

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
AXIAL DEL CONCRETO REPARADO CON SIKAREP-500”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. FARFÁN PÉREZ, Jhoan Deiby

ASESOR:

M.Cs. Ing. MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln

CAJAMARCA – PERÚ
2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Bach. FARFÁN PÉREZ, Jhoan Deiby
DNI: 46227533
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
2. Asesor: M.Cs. Ing. MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln
Facultad: Ingeniería
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DEL CONCRETO REPARADO CON SIKAREP-500"
6. Fecha de evaluación: 17/03/2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 14%
9. Código Documento: oid:3117:340287421
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 18 de marzo del 2024



FIRMA DEL ASESOR

Nombre: MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln
DNI: 26704942



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258801 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 18/03/2024 09:36:42-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque pese a las grandes dificultades que he atravesado en la vida, su presencia se ha manifestado en mucha cosa y una de ellas es el haberme permitido concluir esta hermosa carrera de Ingeniería Civil.

A mi padre Roger Farfán Nole, a mi abuelita Carmen Blanco Leiva, a mi hermana Estefany Farfán Pérez por ser mi apoyo incondicional para logra terminar mis estudios, y a mi novia Analí Rosmery Ruíz Becerra que con su cariño me impulso a seguir adelante.

Al M.Cs. Ing. Lincoln Minchán Pajares, por sus enseñanzas en el aula que quedarán grabadas de por siempre, no solo en el aspecto académico si no también en lo moral; también por su gran experiencia profesional y ser el gigante apoyo en la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A mi madre Enith Del Carmen Pérez Blanco (Q.E.P.D), pese a que se fue de mi vida a corta edad, aún llevo presente sus enseñanzas.

A mi padre Roger, abuelita Carmen y hermana Estefany, por ser los apoyos incondicionales de mi vida.

A mi novia Analí por su inmenso amor y motivación.

A mis tías que con sus consejos y apoyos puede salir adelante.

A los maestros de obra, este es mi pequeño grano de arena en el conocimiento, esperando que les pueda servir para el desarrollo correcto de sus labores.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	13
ASBSTRACT.....	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.5 ALCANCES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5.1 Alcances y delimitaciones	16
1.5.2 Limitaciones.....	17
1.6 OBJETIVOS	18
1.6.1 Objetivo general.....	18
1.6.2 Objetivos específicos.....	18
1.7 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	21
2.2 BASES TEÓRICAS.....	22
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	29
2.3.1 Resistencia a la compresión axial	29
2.3.2 Concreto.....	29
2.3.3 Agregados.....	30
2.3.4 Morteros de reparación SikaRep-500.....	31
2.3.5 Curado	31
2.3.6 Probetas	31
2.3.7 Cangrejeras o vacíos en el concreto	31
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1 UBICACIÓN DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.2 MATERIALES	33
3.2.1 Agregados.....	33
3.2.2 Cemento Portland Tipo 1.....	34
3.2.3 Tecnopor (poliestireno expandido)	34
3.2.4 Agua	34
3.2.5 SikaRep-500.....	35
3.3 METODOLOGÍA.....	35

3.3.1	Enfoque, diseño, nivel y método de investigación.....	35
3.3.2	Variables de estudio	35
3.3.3	Población, muestra y unidad de análisis.....	35
3.3.4	Técnica de recolección de datos.....	37
3.4	PROCEDIMIENTO	38
3.4.1	Ensayos de agregados para la elaboración de concreto.....	38
3.4.2	Diseño de mezclas método ACI.....	44
3.4.3	Elaboración de las probetas de concreto	48
3.4.4	Herramientas y equipos utilizados	51
3.5	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	53
3.5.1	Ensayo de agregados	53
3.5.2	Diseño de mezclas.....	55
3.5.3	Ensayo a la compresión axial.....	56
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		59
4.1	EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	59
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
5.1	CONCLUSIONES	62
5.2	RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		64
APÉNDICE.....		67
PANEL FOTOGRÁFICO		67

Ensayo de agregado	67
Elaboración de probetas	72
Reparación de probetas:	74
Ensayo a la compresión de probetas	75
ANEXOS	78
HOJAS TÉCNICAS	78
Sika. (2019). HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO SIKAREP®-500.....	78
Sika. (2019). HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO SIKADUR®-32 GEL.....	78
Cementos Pacasmayo. (2014). HOJA DE DATOS CEMENTO TIPO I.....	78
Constancia del uso del LEM de la UNC.	78
TABLAS	78
F'c mínimo para estructuras.....	78
Resistencia promedio a la compresión requerida	79
Análisis de tamizado – Agregado grueso.....	79
Análisis de tamizado – Agregado fino.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del laboratorio de ensayo de materiales de la UNC.....	32
Tabla 2. Coordenadas de la cantera Nicoll, de donde se extrajeron los agregados....	33
Tabla 3. Probetas, grupos y modelos.....	36
Tabla 4. Técnica de recolección de datos.	37
Tabla 5. Ensayo análisis por tamizado de grueso.....	39
Tabla 6. Huso del agregador grueso.	39
Tabla 7. Ensayo análisis por tamizado de fino.....	40
Tabla 8. Análisis de tamizado agregado fino.....	40
Tabla 9. Resumen de las propiedades de los agregados.	44
Tabla 10. Contenido de aire atrapado.....	44
Tabla 11. Asentamiento sugerido.....	45
Tabla 12. Volumen unitario de agua.....	45
Tabla 13. Relación agua cemento.....	45
Tabla 14. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	46
Tabla 15. Resumen de las propiedades de los agregados.	54
Tabla 16. Proporciones para 1m ³ de concreto.....	56
Tabla 17. Proporciones para el volumen de una probeta.....	56
Tabla 18. Resistencia de probetas sin daño.....	56
Tabla 19. Resistencia del modelo 1 Grupo B.....	57
Tabla 20. Resistencia del modelo 2 Grupo B.....	57
Tabla 22. Resistencia del modelo 2, grupo C.....	57
Tabla 21. Resistencia del modelo 1, grupo C.....	57
Tabla 23. Resumen de las resistencias promedios obtenidas de todas las probetas. ..	57

Tabla 24. $f'c$ mínimo para estructuras.	78
Tabla 25. Resistencia promedio a la compresión requerida.....	79
Tabla 26. Requerimiento de tamizado en agregado grueso.	79
Tabla 27. Límites granulométricos para agregado fino	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de los departamentos del Perú.	32
Figura 2. Mapa de las provincias de Cajamarca.	32
Figura 3. Vista satelital de la UNC.....	32
Figura 4. Vista satelital de la cantera Nicoll.	33
Figura 5. Fotografía del Modelo 1.....	36
Figura 6. Modelo 1 en 3D.....	36
Figura 7. Modelo 1, dimensiones en cm.....	36
Figura 8. Fotografía del Modelo 2.....	37
Figura 9. Modelo 2 en 3D.....	37
Figura 10. Modelo 2 y sus dimensiones en cm.	37
Figura 11. Probeta del Grupo A.	48
Figura 12. Probeta del grupo A, en 3D.....	48
Figura 13. Mezcla del componente A y B del Sikadur®-32.....	50
Figura 14. Colocación del Sikadur®-32.....	50
Figura 15. Trompo del LEM de la UNC.....	51
Figura 16. Especificaciones del trompo.....	51
Figura 17. Moldes para probetas 6"x12".	52
Figura 18. Balanza del LEM de la UNC.....	53
Figura 19. Curva granulométrica del agregado grueso.....	54
Figura 20. Curva granulométrica del agregado fino.....	55
Figura 21. Resistencia a compresión axial del modelo 1 (kg/cm ²).	58
Figura 22. Resistencia a compresión axial del modelo 2 (kg/cm ²).	58
Figura 23. Secciones transversales de los modelos 1 y 2.	60

Figura 24. comparación de la resistencia del grupo C y grupo B.	61
Figura 25. Cuarteo de agregado grueso.	67
Figura 26. Cuarteo de agregado fino.	67
Figura 27. Pesado de picnómetro con material.	67
Figura 28. Pesado de agregado grueso en canastillas con agua.	68
Figura 29. Agregado grueso en condición de SSS.	68
Figura 30. Encontrando condición de SSS.	68
Figura 31. Ensayo de Granulometría del agregado fino.	69
Figura 32. Pesado de muestra para granulometría de agregado grueso.	69
Figura 33. Pesado de tamices para ensayo de granulometría agregado grueso.	69
Figura 34. Para granulometría agregado grueso.	70
Figura 35. Pesado de agregado retenido en malla N1/2.	70
Figura 36. Pesado de agregado grueso, ensayo peso unitario seco suelto.	70
Figura 37. Pesado de cemento para elaboración de probetas.	71
Figura 38. Pesado de agregado fino para elaboración de probetas	71
Figura 39. Cubos para crear los vacíos en las probetas.	71
Figura 40. Herramientas utilizadas para la elaboración de probetas.	72
Figura 41. Mi persona en elaboración de probetas.	72
Figura 42. Asentamiento de 4”	73
Figura 43. Cubos que hicieron los vacíos en las probetas.	73
Figura 44. Probetas terminadas, y evitando la perdida de agua.	73
Figura 45. Probetas dañadas listas para ser reparadas con SikaRep-500.	74
Figura 46. Limpiezas de cangrejeras.	74
Figura 47. Pesado del SikaRep-500, en proporción como indica el fabricante.	74
Figura 48. Probetas recién reparadas con SikaRep-500.	75

Figura 49. Fotografía de mi persona y mi asesor de tesis.....	75
Figura 50. Probeta después de haber sido ensayada a compresión.	75
Figura 51. Probeta con cangrejera luego de ser ensayada a compresión.....	76
Figura 52. Probeta justo después de fallar a compresión.....	76
Figura 53. Probeta que fallo en la maquina universal de ensayo de compresión.....	77
Figura 54. Probeta con cangrejas sin reparar.	77
Figura 55. Probetas apiladas luego del ensayo a compresión, para ser desechadas...	77

RESUMEN

Los vacíos por mala compactación del concreto, son unos de los problemas frecuentes encontrados en la construcción, y más si se trata de autoconstrucciones; el uso de morteros de reparación, como el SikaRep-500 nos permite resanar estas partes afectadas de las estructuras de concreto, pero lo que se desconoce es si la resistencia a compresión axial de dichas estructuras mejoran, empeoran o se mantienen luego de la reparación; por ello el objetivo de la siguiente investigación, es evaluar la resistencia a la compresión axial del concreto reparado con SikaRep-500, el enfoque de la investigación es cuantitativa pues se obtuvieron datos numéricos al evaluar las resistencias, de diseño cuasi experimental para lo cual se elaboró 33 probetas de concreto bajo la norma ASTM C31 divididas en tres grupos de 11 cada uno; grupo A probetas sin daño; grupo B probetas con daño y con dos modelos 1 y 2, con espacios vacíos de 2.5"x2.5"x2.5" hechos con moldes de Tecnopor; grupo C probetas reparadas con el mismo número de espacios vacíos que el grupo B pero estos vacíos fueron reparados a la edad de 21 días con Sika-Rep500. Se ensayaron las probetas a compresión axial en el LEM de la Universidad Nacional de Cajamarca, así se obtuvo la resistencia promedio (kg/cm^2) del Grupo A = 290.82; del grupo B: modelo1 = 267.30, modelo2 = 206.12; del grupo C: Modelo1 = 298.77, Modelo2 = 300.74; esto nos muestra que un concreto dañado y posteriormente reparado con SikaRep-500 logra una resistencia superior de 2% de la resistencia del concreto sin daño.

Palabras clave: vacíos, reparación, resistencia a compresión, SikaRep-500, mortero de reparación, probetas de concreto.

ASBSTRACT

Voids due to poor compaction of concrete are one of the frequent problems found in construction, and even more so if it is self-construction; The use of repair mortars, such as SikaRep-500, allows us to repair these affected parts of concrete structures, but what is unknown is whether the axial compression resistance of said structures improves, worsens or is maintained after the repair; Therefore, the objective of the following research is to evaluate the axial compression resistance of the concrete repaired with SikaRep-500. The research approach is quantitative since numerical data were obtained when evaluating the resistances, with a quasi-experimental design for which made 33 concrete specimens under the ASTM C31 standard divided into three groups of 11 each; group A test tubes without damage; group B specimens with damage and with two models 1 and 2, with empty spaces of 2.5"x2.5"x2.5" made with Tecnopor molds; group C repaired specimens with the same number of voids as group B but these voids were repaired at the age of 21 days with Sika-Rep500. The specimens were tested in axial compression at the LEM of the National University of Cajamarca, thus the average resistance (kg/cm²) of Group A = 290.82 was obtained; from group B: model1 = 267.30, model2 =206.12; from group C: Model1 = 298.77, Model2 =300.74; This shows us that damaged concrete subsequently repaired with SikaRep-500 achieves a resistance greater than 2% of the resistance of undamaged concrete. Keywords: voids, repair, compressive strength, SikaRep-500, repair mortar, concrete specimens.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios del Perú advierte que el 80% de las viviendas son producto de la autoconstrucción (ADI PERÚ, 2023).

En la autoconstrucción puede encontrarse un sin número de problemas, debido a que las personas que ejecutan la construcción muchas veces no cuentan con la experiencia o certificación necesaria, estos problemas pueden ser causados por falta de conocimiento, confianza excesiva, mala planificación, etc. y pueden ser producidos en cualquier etapa sin diferenciar el sector público o privado y trascienden los costos financieros como también de vidas humanas (García, et al., 2015).

