6.67%</td></tr> </table>	15.90 mm	14.84 mm	6.67%		
15.90 mm							
14.84 mm							
6.67%							
7	Condiciones de exposición Antigüedad de la edificación Distancia de exposición respecto al litoral marino	<table border="1"> <tr><td align="center">15 años</td></tr> <tr><td align="center">170 m</td></tr> </table>	15 años	170 m			
15 años							
170 m							

NOTA: La presente evaluación se realizó exclusivamente sobre las vigas estructurales de concreto armado. Los parámetros fueron analizados mediante inspección visual, escaneo estructural para determinar el recubrimiento del acero y cuantía empleada, mediciones con calibre Vernier, toma de muestras de aceros y registro fotográfico. La pérdida de sección fue determinada comparando el diámetro real del acero con su valor teórico conforme a especificaciones técnicas.

Anexo N° 16: Ficha evaluación estado de vivienda 02.


INFLUENCIA DEL NIVEL DE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS TÍPICAS DE ETEN PUERTO
FICHA DE EVALUACION DE VIVIENDAS

DATOS	PARÁMETRO		CRITERIOS DE EVALUACION	
FECHA: 07-Jun-25 UBICACIÓN: Calle San Martin - 545 N° DE PISOS: 1 Piso TIPO DE OCUPACIÓN: Vivienda Unifamiliar ELEMENTO EVALUADO: VIGA	1	Documentación Técnica	Disponibilidad de planos estructurales	NO
			Supervisión técnica durante la ejecución	NO
			Cumplimiento de criterios normativos según norma E.060	NO
	2	Condición superficial del concreto	Fisuras visibles en elementos estructurales	SI
			Exposición del núcleo del concreto	NO
			Presencia de desprendimiento	SI
	3	Diseño del concreto	Humedad en el concreto	SI
Conocimiento de la dosificación utilizada			DESCONOCIDA	
Elaboración del concreto bajo control técnico			NO	
4	Condición del acero	Resistencia del concreto empleada	165 kg/cm ²	
		Distribución del acero en el elemento	4 ø 5/8" - 2 ø 1/2"	
		Tipo de recubrimiento utilizado	3.0 cm	
5	Presencia de Corrosión	Verificación del recubrimiento según norma	NO	
		Identificación del tipo de acero empleado	Corrugado grado 60	
		Corrosión por picadura	SI	
6	Perdida de sección del acero	Corrosión generaliza	SI	
		Corrosión superficial	NO	
		Diámetro teórico del acero	15.90 mm	
7	Condiciones de exposición	Cálculo de pérdida de diámetro respecto al valor teórico	13.76 mm	
		Porcentaje perdido de diámetro respecto al valor teórico	13.46%	
		Antigüedad de la edificación	25 años	
			Distancia de exposición respecto al litoral marino	355 m

NOTA: La presente evaluación se realizó exclusivamente sobre las vigas estructurales de concreto armado. Los parámetros fueron analizados mediante inspección visual, escaneo estructural para determinar el recubrimiento del acero y cuantía empleada, mediciones con calibre Vernier, toma de muestras de aceros y registro fotográfico. La pérdida de sección fue determinada comparando el diámetro real del acero con su valor teórico conforme a especificaciones técnicas.

Anexo N° 17: Ficha evaluación estado de vivienda 03.



