

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



**“INFLUENCIA DE LA PIRITA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
CONCRETO $F'C=210 \text{ KG/CM}^2$ Y $F'C=240 \text{ KG/CM}^2$ EN CAJAMARCA - 2024”**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. VALENCIA PINEDO, Sebastián Alexander

ASESOR:

M. Cs. Ing. MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Bach. VALENCIA PINEDO, Sebastián Alexander
DNI: 76781737
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:
"INFLUENCIA DE LA PIRITA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C=210 KG/CM² Y F'C=240 KG/CM² EN CAJAMARCA - 2024"
6. Fecha de evaluación: 02/10/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 9%
9. Código Documento: oid: 3117:507043201
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 02/10/2025



FIRMA DEL ASESOR

Nombre: MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln
DNI: 26704942



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 02/10/2025 20:33:34-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *INFLUENCIA DE LA PIRITA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ Y $f'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ EN CAJAMARCA - 2024*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0665-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 07 de octubre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veinte días del mes de octubre de 2025**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *INFLUENCIA DE LA PIRITA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ Y $f'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ EN CAJAMARCA - 2024*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil **SEBASTIÁN ALEXANDER VALENCIA PINEDO**, asesorado por el M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *06* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *17* PTS *Diecisiete* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *17 (Diecisiete)* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *12:23* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Presidente

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

M. Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchan Pajares.
Asesor

COPYRIGHT © 2025 by
SEBASTIÁN ALEXANDER VALENCIA PINEDO
Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi padre, el Ing. Carlos Valencia, por ser mi mayor inspiración y apoyo a lo largo de este camino.

Gracias por tus palabras de aliento en los momentos difíciles, por tu ejemplo de esfuerzo y dedicación, y por estar siempre a mi lado, confiando en mis capacidades incluso cuando yo dudaba de ellas. Tu amor, sabiduría y sacrificio me han permitido llegar hasta aquí, y esta meta alcanzada es tanto tuya como mía.

De igual manera, expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Ing. Manuel Minchán, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Gracias por compartir su conocimiento, por sus valiosas observaciones y por motivarme a alcanzar un nivel más alto en mi trabajo. Su apoyo ha sido fundamental para superar los desafíos y completar esta investigación. Aprecio profundamente el tiempo y esfuerzo que dedicó para guiarme y por su compromiso con mi formación académica y profesional.

DEDICATORIA

A mi querido padre y amigo:

El Ing. Carlos Valencia Torres, por enseñarme que, con determinación, puedo alcanzar grandes metas y que ser un profesional es una ventaja valiosa en el mundo de hoy.

A mi querida madre y amiga:

La Sra. María Pinedo Ruiz, la persona más maravillosa, trabajadora y humilde que tengo en mi vida, y que da todo por los suyos sin esperar nada a cambio.

A mis hermanos:

José Carlos, Valeria Lizeth, Helionel Isaí, Benjamín Eliazer y Mary Arlette; por ser una fuente constante de fortaleza y motivación a lo largo de este camino. Gracias por su apoyo, por creer en mí y por recordarme siempre la importancia de la perseverancia y la unión.

Sebastián Alexander

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1. <i>Hipótesis general</i>	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.5. ALCANCES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5.1. <i>Alcances</i>	3
1.5.2. <i>Delimitaciones</i>	3
1.6. LIMITACIONES.....	4
1.7. OBJETIVOS	4
1.7.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.7.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6

2.1.	ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1.1.	<i>Antecedentes internacionales</i>	6
2.1.2.	<i>Antecedentes nacionales.....</i>	6
2.2.	BASES TEÓRICAS	7
2.2.1.	<i>Concreto</i>	7
2.2.2.	<i>Componentes del concreto tradicional.....</i>	8
2.2.3.	<i>Propiedades del concreto</i>	8
2.2.4.	<i>Minerales</i>	9
2.2.5.	<i>Pirita.....</i>	9
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		12
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	12
3.1.3.	<i>Ubicación del proyecto de investigación.....</i>	12
3.1.4.	<i>Ubicación de la cantera de estudio</i>	13
3.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE INVESTIGACIÓN.....	14
3.2.1.	<i>Tipo.....</i>	14
3.2.2.	<i>Nivel.....</i>	14
3.2.3.	<i>Diseño de investigación.....</i>	14
3.3.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	14
3.4.	TIEMPO EN QUE SE REALIZÓ ESTÁ INVESTIGACIÓN	14
3.5.	POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS	15
3.5.1.	<i>Población de estudio</i>	15

3.5.2.	<i>Muestra</i>	15
3.5.3.	<i>Unidad de análisis</i>	17
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	17
3.6.1.	<i>Técnicas</i>	17
3.6.2.	<i>Instrumentos</i>	17
3.7.	CANTERA DE ESTUDIO	17
3.8.	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO	17
3.8.1.	<i>Estudio de las características físicas y mecánicas</i>	17
3.8.2.	<i>Extracción y preparación de muestras</i>	18
3.8.3.	<i>Obtención de la muestra</i>	18
3.8.4.	<i>Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo</i>	20
3.8.5.	<i>Granulometría</i>	20
3.8.6.	<i>Masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario)</i>	25
3.8.7.	<i>Densidad relativa y absorción</i>	28
3.8.8.	<i>Desgaste o abrasión del agregado grueso</i>	31
3.9.	CARACTERÍSTICAS DEL MINERAL PIRITA	32
3.10.	CEMENTO UTILIZADO	33
3.11.	AGUA	33
3.12.	PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEZCLAS Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES	33
3.12.1.	<i>Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas</i>	33
3.12.2.	<i>Propiedades de los materiales a considerar para el diseño de mezclas</i>	34