Los espacios vacíos atrapados en el concreto o cangrejeras son uno de los problemas más frecuentemente encontrados en las construcciones peruanas (Aceros Arequipa, 2020), y más si se trata de autoconstrucciones. La empresa SIKA tiene en el mercado un mortero de reparación de alta resistencia llamado SIKAREP-500, reforzado con fibra sintéticas, que permite la reparación de cangrejeras o vacíos formados en el concreto; pese a ello no se tiene en claro si la resistencia a la compresión axial de las estructuras de concreto luego de la reparación, mejora, empeora o se mantiene, esto es lo que se determinó en el presente proyecto de investigación, para lo cual se realizó tres grupos de 11 probetas cada grupo, Grupo A (sin daño), Grupo B (con daño) y grupo C (con daño y reparadas) y subdivididas en dos modelos cada grupo grupos, encontrándose la resistencia promedio de cada modelo en los diferentes grupos como se muestra en la tabla 23 (página 57).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En cuánto varía el resultado que se tiene al evaluar la resistencia a la compresión axial del concreto reparado con SikaRep-500 respecto a la resistencia del concreto que no tiene daño?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Al evaluar la resistencia a la compresión axial del concreto reparado con SikaRep-500, se obtiene por resultado una variación del 2% superior a la resistencia del concreto que no tiene daño.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El SikaRep-500 es un mortero de reparación que se encuentra disponible en el mercado peruano y es utilizado por maestros de obra e ingenieros para la reparación de grietas, cangrejeras o vacíos ocasionados por una mala compactación del concreto, por ello el presente proyecto de investigación brindará información sobre los resultados obtenidos de la evaluación de la resistencia a la compresión axial del concreto reparado con SikaRep-500, información que nos indicará si la resistencia de las estructuras reparadas mejora, empeora o se mantiene, esto será de gran utilidad para las personas dedicadas a la construcción al momento de intentar reparar estructuras afectadas por cangrejeras o vacíos.

Los beneficiados de este estudio serán los maestros de obra, ingenieros y sobre todo los dueños de casa.

1.5 ALCANCES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Alcances y delimitaciones

En la presente investigación solo se evaluó una propiedad física del concreto, que es la resistencia a la compresión axial. Se realizaron 33 probetas divididas en 3 grupos A, B y C y subdividido cada grupo en 2 modelos, como se indica en la tabla 3 (página 36); el modelo 1 con cuatro espacios vacíos o cangrejeras en la parte inferior y el modelo 2 con un espacio vacío o cangrejera en la parte inferior y otra en la parte central (figuras 5,6,7,8,9 y 10 páginas 36 y 37).

El grupo A formado por las probetas de concreto que no tienen daño, el grupo B formado por probetas con vacíos o cangrejeras, el grupo C formado por probetas con vacíos o cangrejeras ya reparadas con SikaRep-500.

El tipo de cemento que se utilizó es el Portland tipo I, los agregados usados en la elaboración de concreto fueron extraídos del río Mashcon de la cantera Nicoll, la resistencia requerida del concreto fue de 210Kg/cm^2 , el mortero de reparación usado es el SikaRep-500 y el puente adherente que permitió la unión entre el mortero de reparación y el concreto es del Sikadur 32 Gel.

El desarrollo de la investigación duro aproximadamente 5 meses, la fase de campo se realizó en laboratorio de ensayo de materiales la Universidad Nacional de Cajamarca.

1.5.2 Limitaciones

En la reparación del concreto se usó como puente adherente el adhesivo epóxico Sikadur-32 Gel, entre el concreto endurecido y el mortero de reparación SikaRep-500, existiendo otras alternativas en el mercado peruano que podrían hacer variar los resultados de la investigación como son: ColmaFix-32, Chema Epox Adhesivo 32, Polyepox Primer Adhesivo 32, etc. No se evaluó la adherencia del entre el concreto y el mortero de reparación.

El fabricante indica que el SikaRep-500 puede ser usado para reparar concreto que trabaja a flexión, tracción y compresión axial, en este proyecto se evaluó solo la compresión axial de concreto reparado con SikaRep-500.

El número de cangrejeras o vacíos, la posición y las dimensiones de estos en las probetas de concreto es ARBITRARIA; para esta investigación se configuraron dos modelos como se indicó en la parte de alcances, pudiendo variar el número y la posición de las mismas para otras investigaciones.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar la resistencia a la compresión axial del concreto reparado con SikaRep-500.

1.6.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar la resistencia promedio a la compresión axial de las probetas de concreto del grupo A, que son probetas que no tienen daño.
- ✓ Determinar la resistencia promedio a la compresión axial de las probetas de concreto del grupo B (con daño) de los modelos 1 y 2.
- ✓ Determinar la resistencia promedio a la compresión axial de las probetas de concreto del grupo C (con daño y reparadas con SikaRep-500) de los modelos 1 y 2.
- ✓ Determinar la variación que se tiene al evaluar la resistencia a la compresión axial del concreto reparado con SikaRep-500 y la resistencia del concreto con daño, de cada modelo 1 y 2.
- ✓ Determinar la variación que se tiene al evaluar la resistencia a la compresión axial del concreto reparado con SikaRep-500 y la resistencia del concreto sin daño, de cada modelo 1 y 2.

1.7 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

La presente investigación consta de los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Comprende el planteamiento del problema, formulación del problema, hipótesis de la investigación, justificación de la investigación, alcances de la investigación, objetivos de la investigación y descripción del contenido.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Comprende antecedentes, bases teóricas, definición de términos básicos.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS

Comprende ubicación geográfica donde se realizó la investigación, procedimientos en los que se describe el desarrollo cronológico de la investigación, análisis de datos y presentación de resultados

50 % de la investigación.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se describe, explica y discute los resultados encontrados siguiendo la secuencia de los objetivos planteados.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Comprende las conclusiones para cada objetivo planteado y recomendaciones del proyecto de investigación.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

Comprende las citas bibliográficas que han apoyado a la investigación

APÉNDICE

Fotos propias.

ANEXOS

Comprende material adicional, que ayuda al desarrollo de la investigación, certificados, fichas técnicas

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes internacionales

Pérez (2018) en su tesis doctoral “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ELEMENTOS DE HORMIGON REPARADOS CON MORTEROS DE REPARACIÓN” cuyo objetivo fue comparar el comportamiento de unidades de concreto que trabajan a compresión o a flexión, luego de la reparación, mediante la sustitución del concreto dañado por un mortero de reparación modificado con polímeros o mortero de cemento portland. El estudio tiene un enfoque cuantitativo de diseño experimental. Este estudio se realizó en la universidad politécnica de Madrid (España) en el cual se realizó 12 probetas de sección prismática. Los resultados muestran que los sistemas de concreto mixto sometidos a cargas de compresión y con mortero modificado con polímero son más resistentes que los que tienen mortero reparado con cemento portland.

Patiño (2018) en su investigación “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE MUESTRAS DE MORTERO NATURAL SOMETIDAS A ESFUERZO DE COMPRESIÓN” tuvo como propósito la comparación de las características mecánicas de los morteros naturales y portland para su uso en la construcción, con el fin de determinar la resistencia a la compresión de los dos materiales. El estudio tiene un enfoque cuantitativo de diseño experimental. El estudio se realizó en la Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta (Colombia). Se concluyó que, en el caso del mortero natural, factores como su distribución granulométrica y los posibles desajustes en las proporciones del material pueden dar lugar a resistencias muy bajas cuando se utiliza como material estructural.

Souza (2019) en su investigación “ANÁLISIS DE MORTEROS DE REPARACIÓN COMPUESTOS POR COPOLÍMEROS DE VINILO, PVA Y SBR”

Tuvo como propósito crear y evaluar morteros de reparación poliméricos de copolímero de vinilo, acetato de polivinilo (PVA) y estireno-butadieno-estireno (SBR). Mediante compresión diametral, se realizaron ensayos para determinar las resistencias a la tracción y a la compresión. El estudio tiene un enfoque cuantitativo de diseño experimental. El estudio se realizó en la Universidad Estatal de Maringá (Brasil). Los resultados demostraron que los morteros alterados por los polímeros investigados podrían utilizarse como materiales de reparación.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Orbegoso (2020) en su tesis “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE MORTERO TRADICIONAL Y MORTERO PREDOSIFICADO PARA LA REPARACIÓN DE PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN LA CIUDAD DE TRUJILLO 2020”.

El objetivo de esta investigación fue evaluar los beneficios relativos del uso de morteros convencionales versus morteros predosificados para la restauración de anomalías estructurales en Trujillo 2020. El estudio tiene un enfoque cuantitativo de diseño no experimental, transversal descriptivo. El estudio se realizó en la ciudad de Trujillo en la Universidad Privada del Norte en la ciudad de Trujillo. Según sus conclusiones, el mortero predosificado supera con creces a los morteros tradicionales en cuanto a resistencia máxima.

No se encontraron más relacionado a mi tema de investigación.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Teorías de la hidratación del cemento:

Se pueden utilizar dos métodos para explicar la hidratación del cemento: el mecanismo topoquímico, sostenido principalmente por Kapranov, Kittl, Castro y otros; y la escuela de Le Chatelier, sostenida actualmente sobre todo por Williamson y Dron. Dado que la hidratación es un acontecimiento exotérmico, el mecanismo expuesto por Le Chatelier y Williamson en 1893 sugiere una disolución y precipitación continuas de los productos hidratados a partir de una solución sobresaturada mediante un aumento de la temperatura. Según este método, la masa que debe hidratarse debe disolverse en su totalidad antes de precipitar. Sin embargo, en los experimentos se ha demostrado que se forman productos de hidratación alrededor de los granos de clínker, y esta capa obstruiría enseguida el mecanismo de hidratación. Incluso en la teoría de Le Chatelier, que establece que el agua debe fluir hacia la dirección del material hidratado o clínker (Kittl, 2017).

2.2.2 Morteros de reparación funcionamiento

Cuando se aplica en las estructuras dañadas, restringe la cantidad de agua que entra. Su objetivo principal es reforzar la resistencia del elemento y protegerlo de los ataques de agentes externos para que pueda ser reparado de forma permanente. Incluyen fibras de refuerzo para disminuir el agrietamiento por contracción y promover la formación de cristales laminares dentro de los poros de la placa. Evita por completo la porosidad o microfisuración de la estructura en presencia de agua, garantizando una impermeabilización duradera. (KRYTON, 2020).

SikaRep-500 es un mortero predosificado de primera calidad que sólo requiere agua para su uso; sus propiedades tixotrópicas permiten aplicarlo en la cabeza sin gotear; sus ingredientes incluyen ligantes cementosos, fibras sintéticas, microsílíce, aditivos únicos y áridos inertes con una granulometría cuidadosamente calibrada (SIKA, 2022).

2.2.3 Clasificación de los morteros de reparación

Existen cuatro tipos distintos de morteros de reparación: R4, R3, R2 y R1. Los dos tipos de reparación son estructural y no estructural, lo que significa que el primero se refiere a aplicaciones en las que la transmisión de peso o, por otro lado, el trabajo cosmético debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar la especificación de reparación. Además, la norma divide los productos de reparación en productos de baja resistencia o bajo módulo de elasticidad y productos de alta resistencia o alto módulo de elasticidad para cada tipo de aplicación. (Norma UNE-EN 1504, 2005):

- ✓ Los productos de reparación de alta resistencia/alto módulo de elasticidad, como el mortero de clase R4, deben utilizarse para fijar concreto de alta resistencia que haya estado sometido a cargas pesadas.
- ✓ Para fijar el concreto menos resistente a la carga debe utilizarse un mortero de reparación estructural de resistencia media (mortero de clase R3) o un mortero con un módulo de elasticidad medio.
- ✓ Un mejor mortero de reparación no estructural, clase R2 R1, puede utilizarse para fijar cualquier concreto que no se encuentre en una situación estructural, es decir, cuando no sea necesario que pase ninguna carga por la región reparada.

2.2.4 Frecuencia de los ensayos

“Las muestras para los ensayos de resistencia para concreto elaborado en obra con mezcladora deben tomarse no menos de una vez al día, de cada clase de concreto colocado, ni menos de una vez por cada 5 m³, de cada clase de concreto vaciado continuamente, ni menos de una vez por cada 50 m² de superficie de losas o muros vaciados en la jornada” (Norma E 0.60, 2009).

“Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas cilíndricas de 6” de diámetro por 12” de altura (150 mm por 300 mm) confeccionadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de $f'c$ ” (Norma E 0.60, 2009).

“El número mínimo de especímenes es de 2 para especímenes de 150 mm de diámetro” (ASTM C39, 2018).

2.2.5 Propiedades del diseño de concreto:

Se tiene la tabla 24 (página 78) en la parte de anexos para $f'c$ mínimos según el tipo de estructura que se va a usar.

2.2.6 Resistencia promedio requerida:

“Cuando no tenga se tenga registros de ensayos de resistencia en obra para el cálculo de (desviación estándar), $f'cr$ debe determinarse de la Tabla 5.3. (Norma E.060, 2009)

La tabla se encuentra en la sesión de anexos tabla 25 (página 79).

2.2.7 NORMAS ASTM

Usadas para realizar los ensayos de los agregados, elaboración de probetas, curado y rotura de estas:

2.2.7.8 Resistencia la compresión de cilindros de concreto

Alcance: El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la compresión (f_c) de probetas cilíndricas de concreto que han sido moldeadas en el campo u obtenidas en laboratorio. Sólo es admisible el concreto con un peso unitario superior a 800 kg/m³.