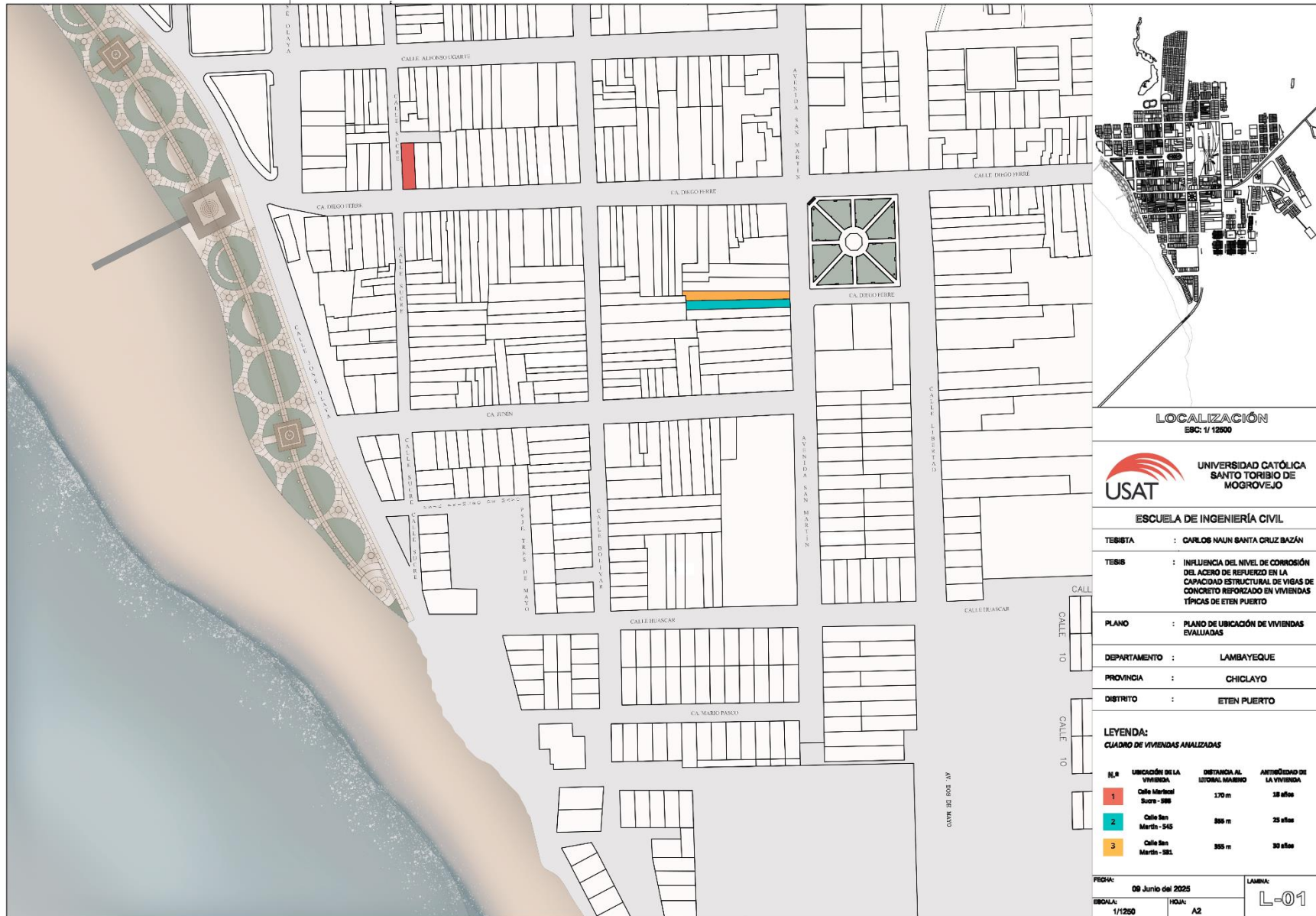
INFLUENCIA DEL NIVEL DE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO EN VIVIENDAS TÍPICAS DE ETEN PUEERTO