Probetas: Las probetas estándar son cilindros de concreto de 150 por 300 mm o de 100 por

200 mm. Se aceptan otros tamaños de cilindro siempre que se atengan a la fórmula $\text{Longitud/Diámetro} = 2$. La diferencia del diámetro de un espécimen individual con respecto al resto no debe ser superior al 2%. Para probetas de 150 mm de diámetro, se requieren dos, y para probetas de 100 mm de diámetro, tres. Resumen del procedimiento: Mediante este método de ensayo, se aplica una fuerza de compresión uniaxial a una velocidad de carga predeterminada de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s a los cilindros o machos moldeados. Dividiendo la mayor fuerza alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal de la probeta, se calcula la resistencia a la compresión de la probeta. (ASTM C39, 2018).

2.2.7.9 Práctica normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del concreto

Utilizando muestras típicas de concreto fresco, esta norma describe cómo preparar y curar probetas cilíndricas y vigas para la construcción de proyectos. Requisitos Probetas cilíndricas - Los cilindros moldeados colocados verticalmente y con una longitud dos veces superior al diámetro servirán como probetas para calcular la resistencia a la compresión o a la tracción. El diámetro del cilindro debe representar al menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. De acuerdo con la Norma C 172, la muestra de concreto se tamiza en húmedo si el tamaño máximo nominal del agregado excede 2 pulgadas, se recomienda utilizar probetas cilíndricas de 6 x 12 pulgadas o de 4 x 8 pulgadas para el ensayo de resistencia a compresión. (ASTM C31, 2010).

2.2.7.10: Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario")

Compactado: Coloque tres capas aproximadamente iguales de agregados en el contenedor. Coloque el recipiente sobre una superficie sólida, como un suelo de cemento, levante los lados opuestos alternativamente unos 50 mm y, a continuación, deje caer el recipiente con un fuerte impacto para compactar cada capa. Las partículas de árido se asentarán en una condición de compactación densa como resultado de este proceso. Dejando caer el contenedor 50 veces -25 veces en cada lado- de la forma especificada, se puede compactar cada capa. Utilizando los dedos o una regla, nivele la superficie del árido de forma que las zonas más grandes que emergen por debajo de la superficie del recipiente se rellenen uniformemente con los salientes de los trozos grandes de árido grueso. Suelto: Utilizando una pala o azada, llene completamente el recipiente, soltando los áridos no más de 50 mm (2 pulgadas) por encima de la parte superior. Intente no separar las partículas de la muestra tanto como pueda. Usando los dedos o una regla, nivele la superficie del agregado de manera que los trozos grandes de agregado grueso ocupen uniformemente los espacios más grandes que emergen debajo de la superficie del recipiente. Calcule las masas del recipiente por sí mismo y en relación con su contenido, luego redondea los resultados a 0,05 kg [0,1 lb] más cercano. (ASTM C29, 2017)

2.2.7.11 Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso

Para determinar la distribución granulométrica, una muestra de ensayo de árido seco con una masa conocida se divide a través de una sucesión de tamices con aberturas progresivamente más pequeñas. Para obtener los datos requeridos por las normas que regulan la sustancia a ensayar, deben elegirse tamices con las aberturas adecuadas. Si se

necesitan más tamices para controlar la cantidad de material en un tamiz o para ofrecer información adicional, como el módulo de finura, deben utilizarse. La muestra debe colocarse en el tamiz superior y los tamices deben colocarse de arriba abajo en orden decreciente de tamaño de abertura. El tiempo necesario debe determinarse por tanteo y debe utilizarse para agitar los tamices manualmente o con un agitador mecánico; Cálculos: Tomando como base la masa seca total inicial de la muestra de ensayo, los porcentajes de paso, los porcentajes totales retenidos o los porcentajes de las distintas fracciones de tamaño se calcularán con una aproximación del 0,1%. En el cálculo del análisis granulométrico, inclúyase la masa del material más fino que la malla de 75 μm (n.º 200) por lavado si la misma muestra de ensayo ya ha sido sometida a ensayo de conformidad con el método de ensayo C 117 de la ASTM. Todos los porcentajes deben calcularse utilizando la masa seca total de la muestra de ensayo antes del lavado de conformidad con el método de ensayo C 117. (ASTM C136, 2006)

2.2.7.12 Especificación estándar para agregados para concreto

“Luego de usar el procedimiento ASTM C136, se procede al análisis del resultado con las siguientes tablas para determinar el uso y la curva granulométrica” (ASTM C33, 1999)

Las tablas se encuentran en la sesión anexos, corresponde a las tablas 24 y 25.

2.2.7.13. Densidad y absorción del agregado grueso

Para rellenar eficazmente los poros, se sumerge una muestra de árido en agua durante unas 24 +/- 4 horas. Tras sacar la muestra del agua, se calcula su masa y se seca la superficie de la partícula. A continuación, se utiliza el método de desplazamiento de agua para calcular el volumen de la muestra. Por último, se seca la muestra y se calcula su masa.

La densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción pueden calcularse utilizando las masas adquiridas y los cálculos del método de ensayo. (ASTM C127, 2001).

2.2.7.14 Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción del agregado fino

Para rellenar eficazmente los poros, se sumerge una muestra de árido en agua durante unas 24 ± 4 horas. Tras sacar la muestra del agua, se seca su superficie y se calcula su masa. A continuación, se coloca la muestra (o parte de ella) en un recipiente graduado y se calcula su volumen por el método gravimétrico o volumétrico. Después de secar la muestra en un horno, se calcula de nuevo la masa. La densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción pueden calcularse utilizando los datos de masa adquiridos y los cálculos del método de ensayo (ASTM C128, 2001).

2.2.7.15 Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (N° 200) de los áridos minerales por el método de lavado

Para lavar una muestra de áridos se utiliza una cantidad predeterminada de agua pura o agua mezclada con un agente humectante. El agua de lavado, que contiene material suspendido y disuelto, se pasa por un tamiz n.º 200 de $75 \mu\text{m}$. La pérdida de masa resultante del proceso de lavado se determina como un porcentaje de la masa inicial de la muestra y se expresa como el porcentaje de material que pasa a través del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (n.º 200) después de cada lavado. (ASTM C117; 2017).

2.2.7.16 Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de los áridos por secado se muestra el procedimiento.

Calcule la masa de la muestra con una aproximación del 0,1%. Utilizando el medio de secado elegido, seque completamente la muestra dentro del recipiente, teniendo cuidado de no perder ninguna de las partículas. La pérdida de partículas puede producirse por la explosión de algunas de ellas debido a un secado extremadamente rápido. Cuando una temperatura más alta pueda cambiar las propiedades del agregado o cuando se necesite una medición más precisa, utilice un horno de temperatura controlada. Agite la muestra mientras se seca si se utiliza una fuente de calor distinta de un horno de temperatura controlada. (ASTM C566, 1997).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1 Resistencia a la compresión axial

Definida como el máximo esfuerzo que el material puede soportar sin romperse, se conoce como resistencia del concreto. La resistencia del concreto a los esfuerzos de compresión se mide y utiliza como índice de calidad porque es el esfuerzo principal que el material debe soportar (Rivva, 2014).

2.3.2 Concreto

También llamado hormigón en otros países, es la mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, grueso y agua con o sin aditivos. (ACI 318, 1999).

Existen variedades de concretos:

- Concreto estructural: Cualquier tipo de concreto, incluido el armado y el simple, siempre que se utilice con fines estructurales. (ACI 318, 1999)

- Concreto estructural ligero: Concreto con agregado ligero que tiene un peso unitario, en condición de secado al aire, determinado por el “Método de Prueba para Determinar el Peso Unitario del Concreto Ligero Estructural” Estructural” ASTM C 567, que no exceda de 1,800 kg/m³. (ACI 318, 1999)
- Concreto precolado: Elemento de concreto estructural colado en un lugar diferente de su ubicación final de carga. (ACI 318, 1999).
- Concreto presforzado: Concreto estructural al que se le han aplicado esfuerzos internos, a fin de reducir los esfuerzos potenciales de tensión, derivados de las cargas. (ACI 318, 1999).
- Concreto simple: Concreto estructural sin refuerzo, o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado. (ACI 318, 1999).

2.3.3 Agregados

También llamados áridos. Existen dos tipos:

- Agregado fino: Se define como fragmentos de roca que se han descompuesto de forma natural o artificial, pasan a través de un tamiz de 3/8" y se adhieren a las restricciones descritas en la NTP 400.037. La arena, producida artificial o naturalmente, o una mezcla de ambas, puede constituir el agregado fino. (Rivva, 2014).
- Agregado grueso: El material que pasa a través del tamiz N4 y cumple con las especificaciones señaladas en la norma técnica peruana 400.037 se denomina agregado grueso. En el agregado grueso se pueden encontrar agregados metálicos naturales o artificiales, piedra partida o grava triturada. (Rivva, 2014).

2.3.4 Morteros de reparación SikaRep-500

Es a un producto pre embolsado, mezcla de cemento, arenas, fibras sintéticas, microsílíce y aditivos especialmente diseñados para reparación de concreto. (ACI RAP 6, 2010).

Funcionan bien para sustituir o reparar el perfil y la funcionalidad originales del concreto dañado. Ayudan a corregir los defectos del concreto, mejoran la estética, restablecen la integridad estructural, aumentan la resistencia y prolongan la vida útil del edificio. (SIKA, 2022)

2.3.5 Curado

Proceso en el cual el concreto se deja en un ambiente húmedo durante unos días para que alcance la resistencia total (f'_c) indicada en el plano y para evitar que se produzcan grietas en la superficie. (Manual del maestro constructor, 2020)

2.3.6 Probetas

Es una muestra de concreto endurecido para los ensayos de la resistencia a la compresión; las dimensiones a usarse para el caso de forma cilíndrica: de 6 x 12 pulgadas o de 4 x 8 pulgadas (ASTM C31, 2010).

2.3.7 Cangrejeras o vacíos en el concreto

Cuando el mortero no rellena por completo los espacios entre las partículas de árido grueso, queda un vacío en el concreto al cual denominamos cangrejera, dado a que estos vacíos son puntos débiles del elemento, debemos ser conscientes de ellas cuando se producen en lugares de gran tensión, en los extremos y centros de los vanos de las vigas y en las zonas inferiores de pilares y losas. Para su tratamiento se requiere materiales especializados, como los morteros de reparación estructural. (ACI 116 R, 2000).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN

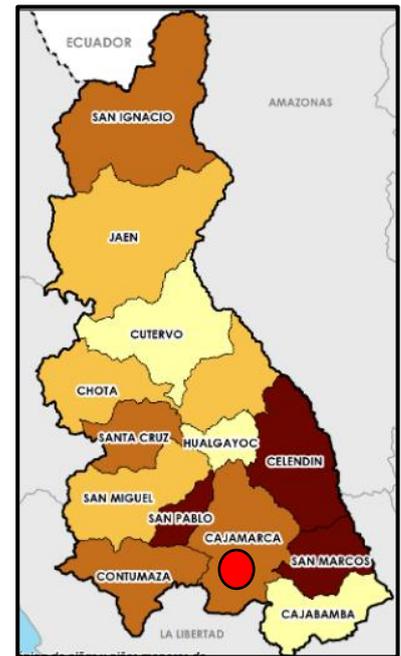
La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de ensayos de materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC).

Figura 1. Mapa de los departamentos del Perú.



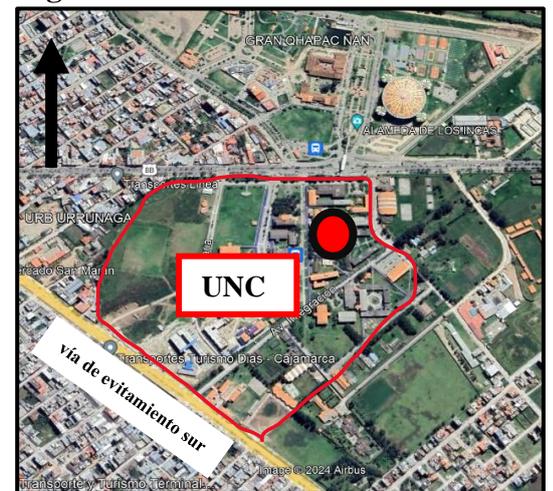
Fuente: freepik.com 2023.

Figura 2. Mapa de las provincias de Cajamarca.



Fuente: cgtp.org.p 2023.

Figura 3. Vista satelital de la UNC.



Fuente: Google Earth 2023.

Tabla 1. Coordenadas del laboratorio de ensayo de materiales de la UNC.

COORDENADAS UTM	
NORTE:	9207001.94 m S
ESTE:	776618.20 m E
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
LATITUD:	7° 10.038'S
LONGITUD:	78° 29.726'O

3.2 MATERIALES

3.2.1 Agregados

Los agregados que se usaron en el presente estudio de investigación provienen del río Mashcon de la cantera “NICOLL”, que está ubicada en el kilómetro 4 de la carretera Cajamarca - Bambamarca, continuación se presentas las coordenadas y una fotografía satelital.

Figura 4. Vista satelital de la cantera Nicoll.



Fuente Google Earth pro-2023.

Tabla 2. Coordenadas de la cantera Nicoll, de donde se extrajeron los agregados.

COORDENADAS UTM	
NORTE:	9212741.00 m S
ESTE:	773029.00 m E
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
LATITUD:	7° 6.937'S
LONGITUD:	78° 31.691'O

Se realizaron los siguientes ensayos para determinar las propiedades de los agregados usados en la elaboración del concreto.

- ✓ ASTM C29: Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario").
- ✓ ASTM C136: Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.
- ✓ ASTM C33: Especificación estándar para agregados para concreto.
- ✓ ASTM C127: Densidad y absorción del agregado grueso.

- ✓ ASTM C128: Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa. (gravedad específica), y Absorción del agregado fino.
- ✓ ASTM C117: Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 μ m (N° 200) de los áridos minerales por el método de lavado.
- ✓ ASTM C566-97 Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de los áridos por secado.

3.2.2 Cemento Portland Tipo 1

Este cemento se utiliza en proyectos de construcción que no requieren ninguna característica particular. Brinda una mayor resistencia inicial y tiempos de fraguado más rápidos, se consiguen moliendo el clinker de Tipo I y el yeso juntos para crear el cemento portland de Tipo 1. (Cementos Pacasmayo, 2019).

3.2.3 Tecnopor (poliestireno expandido)

Es un material plástico de espumada extremadamente ligera y resistente que contiene un 98% de aire. Además, posee excelentes cualidades de aislamiento acústico y térmico. (KNAUF-INDUSTRIES, 2017)

Para la creación de cangrejeras o vacíos, usaremos cubos de 2.5"x2.5"x2.5" de Tecnopor de 2 a 4 cubos por pobretas del grupo B y C.

3.2.4 Agua

Fue tomada del servicio de agua del laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2.5 SikaRep-500

Es un mortero de reparación de que viene predosificado y listo para usar; todo lo que necesita es agua para activar sus propiedades tixotrópicas, que evitan que gotee cuando se aplica en la cabeza. Aglomerantes cementosos, fibras sintéticas, microsíllice, aditivos exclusivos y agregados inertes de granulometría regulada constituyen su base. (SIKA, 2022)

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Enfoque, diseño, nivel y método de investigación

- El enfoque de la investigación es cuantitativo; pues la resistencia a la compresión axial que es la característica del concreto que se estudia en esta investigación es cuantificable.
- El diseño cuasi experimental, pues no se hace manipulación de variables por ende no se tiene variable independiente y variable dependiente, pero se realizó elaboración de probetas y ensayos de laboratorio.
- El nivel de la investigación es descriptivo, pues pretende especificar una propiedad del concreto, que es la única variable con la que se trabaja en el presente estudio de investigación: resistencia a la compresión axial.

3.3.2 Variables de estudio

La variable de estudio en esta investigación es la “resistencia a la compresión axial”

3.3.3 Población, muestra y unidad de análisis

Teniendo en cuenta el criterio de la Norma E0.60 inciso 5.6.2.1 y de la norma ASTM C39:

- Las muestras para los ensayos de resistencia para concreto elaborado en obra con mezcladora deben tomarse no menos de una vez al día, ni menos de una vez por cada 5 m³,

de cada clase de concreto vaciado continuamente, ni menos de una vez por cada 50 m² de superficie de losas o muros vaciados en la jornada. (NORMA E0.60, 2009).

- El número mínimo de especímenes es de 2 para especímenes de 150 mm de diámetro y 3 para especímenes de 100 mm de diámetro (ASTM C39; 2018)
- Determinación de la muestra, no probabilística, indicando la media y la desviación estándar.

Se realizaron 33 probetas divididas en 3 grupos de 11 cada uno:

Tabla 3. *Probetas, grupos y modelos.*

	GRUPO A (dañadas)	GRUPO B (reparadas)	GRUPO C (sin daño)
Modelo 1	5 probetas	5 probetas	5 probetas
Modelo 2	6 probetas	6 probetas	6 probetas
TOTAL	11 probetas	11 probetas	11 probetas

Figura 5. *Fotografía del Modelo 1.*



Figura 6. *Modelo 1 en 3D.*

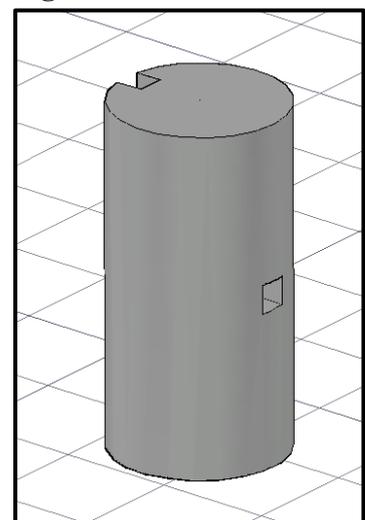


Figura 7. *Modelo 1, dimensiones en cm.*

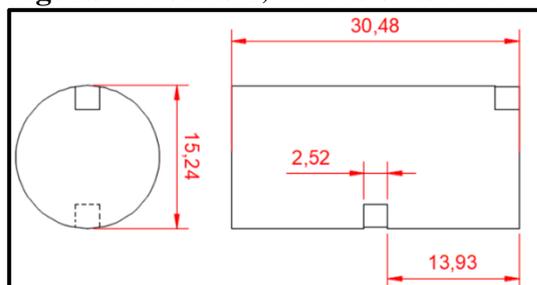


Figura 8. Fotografía del Modelo 2.



Figura 9. Modelo 2 en 3D.

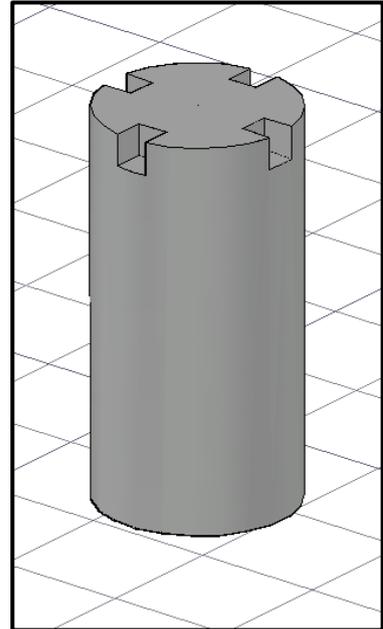
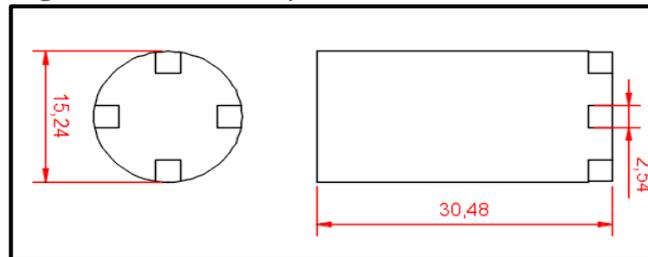


Figura 10. Modelo 2 y sus dimensiones en cm.



Nuestra unidad de análisis son las probetas de concreto de 6" x 12" con una resistencia requerida a la compresión de 210Kg/cm².

3.3.4 Técnica de recolección de datos

A continuación, se describe en un cuadro:

Tabla 4. Técnica de recolección de datos.

TÉCNICA	ENFOQUE	HERRAMIENTA/INSTRUMENTO
Observación directa	Cuantitativo	Guía de recolección de datos, protocolos

3.4 PROCEDIMIENTO

A continuación, se indica paso a paso y de manera detallada el desarrollo de la investigación:

3.4.1 Ensayos de agregados para la elaboración de concreto

Los ensayos de los agregados se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, y son los siguientes:

- ✓ **Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente**
(ASTM C29, 2017)

Peso unitario suelto seco:

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

PESO UNITARIO SECO SUELTO DE ARENA (kg/m^3): 1509.40

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

PESO UNITARIO SECO SUELTO DE GRAVA (kg/m^3): 1232.88

Peso unitario seco compactado:

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

PESO UNITARIO SECO SUEL DE ARENA (kg/m^3): 1616.84

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

PESO UNITARIO SECO SUELTO DE GRAVA (kg/m^3): 1405.99

- ✓ Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.

(ASTM C136, 2006)

AGREGADO GRUESO:

Tabla 5. *Ensayo análisis por tamizado de grueso.*

Nº Tamiz	Abertura (mm)	Peso de la malla (g)	Peso malla + muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
1 1/2"	37.50	496	496	0	0.00	0.00	100
1"	25.00	465	465	0	0.00	0.00	100
3/4"	19.00	475	643	168	18.38	18.38	82
1/2"	12.50	484	1173	689	75.38	93.76	6
3/8"	9.50	462	514	52	5.69	99.45	1
Nº 4	4.75	588	591	3	0.33	99.78	0
BC	0.00	84	86	2	0.22	100.00	0
TOTAL				914	100.00		

Con ayuda de la tabla 26 (página 79) que se encuentra en la sección de anexos, usamos la fila número 7, para determinar el huso del agregado grueso.

Tabla 6. *Huso del agregador grueso.*

AG. Grueso - Análisis del Tamizado ASTM C33				
HUSO 7				
TAMIZ		Límite Inferior	% Que Pasa	Límite Superior
Pulgada	mm	(%)		(%)
1 1/2"	37.50	100	100	100
1"	25.00	90	100	100
3/4"	19.00	40	82	70
1/2"	12.50	0	6	15
3/8"	9.50	0	1	5
N.º 4	4.75	0	0	5

Fuente ASTM C33.

La curva de distribución granulométrica del agregado grueso se mostrará en la sección

3.5 Presentación de Resultados.

AGREGADO FINO

Tabla 7. Ensayo análisis por tamizado de fino.

N° Tamiz	Abertura (mm)	Peso de la malla (g)	Peso malla + muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3/8"	9.50	462.00	0	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	4.75	588.00	595	7.00	1.75	1.75	98
N° 8	2.36	736.00	791	55.00	13.78	15.54	84
N° 16	1.18	391.00	455	64.00	16.04	31.58	68
N° 30	0.60	413.00	498	85.00	21.30	52.88	47
N° 50	0.30	367.00	461	94.00	23.56	76.44	24
N° 100	0.15	350.00	420	70.00	17.54	93.98	6
N° 200	0.08	279.00	297	18.00	4.51	98.50	2
BC	0.00	84.00	90	6.00	1.50	100.00	0
TOTAL				399	100.00		

Usamos la tabla 27 (página 79) que se encuentra en la sección de anexos, para el análisis por tamizado del agregado fino.

Tabla 8. Análisis de tamizado agregado fino.

Agregado Fino - Análisis del Tamizado ASTM C33				
TAMIZ		Límite Inferior (%)	% Que Pasa	Límite Superior (%)
Pulgada	mm			
3/8"	9.50	100	100	100
N° 4	4.75	95	98	100
N° 8	2.36	80	84	100
N° 16	1.18	50	68	85
N° 30	0.60	25	47	60
N° 50	0.30	5	24	30
N° 100	0.15	0	6	10

La curva de distribución granulométrica del agregado fin se mostrará en la sección 3.5

Presentación de Resultados.

- ✓ **Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa. (gravedad específica), y absorción del agregado fino. (ASTM C128, 2001)**

Ecuación 1: Peso específico del agregado fino.

$$Pe = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde A: Peso del agregado fino seco (kg):

B: Peso del Picnómetro enrazado (kg)

S: Peso del agregado fino en condición SSS (kg)

C: Peso del agregado fino en condición SSS con picnómetro enrazado (kg)

De tres ensayos realizados se tuvo un peso específico promedio de:

$$Pe (AF) \text{ Kg/m}^3: \quad 2314.16$$

Ecuación 2: Porcentaje de absorción del agregado fino.

$$\%Abs = \frac{S - A}{A}$$

De tres ensayos realizados se tuvo una absorción promedio del agregado fino de:

$$Abs \% \text{ Promedio:} \quad 6.19$$

- ✓ **Densidad y absorción del agregado grueso. (ASTM C127, 2001)**

Ecuación 3: Peso específico del agregado grueso.

$$Peso \text{ específico} = \frac{A}{B - C}$$

Donde A: Peso del agregado grueso seco (kg).

B: Peso del agregado grueso en condición SSS (kg).

C: Peso del agregado grueso en condición SSS sumergido (kg).

De tres ensayos realizados se tuvo un peso específico promedio de:

$$Pe (AG) \text{ Kg/m}^3: 2072.39$$

Ecuación 4: Porcentaje de absorción del agregado grueso.

$$\%Abs = \frac{B - A}{A}$$

De tres ensayos realizados se tuvo una absorción promedio del agregado grueso de:

$$Abs \% \text{ Promedio: } 3.23$$

✓ **Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de los áridos por secado (ASTM C566, 1997)**

AGREGADO GRUESO

Ecuación 5: Contenido de humedad del grueso.

$$w\% = 100x \frac{w}{PggS - T1}$$

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

$$\text{CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO} = 1.62 \text{ (W\%)}$$

AGREGADO FINO

Ecuación 6: Porcentaje de absorción del agregado fino.

$$w\% = 100x \frac{W}{P_{gfS} - T1}$$

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO = 4.17 (W%)

- ✓ **Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 μ m (N° 200) de los áridos minerales por el método de lavado.**

(ASTM C117, 2017)

AGREGADO GRUESO

Ecuación 7: Porcentaje de impurezas en el agregado grueso.

$$w\% = 100x \frac{Impurezas}{P_{ggS}}$$

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

% DE FINOS EN AGREGADO GRUESO: 0.41

AGREGADO FINO

Ecuación 8: Porcentaje de impurezas en el agregado grueso.

$$w\% = 100x \frac{Impurezas}{P_{gfS}}$$

Procesando los datos obtenidos en el laboratorio, tenemos:

% DE FINOS EN AGREGADO FINO = 2.71

3.4.2 Diseño de mezclas Método ACI

Resumiendo, las propiedades de los agregados, para el diseño de mezcla

Tabla 9. Resumen de las propiedades de los agregados.