FICHA DE EVALUACION DE VIVIENDAS

DATOS	PARÁMETRO	CRITERIOS DE EVALUACION					
FECHA: 07-Jun-25	1	Documentación Técnica Disponibilidad de planos estructurales Supervisión técnica durante la ejecución Cumplimiento de criterios normativos según norma E.060	<table border="1"> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> </table>	NO	NO	NO	
NO							
NO							
NO							
UBICACIÓN: Calle San Martin - 531	2	Condición superficial del concreto Fisuras visibles en elementos estructurales Exposición del núcleo del concreto Presencia de desprendimiento Humedad en el concreto	<table border="1"> <tr><td align="center">SI</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">SI</td></tr> <tr><td align="center">SI</td></tr> </table>	SI	NO	SI	SI
SI							
NO							
SI							
SI							
N° DE PISOS: 1 Piso	3	Diseño del concreto Conocimiento de la dosificación utilizada Elaboración del concreto bajo control técnico Resistencia del concreto empleada	<table border="1"> <tr><td align="center">DESCONOCIDA</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">157 kg/cm²</td></tr> </table>	DESCONOCIDA	NO	157 kg/cm ²	
DESCONOCIDA							
NO							
157 kg/cm ²							
TIPO DE OCUPACIÓN: Vivienda Unifamiliar	4	Condición del acero Distribución del acero en el elemento Tipo de recubrimiento utilizado Cumple recubrimiento según norma Identificación del tipo de acero empleado	<table border="1"> <tr><td align="center">4 ø 5/8" - 2 ø 1/2"</td></tr> <tr><td align="center">3.0 cm</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> <tr><td align="center">Corrugado grado 60</td></tr> </table>	4 ø 5/8" - 2 ø 1/2"	3.0 cm	NO	Corrugado grado 60
4 ø 5/8" - 2 ø 1/2"							
3.0 cm							
NO							
Corrugado grado 60							
ELEMENTO EVALUADO: VIGA	5	Presencia de Corrosión Corrosión por picadura Corrosión generaliza Corrosión superficial	<table border="1"> <tr><td align="center">SI</td></tr> <tr><td align="center">SI</td></tr> <tr><td align="center">NO</td></tr> </table>	SI	SI	NO	
SI							
SI							
NO							
	6	Perdida de sección del acero Diámetro teórico del acero Cálculo de pérdida de diámetro respecto al valor teórico Porcentaje perdido de diámetro respecto al valor teórico	<table border="1"> <tr><td align="center">15.90 mm</td></tr> <tr><td align="center">13.30 mm</td></tr> <tr><td align="center">16.35%</td></tr> </table>	15.90 mm	13.30 mm	16.35%	
15.90 mm							
13.30 mm							
16.35%							
	7	Condiciones de exposición Antigüedad de la edificación Distancia de exposición respecto al litoral marino	<table border="1"> <tr><td align="center">30 años</td></tr> <tr><td align="center">355 m</td></tr> </table>	30 años	355 m		
30 años							
355 m							

NOTA: La presente evaluación se realizó exclusivamente sobre las vigas estructurales de concreto armado. Los parámetros fueron analizados mediante inspección visual, escaneo estructural para determinar el recubrimiento del acero y cuantía empleada, mediciones con calibre Vernier, toma de muestras de aceros y registro fotográfico. La pérdida de sección fue determinada comparando el diámetro real del acero con su valor teórico conforme a especificaciones técnicas.

Anexo N° 13: Plano de Ubicación de Viviendas.



Anexo N° 18: Conformidad de Asesor.

CONFORMIDAD DE ASESOR
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Chiclayo, 31 de Octubre del 2025.

Señores

López Carranza, Atilio Rubén
Castillo Velarde, Roberto Carlos
Escuela Profesional de Ingeniería Civil-USAT
Presente.

Le expreso mi saludo y en mi condición de asesor doy mi **CONFORMIDAD** a la tesis titulada: "**Influencia del nivel de corrosión del acero de refuerzo en la capacidad estructural de vigas de concreto reforzado en viviendas típicas de Eten Puerto**".

Presentado por el estudiante **Santa Cruz Bazán Carlos Naun** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil**, de esta manera se cumple con uno de los requisitos para su pase a sustentación del informe de tesis de acuerdo con el art.32 de reglamento de elaboración y sustentación del trabajo de investigación para optar el título profesional.

Atentamente.

Ing. Wilson Martin García Vera
Docente Asesor *CIP 36990*