AGREGADO	FINO	GRUESO
PERFIL		ANGULAR
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1509.40	1232.88
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1616.84	1405.99
Peso específico (kg/m ³)	2314.16	2072.39
Módulo de fineza	2.82	
TMN		½"
% absorción	6.19	3.23
% W	4.16	1.62

Resistencia promedio requerida

Con ayuda de tabla 25 (página 79) que se encuentra en la sección de anexos, usamos la segunda fila, para encontrar la Resistencia promedio requerida.

$$F'_{cr} = F'_c + 86.68 \rightarrow F'_{cr} = 210 + 86.68 = 296.68 \text{ kg/cm}^2$$

Contenido de aire atrapado

Tabla 10. Contenido de aire atrapado.

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO		
Tamaño máximo nominal del agregado (pulg)	Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Aire atrapado
3/8"	9.5	3.00%
1/2"	12.5	2.50%
3/4"	19	2.00%
1"	25	1.50%
1 1/2"	37.5	1.00%
2"	50	0.50%
3"	75	0.30%
6"	150	0.20%

Aire atrapado 2.5%

Fuente ACI comité 211.

Cálculo del contenido de agua

Tabla 11. Asentamiento sugerido.

Tipo De Estructuras	Asentamiento (Pulg)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"
Muros, pavimentos y losas	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente ACI comité 211.

Tabla 12. Volumen unitario de agua.

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Asentamiento	Agua en l/m ³ para los tamaños Max. Nominales de agregado grueso y consistencia indicados.							
1"=25mm	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1 a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
Concreto con aire incorporado								
1 a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7"	216	205	197	184	174	166	154	

Fuente ACI comité 211.

216 Lt/m³

Relación agua cemento por resistencia

Interpolación, para encontrar la relación agua cemento para una resistencia de 296.68 kg/cm²

250 kg/cm² --- 0.62
 296.68 kg/cm² --- X = 0.5584
 300 kg/cm² --- 0.55

Tabla 13. Relación agua cemento.

RELACION AGUA CEMENTO POR RESISTENCIA		
f'cr (28 días) kg/cm ²	Relación agua cemento de diseño por peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
420	0.41	
450	0.38	

Fuente ACI comité 211.

Cantidad de cemento

$$a/c = 216 \text{ l/c} = 0.5584 \rightarrow 386.81948\text{Kg} \rightarrow 386.81948/42.5 = 9.1016 \text{ Bolsas};$$

$$386.82 \text{ kg} = 9.101\text{Bol}$$

Peso del agregado grueso

Tabla 14. *Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.*

PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO					
Tamaño máximo nominal del Agregado grueso (pulg)	Tamaño máximo nominal del Agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
		2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	19	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	25	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	37.5	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	50	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	75	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	150	0.87	0.85	0.83	0.81

Interpolamos:

Módulo de Fineza: 2.82
TMN: 1/2"

$$\begin{array}{rcl} 2.8 & \text{---} & 0.55 \\ 2.82 & \text{---} & X = 0.548 \\ 3 & \text{---} & 0.53 \end{array}$$

Fuente ACI comité 211.

$$1405.99 \text{ kg/m}^3 \times 0.548 = 770.482 \text{ kg}$$

Peso Absoluto:

- Cemento de peso a volumen en m^3 : $386.82\text{Kg} / (3.1\text{gr/cm}^3 \times 1000) = 0.1247\text{m}^3$
- Agua a $\text{m}^3 = 216\text{Kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0.216\text{m}^3$
- Aire a $\text{m}^3 = 2.5 \times 1 / 100 = 0.025\text{m}^3$
- Peso del agregado grueso a $\text{m}^3 = 770.482\text{Kg} / (2072.39\text{Kg/m}^3) = 0.37178\text{m}^3$
- Volumen total = $0.1247 + 0.216 + 0.025 + 0.37178 = 0.73748\text{m}^3$
- Volumen del agregado fino = $1 - 0.73748 = 0.26253\text{m}^3$

Peso del agregado fino:

- $0.26253\text{m}^3 \times 2314.16 \text{ kg/m}^3 = 607.5364 \text{ kg}$

Presentación en estado seco:

- Peso del cemento (kg) =386.82
- Peso del agua (kg) = 216
- Peso del agregado grueso (kg) =770.482
- Peso del Agregado fino (kg) =607.5354

Corrección por humedad de agregados

- Agregado fino (kg) = $607.5354 \times (4.16/100+1) = 632.8088$
- Agregado Grueso (kg) = $770.482 \times (1.62/100+1) =782.9638$

Agua de aporte a la mezcla

- Agregado grueso $(1.62-3.22) \times 782.9638 = -12.5257$ lts
- Agregado fino $(4.16-6.18) \times 632.8088 \text{ kg} = -12.7827$ lts

Agua efectiva

$216 - (-12.5257) - (-12.787) = 241.3127$ lts.

Resumen para 1m³ de mezcla

- | | | |
|---------------------------------|---|----------|
| ➤ Peso del cemento (kg) | = | 386.82 |
| ➤ Peso del agua (kg) | = | 241.3127 |
| ➤ Peso del agregado grueso (kg) | = | 782.9638 |
| ➤ Peso del Agregado fino (kg) | = | 632.8088 |

Para una probeta cilíndrica de 6"x12" (0.0556m³)

- | | | |
|---------------------------------|---|--------|
| ➤ Peso del cemento (kg) | = | 2.15 |
| ➤ Peso del agua (kg) | = | 1.3416 |
| ➤ Peso del agregado grueso (kg) | = | 4.3532 |
| ➤ Peso del Agregado fino (kg) | = | 3.5184 |

Factor de rendimiento: Debido al desperdicio generado por la manipulación y lo que se queda en el trompo, es de 1.21.

3.4.3 Elaboración de las probetas de concreto

Con las proporciones obtenidas del diseño de mezclas, se procedió a la elaboración de las 33 probetas, se agruparon en 3 grupos como se muestra a continuación:

3.4.3.1 Grupo A (probetas sin daño)

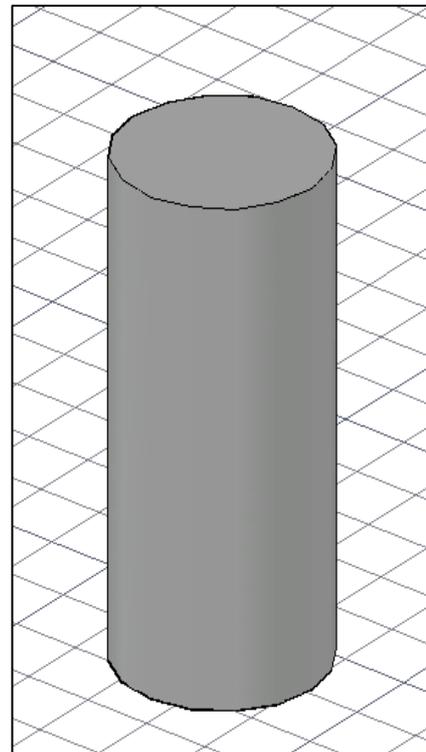
Conformado por 11 probetas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de alto, estas probetas fueron diseñadas con una resistencia requerida de 210Kg/cm^2 para columnas tabla 24 (página 78), su fabricación se realizó siguiendo la norma ASTM C31 con el método de diseño de mezclas propuesto por el comité ACI 211. A estas probetas no se les hizo cangrejas o vacíos.

Luego de 24 horas de su fabricación fueron llevadas a la poza de curado, ahí se mantuvieron por un periodo de 28 días y posteriormente fueron ensayadas en la maquina universal de ensayos para evaluar la resistencia a compresión axial.

Figura 12. *Probeta del Grupo A.*



Figura 11. *Probeta del grupo A, en 3D.*



3.4.3.2 Grupo B (probetas dañadas)

Conformado por 11 probetas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de alto, estas probetas fueron diseñadas con una resistencia requerida de 210Kg/cm^2 para columnas tabla 24 (página 78), su fabricación se realizó siguiendo la norma ASTM C31 con el método de diseño de mezclas propuesto por el comité ACI 211; este grupo se subdivide en 2 grupos: Modelo 1 con cinco probetas y Modelo 2 con seis probetas; se puede ver los modelos en las Fig. 5 y Fig. 8 (páginas 36 y 37).

Fabricación del Modelo 1: Al momento de vaciar el concreto en los moldes se colocó un cubito de Tecnopor de 2.5"x2.5"x2.5" a la mitad de la probeta y otro en el fondo en la parte opuesta, como se muestra en la Fig. 5, Fig. 6 y Fig. 7 (página 36). La posición donde se han colocado los cubitos y el número de estos fue una elección arbitraria, es decir que pudimos haberlos colocados en otras posiciones y en otras cantidades. Se fabricaron cinco probetas bajo esta configuración.

Fabricación del Modelo 2: Al momento de vaciar el concreto en los moldes se colocó 4 cubito de Tecnopor de 2.5"x2.5"x2.5" en el fondo de la probeta, como se muestra en la Fig. 8, Fig. 9 y Fig. 10. (página 37). La posición donde se han colocado los cubitos y el número de estos fue una elección arbitraria, es decir que pudimos haberlos colocados en otras posiciones y en otras cantidades. Se fabricaron seis probetas bajo esta configuración.

Luego de 24 horas de fabricación fueron llevadas a la poza de curado, ahí se mantuvieron por un periodo de 28 días y posteriormente fueron ensayadas en la máquina universal de ensayos para evaluar la resistencia a compresión axial.

3.4.3.3 Grupo C (probetas reparadas)

Conformado por 11 probetas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de alto, estas probetas fueron diseñadas con una resistencia requerida de 210Kg/cm^2 para columnas, tabla 24 (página

78), su fabricación se realizó siguiendo la norma ASTM C31 con el método de diseño de mezclas propuesto por el comité ACI 211; este grupo se subdivide en 2 grupos: Modelo 1 con cinco probetas y Modelo 2 con seis probetas, como se Fig. 5 y Fig. 8 (paginas 36, 37).

El proceso de fabricación de los modelos 1 y 2, es el mismo que se indicó en el apartado anterior.

Luego de 24 horas de fabricación fueron llevadas a la poza de curado, ahí se mantuvieron por un periodo de 21 días, al cabo de ese periodo se taparon los espacios vacíos generados por los cubos de Tecnopor con el mortero de reparación SikaRep-500

Proceso de reparación: Se retiraron las 11 probetas de la poza de curado, se dejaron secar por un tiempo de 5 horas, de ahí se retiraron los cubos de Tecnopor y se limpiaron los espacios dejados por estos con una brocha muy fina, luego con la misma brocha se colocó el adhesivo epoxico Sikadur-32 Gel en todas las superficies de las cangrejas, este adhesivo se prepara de la combinación de dos partes A y B (vienen un bote para cada parte); luego se preparó en un recipiente el mortero de reparación en la proporción que indica la ficha técnica solo con agua e inmediatamente se colocó en los espacios vacíos realizados con los cubos de Tecnopor.

Figura 13. Mezcla del componente A y B del Sikadur®-32.



Figura 14. Colocación del Sikadur®-32.



Después de 7 días de la reparación, las probetas fueron ensayadas en la maquina universal de ensayos para evaluar la resistencia a compresión axial.

3.4.4 Herramientas y equipos utilizados

Trompo:

Se utilizó un trompo Mezclador Eléctrico 1.14 HP, 210 L Bauker, para mezclar el concreto de forma homogénea. Debido a las condiciones en las que se encuentra el trompo se pierde cierta cantidad de mezcla en las paredes de este, pero esto se corrigió con el factor de rendimiento que se logró determinar; factor de rendimiento de 1.2121.

Figura 15. Trompo del LEM de la UNC.



Figura 16. Especificaciones del trompo.

Modelo	XR-PCM270
Clase eléctrica	II
Voltaje (V)	220
Frecuencia	60
Potencia máxima (W / Hp)	850/1.14
Capacidad volumétrica tambor (Lt / Gal)	210/55
Carga máximo por mezcla (Kg/b)	180/395
Diámetro de entrada tambor (cm / in)	44.5/17.5
Velocidad de rotación tambor (/min)	35
Velocidad de rotación motor (/min)	3400
Fecha de fabricación	

Below the table, there are four safety icons: a person wearing safety glasses, a person using a power tool, a warning triangle with an exclamation mark, and a square symbol.

Moldes:

Los moldes utilizados son los indicados en la norma ASTM C31 de 6" x12", se utilizaron 15 moldes diarios los cuales se cubrieron internamente con aceite de cocina para poder retirar las probetas de concreto sin dificultad alguna.

Figura 17. *Moldes para probetas 6"x12".*



Badilejo:

Para alisar la cara superior de la probeta luego de enrasar.

Pisón:

Barra de acero redondeada utilizada para compactar la mezcla del concreto, de dimensiones; diámetro de 5/8" y 50cm de largo (ASTM C31, 2010)

Baldes

Baldes de aceite de 20 litro utilizados para pesar el material exacto a emplear en el diseño de mezclas; se utilizó un balde para el agua, otro balde para el cemento, otro balde para el agregado fino y otro balde para el agregado grueso.

Balanza

Utilizada para medir la cantidad de material a emplear en la mezcla de concreto, según se obtuvo del diseño de mezclas. Capacidad máxima 30 Kg, precisión 1g.

Figura 18. Balanza del LEM de la UNC.



Carretilla

Usada para vaciar la mezcla del trompo y de este modo hacer más fácil la manipulación de la mezcla al colocarla a los moldes; se utilizó una carretilla de 5 pies cúbicos del laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.5 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la investigación

3.5.1 Ensayo de agregados

Los resultados de los ensayos realizados a los agregados para la fabricación de probetas de concreto se muestran en la siguiente tabla y gráficos:

Tabla 15. Resumen de las propiedades de los agregados.

AGREGADO	FINO	GRUESO
PERFIL		ANGULAR
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1509.39	1232.88
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1616.83	1405.99
Peso específico (kg/m ³)	2314.16	2072.39
Módulo de fineza	2.82	
TMN		½"
% absorción	6.18	3.22
%W	4.16	1.62

Figura 19. Curva granulométrica del agregado grueso.

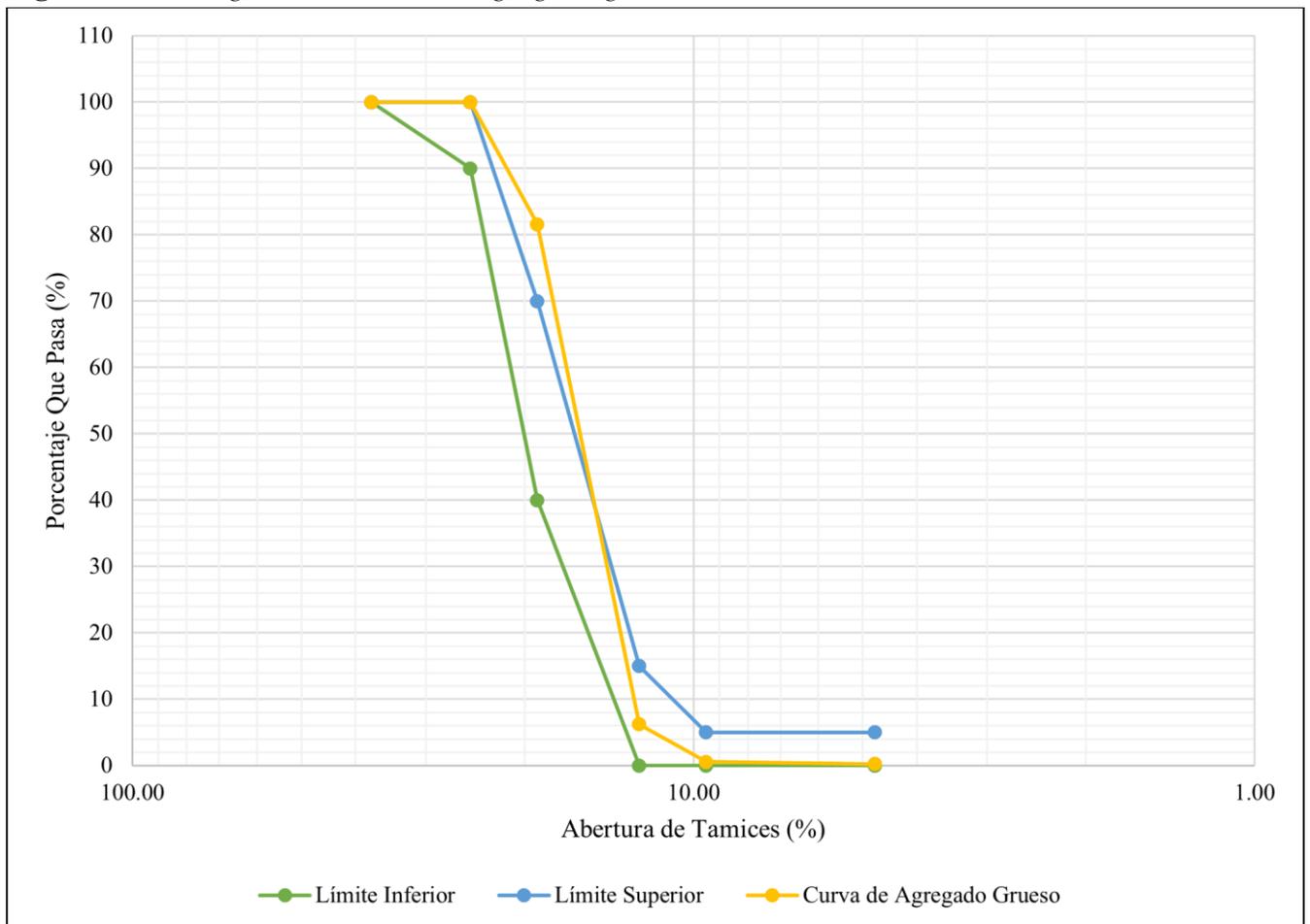
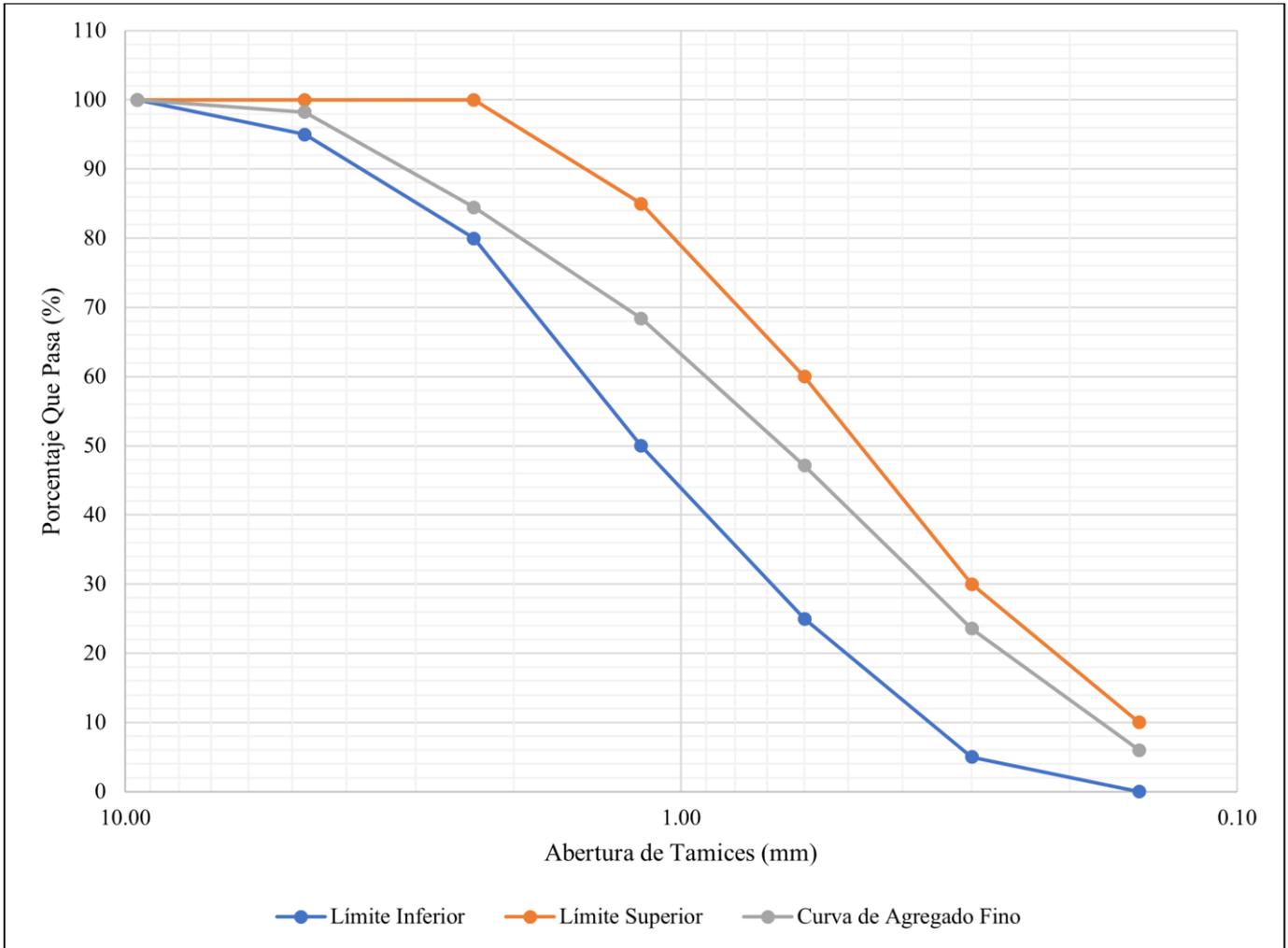


Figura 20. Curva granulométrica del agregado fino.



Módulo de Finura	2.82
-------------------------	-------------

Según ASTM C33
2.3 < MF < 3.1

3.5.2 Diseño de mezclas

Se presentan las proporciones obtenidas con el diseño de mezclas ACI para la elaboración de un 1 m³ y una probeta cilíndrica de 6"x12" de concreto.

Tabla 16. *Proporciones para 1m³ de concreto.*

Para 1m ³	
Peso del cemento (kg)	386.82
Peso del agua (kg)	241.3127
Peso del agregado grueso (kg)	782.9638
Peso del Agregado fino (kg)	632.8088

Tabla 17. *Proporciones para el volumen de una probeta.*

6" x 12" (0.0556m ³)	
Peso del cemento (kg)	2.15
Peso del agua (kg)	1.3416
Peso del agregado grueso (kg)	4.3532
Peso del Agregado fino (kg)	3.5184

3.5.3 Ensayo a la compresión axial

Se realizó el ensayo a la compresión axial de las probetas de concreto en la maquina universal del laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, obteniendo los siguientes resultados:

Grupo A (Probetas sin daño)

Tabla 18. *Resistencia de probetas sin daño.*

Probeta	Resistencia (kg/cm ²)
1	290.54
2	285.06
3	293.83
4	296.02
5	287.80
6	291.64
7	288.50
8	291.89
9	286.96
10	292.84
11	293.89
Promedio	290.82
Desviación estándar	3.38

Grupo B (Probetas dañadas)

Tabla 19. Resistencia del modelo 1 Grupo B.

Probeta	Resistencia (kg/cm ²)
1	274.10
2	268.61
3	260.39
4	263.13
5	270.26
Promedio	267.30
Desviación estándar	5.52

Tabla 20. Resistencia del modelo 2 Grupo B.

Probeta	Resistencia (kg/cm ²)
1	211.06
2	200.09
3	202.83
4	208.32
5	206.12
6	208.32
Promedio	206.12
Desviación estándar	4.03

Grupo C (Probetas reparadas)

Tabla 22. Resistencia del modelo 1, grupo C.

Probeta	Resistencia (kg/cm ²)
1	301.51
2	296.03
3	290.55
4	298.76
5	306.99
Promedio	298.77
Desviación	6.13

Tabla 21. Resistencia del modelo 2, grupo C.

Probeta	Resistencia (kg/cm ²)
1	301.51
2	306.99
3	296.03
4	304.25
5	294.93
6	300.74
Promedio	300.74
Desviación	4.65

Tabla 23. Resumen de las resistencias promedios obtenidas de todas las probetas.

	Grupo A (sin daño) kg/cm ²	Grupo B (dañadas) kg/cm ²	Grupo C (reparadas) kg/cm ²
MODELO 1	290.82	267.303	298.769
MODELO 2	290.82	206.123	300.74

Figura 21. Resistencia a compresión axial del modelo 1 (kg/cm²).

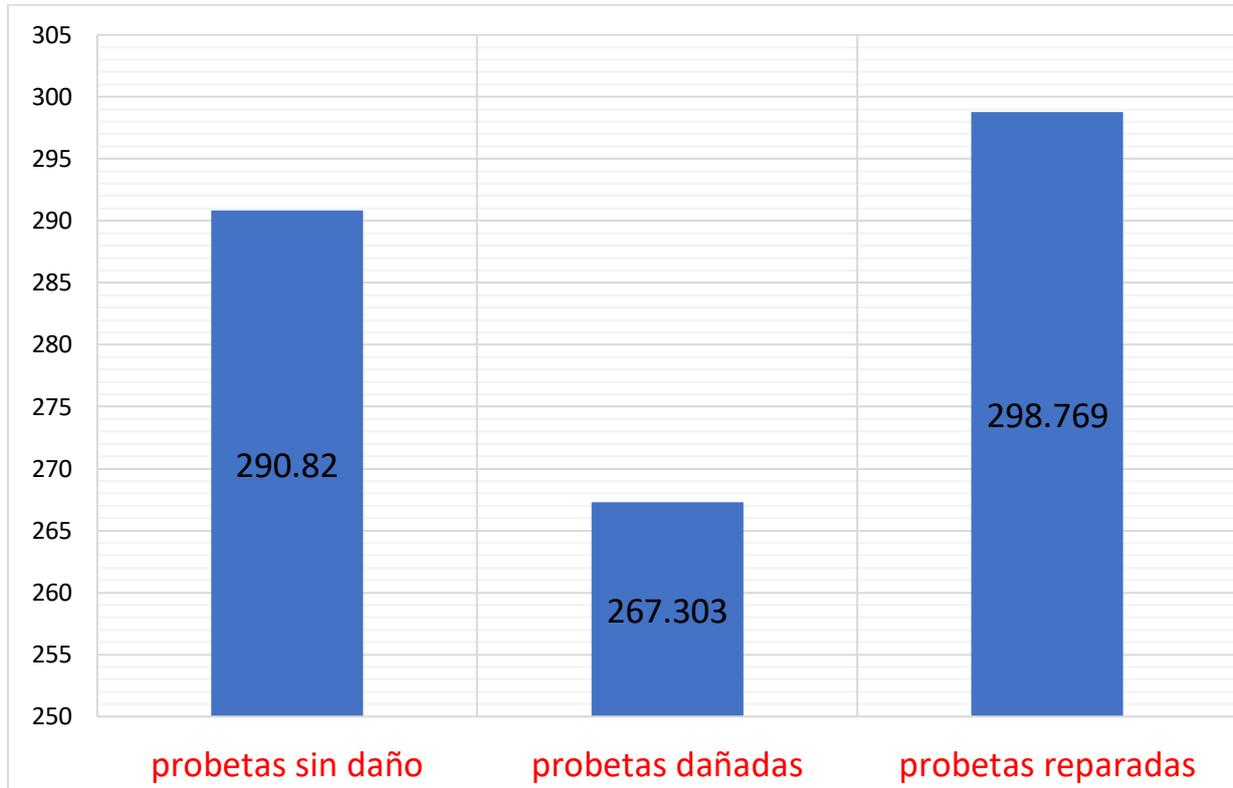
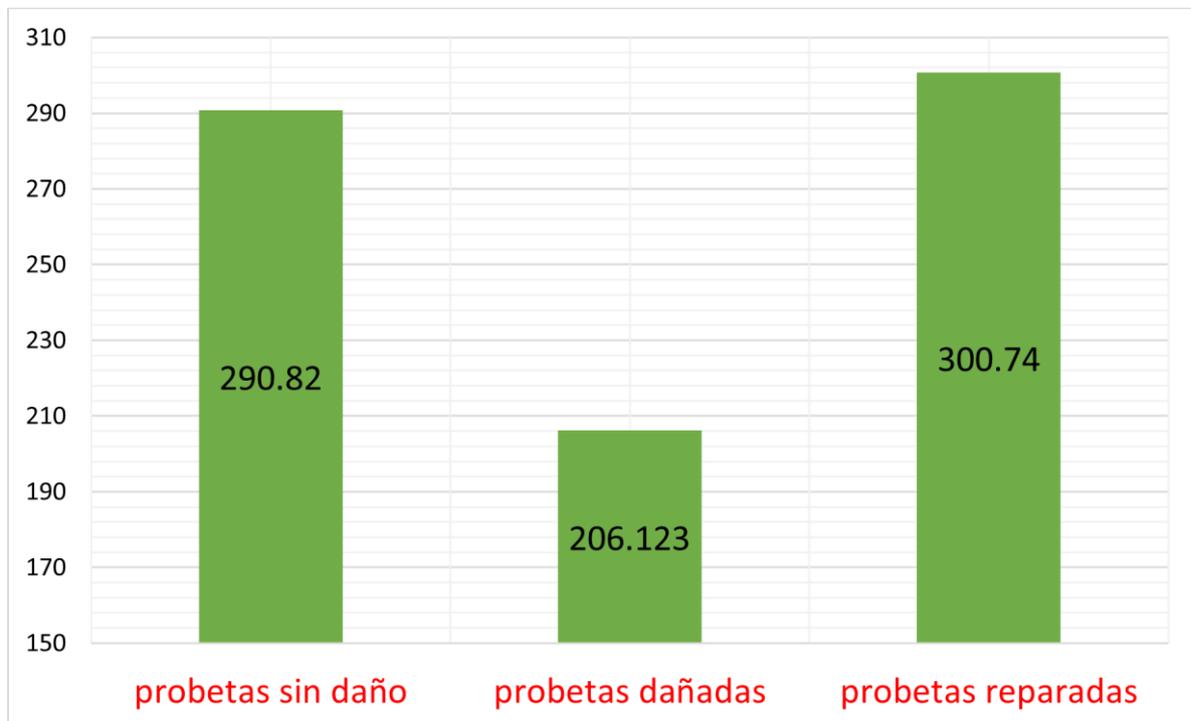


Figura 22. Resistencia a compresión axial del modelo 2 (kg/cm²).



CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Grupo A (sin daño)

A este grupo de probetas no se les ocasionó cangrejas o espacios vacíos. La resistencia requerida para el concreto es de 210 kg/cm^2 tabla 24 (página 78), haciendo uso de la tabla 25 (página 79) la resistencia de diseño es de 296.68 kg/cm^2 ; el promedio de las resistencias a la compresión axial de este grupo es de 290.82 kg/cm^2 , esta última debería ser la resistencia de las probetas B y C si no tuvieran daño. Puede verse los resultados en la tabla 18 (página 56).

Grupo B (dañadas)

A este grupo de probetas se les ocasionó cangrejas o espacios vacíos con moldes de Tecnopor, se fabricaron dos modelos de probetas: Modelo 1 y Modelo 2.

La resistencia requerida para el concreto es de 210 kg/cm^2 tabla 24 (página 78), haciendo uso de la tabla 25 (página 79) la resistencia de diseño es de 296.6 kg/cm^2 , llegando en la práctica alcanzar una resistencia de 290.82 kg/cm^2 , esta última es la resistencia que tendría este grupo B si no tuvieran daño.

- ✓ La Resistencia de estas probetas en el modelo 1 baja de 290.82 kg/cm^2 a 267.303 kg/cm^2 .
- ✓ La Resistencia de estas probetas en el modelo 2 baja de 290.82 kg/cm^2 a 206.123 kg/cm^2 .

Tiene sentido que en el modelo 2 baje más la resistencia que en el modelo 1, debido a la disminución del área transversal ocasionado por un mayor número de vacíos o cangrejas.

Puede verse los resultados en las tablas 19, 20 (página 57).

Grupo C (reparadas)

A este grupo de probetas se les realizo cangrejas o espacios vacíos con moldes de Tecnopor, se fabricaron dos modelos de probetas: Modelo 1 y Modelo 2.

La resistencia requerida para el concreto es de 210 kg/cm^2 tabla 24 (página 78), haciendo uso de la tabla 25 (página 79) la resistencia de diseño es de 296.68 kg/cm^2 , llegando en la práctica alcanzar una resistencia de 290.82 kg/cm^2 .

La resistencia de los modelos 1 y 2 probetas sin reparar, lo tenemos en el apartado anterior

Modelo 1 = 267.303 kg/cm^2

Modelo 2 = 206.123 kg/cm^2

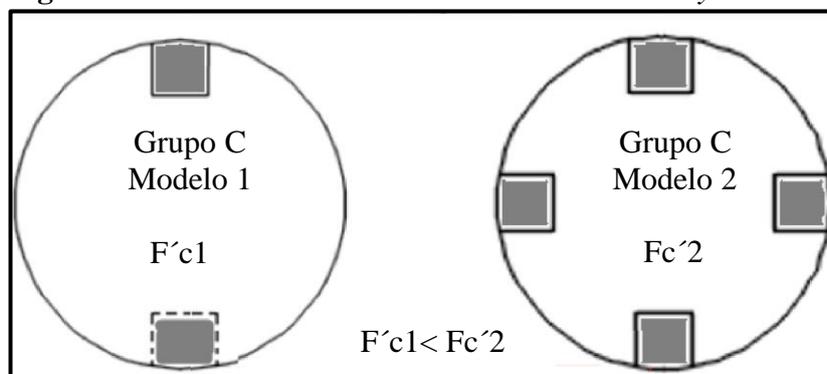
Luego de la reparación con SikaRep-500 se tiene los siguiente:

- ✓ La Resistencia del modelo 1 sube de 267.303 kg/cm^2 a 298.769 kg/cm^2 . $\Delta = 31.46 = 11.77\%$
- ✓ La Resistencia del modelo 2 sube de 206.123 kg/cm^2 a 300.74 kg/cm^2 . $\Delta = 94.62 = 45.9\%$

De lo anterior se podría deducir dos puntos:

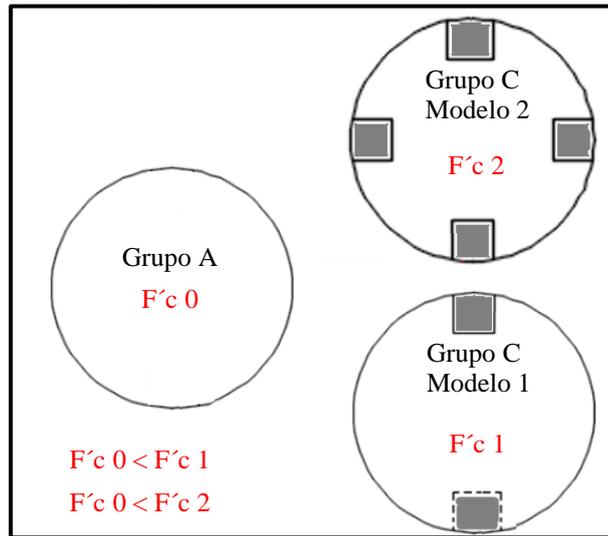
- Que, a más área reparada, más incrementará la resistencia a la compresión axial del elemento de concreto.

Figura 23. Secciones transversales de los modelos 1 y 2.



- Que el elemento de concreto reparado con SikaRep-500 alcanza una resistencia mayor que la resistencia del concreto que no tiene daño.

Figura 24. comparación de la resistencia del grupo A y grupo C.



De la gráfico anterior y de la tabla 23 comparando la resistencia del Grupo A (probetas sin daño) con la del grupo C (probetas reparadas), observaremos la variación de la resistencia, para la afirmación ó refutación de la hipótesis:

Modelo 1:

290.82 kg/cm² (sin daño) → 298.769 kg/cm² (reparadas), tenemos una variación de:

$$(298.769 \text{ kg/cm}^2 - 290.82 \text{ kg/cm}^2) \times 100 / 290.82 \text{ kg/cm}^2 = 2.733\%$$

Modelo 2:

290.82 kg/cm² (sin daño) → 300.74 kg/cm² (reparadas), tenemos una variación de:

$$(300.74 \text{ kg/cm}^2 - 290.82 \text{ kg/cm}^2) \times 100 / 290.82 \text{ kg/cm}^2 = 3.411\%$$

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó promedio de las resistencias a la compresión axial de las probetas del grupo A (sin daño) y es 290.82Kg/cm^2 .

- ✓ Se determinó el promedio de las resistencias a la compresión axial de las probetas del grupo B (dañadas), obteniendo los siguientes resultados:
modelo 1 = 267.303Kg/cm^2 ; modelo 2 = 206.123 Kg/cm^2

- ✓ Se determinó el promedio de las resistencias a la compresión axial de las probetas del grupo C (reparadas), obteniendo los siguientes resultados:
modelo 1 = 298.769Kg/cm^2 ; modelo 2 = 300.74Kg/cm^2

- ✓ La variación de la resistencia del concreto reparado con SikaRep-500 respecto a la resistencia del concreto con daño es: en el modelo 1 de 11.77 % superior y en el modelo 2 de 45.9 % superior.

- ✓ La variación de la resistencia del concreto reparado con SikaRep-500 respecto a la resistencia del concreto sin daño es: en el modelo 1 de 2.733 % superior y en el modelo 2 de 3.411% superior; lo cual nos permite afirmar la hipótesis planteada en esta investigación.

5.2 RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda estudiar la reparación de concreto con SikaRep-500 en elementos sometidos a tracción o flexión.

En esta investigación se tuvieron dos modelos de probetas, modelo 1 y modelo 2, para futuras investigaciones se recomienda realizar más modelos de probetas (con diferente cantidad de vacíos), de este modo se pueda llegar a un promedio del porcentaje de reparación del SikaRep-500.

En esta investigación se hizo uso del mortero de reparación SikaRep-500; se recomienda para futuras investigaciones, hacer probetas con los diversos morteros de reparación existentes en el mercado peruano, como: SikaRep-Home, Topex, Z Grout Fino; evaluar y compara los resultados.

Se recomienda para futuras investigaciones, evaluar la adherencia del Sikadur32 Gel con respecto a otros puentes adherentes existentes en el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADI. (2023). ADI Perú: ocho de cada 10 casas son autoconstruidas y altamente vulnerables. adiperu.pe. <https://adiperu.pe/noticias/adi-peru-ocho-de-cada-10-casas-son-autoconstruidas-y-altamente-vulnerables/>

Cahumaca, G. (Ed.). (2014). Construcción Integral (Vol. 6, Número 17). Aceros Arequipa.

Casal, O. P. (2018). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN REPARADOS CON MORTEROS DE REPARACIÓN. Universidad politécnica de Madrid.

Kittl, P., & Goldschmidt, A. (2017). SOBRE LA CONSTITUCIÓN QUÍMICA DEL AGUA DE AMASADO Y LAS TEORÍAS DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, 27(168), 21–25. <https://doi.org/10.3989/mc.1977.v27.i168.1160>

Patiño-Murillo, J. A., Castro-Maldonado, J. J., Gutiérrez-Sandoval, Y. C., Leal-Santafé, J. I., & Hurtado-Figueroa, O. (2019). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE MUESTRAS DE MORTERO NATURAL SOMETIDAS A ESFUERZO DE COMPRESIÓN. Lámpakos (revista Descontinuada), 1(20), 22–28. <https://doi.org/10.21501/21454086.273>

Rodríguez, L. S. O., & Vásquez, Y. S. Q. (2020). ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE MORTERO TRADICIONAL Y MORTERO PREDOSIFICADO PARA LA REPARACIÓN DE PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN LA CIUDAD DE TRUJILLO 2020. Universidad Privada del Norte.

Souza, M. H., & de Souza, R. A. (2019). ANÁLISIS DE MORTEROS DE REPARACIÓN COMPUESTOS POR COPOLÍMEROS DE VINILO, PVA Y SBR. Revista ALCONPAT, 9(3), 277 - 287. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i3.330>

Lopez, E. R. (2010). CONCRETO, TOMO II: DISEÑO DE MEZCLAS. Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima – Perú.

NORMAS:

ASTM C117 (2006). Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 μ m (Nº 200) de los áridos minerales por el método de lavado.

ASTM C566-97 (1997). Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de los áridos por secado.

ASTM C127 (2001). Método estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso.

ASTM C128 (2001). Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción del agregado fino.

ASTM C136 (2006). Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos.

ASTM C29 (2017). Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e índice de huecos en los áridos.

ASTM C33 (1999). Especificación estándar para agregados para concreto.

ASTM C39 (2019). Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

ASTM C31 (2010). Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.

ACI 318-19. (2019). Requisitos de reglamento para concreto estructural.

Norma europea EN 1504. (2011). Guía simplificada ilustrada para todos los profesionales del sector de la reparación del hormigón.

Reglamento nacional de edificaciones, Norma E0.60 (2009). Concreto armado.

APÉNDICE

PANEL FOTOGRÁFICO

Ensayo de agregado

Figura 25. Cuarteo de agregado grueso.



Figura 26. Cuarteo de agregado fino.

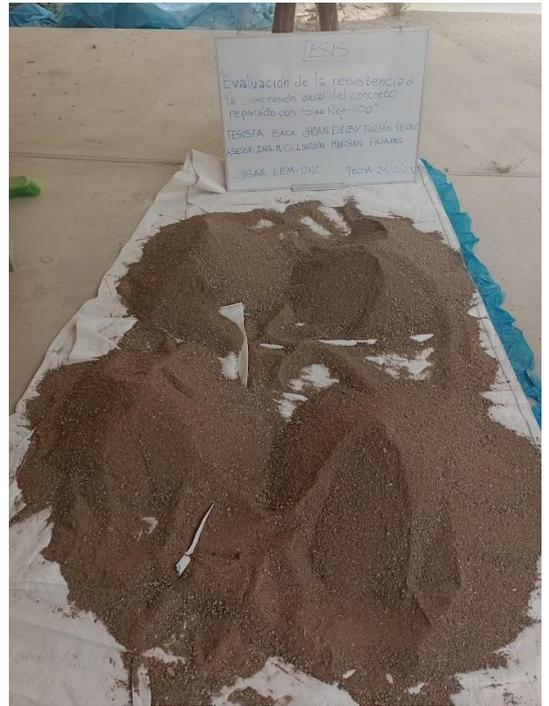


Figura 27. Pesado de picnómetro con material.



Figura 28. *Pesado de agregado grueso en canastillas con agua.*

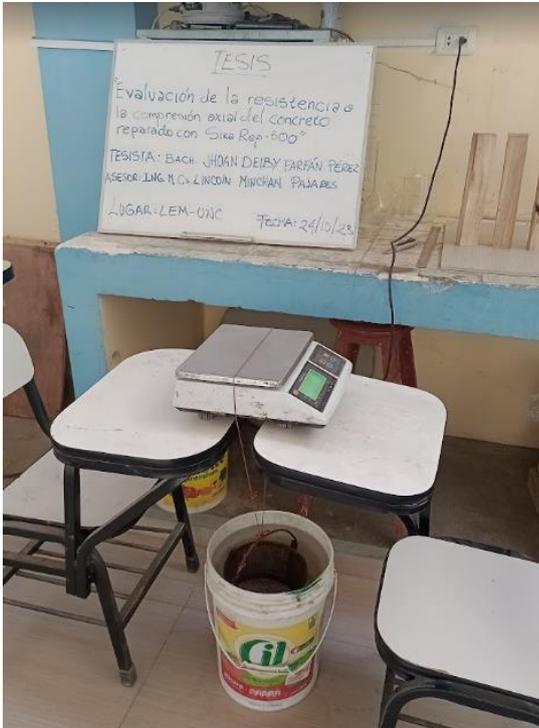


Figura 29. *Agregado grueso en condición de SSS.*



Figura 28. *Encontrando condición de SSS.*



Figura 29. Ensayo de Granulometría del agregado fino.



Figura 32. Pesado de muestra para granulometría de agregado grueso.



Figura 33. Pesado de tamices para ensayo de granulometría agregado grueso.



Figura 34. Para granulometría agregado grueso.



Figura 35. Pesado de agregado retenido en malla N1/2.

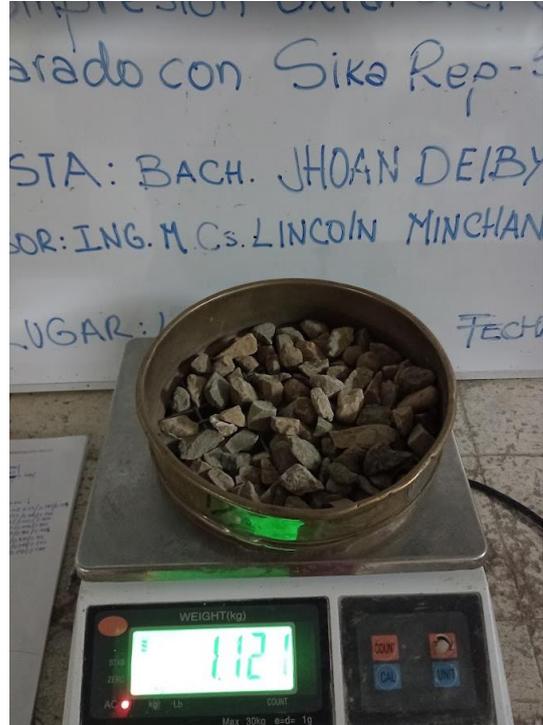


Figura 30. Pesado de agregado grueso, ensayo peso unitario seco suelto.



Figura 37. *Pesado de cemento para elaboración de probetas.*



Figura 38. *Pesado de agregado fino para elaboración de probetas*



Figura 31. *Cubos para crear los vacíos en las probetas.*



Elaboración de probetas

Figura 32. Herramientas utilizadas para la elaboración de probetas.



Figura 33. Mi persona en elaboración de probetas.



Figura 34. *Asentamiento de 4”.*



Figura 35. *Cubos que hicieron los vacíos en las probetas.*



Figura 36. *Probetas terminadas, y evitando la pérdida de agua.*



Reparación de probetas:

Figura 37. *Probetas dañadas listas para ser reparadas con SikaRep-500.*



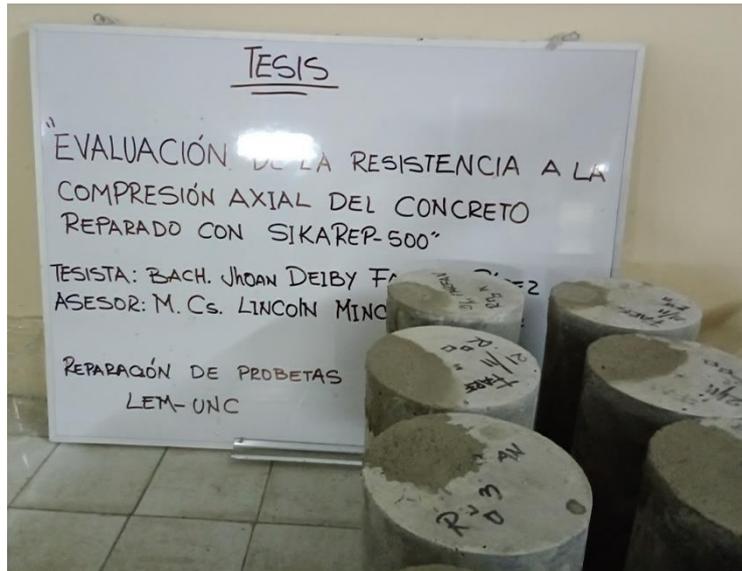
Figura 38. *Limpezas de cangrejas.*



Figura 39. *Pesado del SikaRep-500, en proporción como indica el fabricante.*



Figura 40. Probetas recién reparadas con SikaRep-500.



Ensayo a la compresión de probetas

Figura 41. Fotografía de mi persona y mi asesor de tesis.



Figura 42. Probeta después de haber sido ensayada a compresión.



Figura 43. *Probeta con cangrejera luego de ser ensayada a compresión.*



Figura 44. *Probeta justo después de fallar a compresión.*

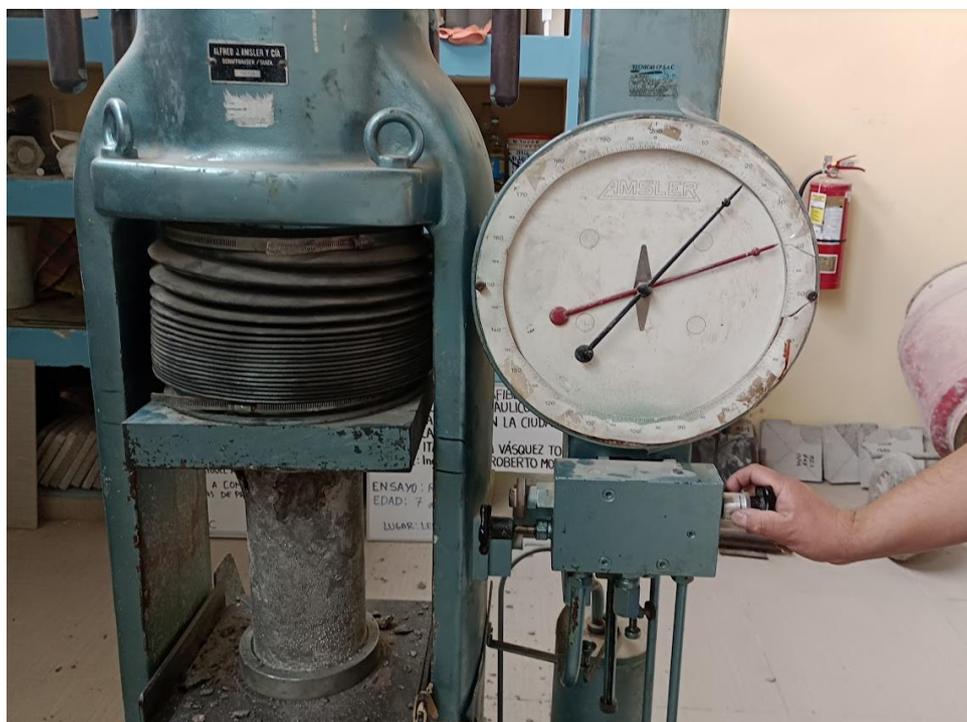


Figura 45. *Probeta que fallo en la maquina universal de ensayo de compresi3n.*



Figura 46. *Probeta con cangrejas sin reparar.*



Figura 47. *Probetas apiladas luego del ensayo a compresi3n, para ser desechadas.*



ANEXOS

HOJAS TÉCNICAS

Sika. (2019). HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO SIKAREP®-500.

Sika. (2019). HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO SIKADUR®-32 GEL

Cementos Pacasmayo. (2014). HOJA DE DATOS CEMENTO TIPO I.

Constancia del uso del LEM de la UNC.

TABLAS

f'_c mínimo para estructuras

Tabla 24. f'_c mínimo para estructuras.

Aplicación	f'_c Mínimo, MPa
General	17
Estructuras de cimentaciones asignadas a CDS A, B, o C	17
Cimentaciones para edificaciones residenciales y construcciones de muros de carga de aportamiento ligero de dos pisos o menos asignadas a CDS D, E o F	17
Cimentaciones de estructuras asignadas a CDS D, E o F diferentes de construcciones de muros de carga de aportamiento ligero de dos pisos o menos, asignadas a CDS D, E o F	21
Pórticos especiales a momento Muros estructurales especiales con refuerzo Grado 420 o Grado 550	21
Muros estructurales especiales con refuerzo Grado 690	35
Pilotes prefabricados no preesforzados hincados Pilotes preexcavados	28
Pilotes prefabricados preesforzados hincados	35

Fuente ACI 318 -19; pág. 367.

Resistencia promedio a la compresión requerida

Tabla 25. Resistencia promedio a la compresión requerida.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 20$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$20 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente Norma E.060 2009.

Análisis de tamizado – Agregado grueso

Tabla 26. Requerimiento de tamizado en agregado grueso.

Número De Tamaño	Tamaño Nominal (Tamices con abertura cuadrada)	Cantidades más finas que Cada Tamiz de Laboratorio (Abertura Cuadrada), Porcentaje Masa												
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 a 25 mm	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 a 19 mm	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 a 12.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 a 4.745 mm	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 a 2.36 mm	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	0 a 5

Fuente ASTM C33.

Análisis de tamizado – Agregado fino

Tabla 27. Límites granulométricos para agregado fino

Tamiz (Especificación E 11)	Porcentaje Pasando (%)
9.5 mm (¾ in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente ASTM C33.