3.12.3.	<i>Elaboración de la mezcla de prueba.</i>	35
3.12.4.	<i>Procedimiento realizado para el ajuste de las proporciones.</i>	36
3.12.5.	<i>Especímenes de concreto $f'c=210$ kg/cm², con adición pirita</i>	37
3.12.6.	<i>Especímenes de concreto $f'c=240$ kg/cm², con adición pirita</i>	38
3.12.7.	<i>Elaboración de los especímenes de concreto para el ensayo mecánico.</i>	40
3.12.8.	<i>Curado de los especímenes de concreto.</i>	42
3.13.	VARIABLES DE EVALUACIÓN DEL ESTUDIO.	43
3.13.1.	<i>Resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de concreto</i>	43
3.13.2.	<i>Desarrollo de la resistencia del concreto</i>	45
3.14.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	45
3.14.1.	<i>Propiedades de los agregados</i>	45
3.14.2.	<i>Diseño de mezclas</i>	46
3.14.3.	<i>Resistencia a la compresión</i>	47
3.14.4.	<i>Promedio de las resistencias a compresión del Grupo A: Probetas de concreto $f'c=210$ kg/cm²</i>	50
3.14.5.	<i>Promedio de las resistencias a compresión del Grupo B: Probetas de concreto $f'c=240$ kg/cm²</i>	51
3.14.6.	<i>Variación de las resistencias del Grupo A con respecto al concreto patrón</i>	52
3.14.7.	<i>Variación de las resistencias del Grupo B con respecto al concreto patrón</i>	55
3.14.8.	<i>Resumen de las variaciones de las resistencias</i>	58
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		61
4.1.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61

4.2.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	62
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		63
5.1.	CONCLUSIONES.....	63
5.2.	RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		65
APÉNDICES		68
ANEXOS.....		158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas de la pirita	11
Tabla 2. Ubicación de la realización del proyecto	12
Tabla 3. Ubicación de la cantera “Aguilar”	13
Tabla 4. Distribución de probetas de concreto	16
Tabla 5. Porción de muestra de campo requerida para los ensayos de laboratorio	19
Tabla 6. Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200.....	20
Tabla 7. Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	22
Tabla 8. Requisitos granulométricos del agregado fino	23
Tabla 9. Muestras requeridas para el ensayo de abrasión	31
Tabla 10. Tiempo permisible de tolerancia para edades del concreto	44
Tabla 11. Resumen de los ensayos de agregado.....	46
Tabla 12. Resumen de proporciones para diseño por m ³ en el concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	46
Tabla 13. Resumen de proporciones para diseño por m ³ en el concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$	47
Tabla 14. Resistencia del concreto patrón $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	47
Tabla 15. Resistencia del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 5%.....	47
Tabla 16. Resistencia del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 10%.....	48
Tabla 17. Resistencia del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 15%.....	48
Tabla 18. Resistencia del concreto patrón $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$	49
Tabla 19. Resistencia del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 5%.....	49
Tabla 20. Resistencia del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 10%.....	49
Tabla 21. Resistencia del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 15%.....	50
Tabla 22. Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	50
Tabla 23. Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$	51

Tabla 24. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino	52
Tabla 25. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino	53
Tabla 26. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino	54
Tabla 27. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino	55
Tabla 28. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino	56
Tabla 29. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino	57
Tabla 30. Variación de porcentaje, con respecto al concreto patrón $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	58
Tabla 31. Variación de porcentaje, con respecto al concreto patrón $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$	59
Tabla 32. Cálculo del peso específico del agua.....	68
Tabla 33. Cálculo del Factor F	68
Tabla 34. Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)	68
Tabla 35. Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)	69
Tabla 36. Peso Específico - ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021	69
Tabla 37. Absorción (%) ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021.....	69
Tabla 38 Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185.....	70
Tabla 39. Ensayo partículas < N° 200 para el Agregado Grueso	70
Tabla 40. Ensayo de Abrasión.....	70

Tabla 41. Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.....	71
Tabla 42. Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)	72
Tabla 43. Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)	72
Tabla 44. Peso Específico / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.	72
Tabla 45. Absorción (%) / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.	73
Tabla 46. Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185.....	73
Tabla 47. Ensayo partículas < N° 200 para el Agregado Fino	73
Tabla 48. Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.....	74
Tabla 49. Factor f_c según el nivel de obra.....	77
Tabla 50. Asentamiento según consistencia del concreto	77
Tabla 51. Aire atrapado según el tamaño máximo nominal.....	78
Tabla 52. Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.	79
Tabla 53. Relación agua/cemento dependiendo a la resistencia a la compresión	80
Tabla 54. Volumen del agregado grueso seco y compactado.....	81
Tabla 55. Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso	84
Tabla 56. Resultados de ensayo de a compresión de probetas de prueba con edad de 3 días	85
Tabla 57. Factor f_c según el nivel de obra.....	88
Tabla 58. Asentamiento según consistencia del concreto	88
Tabla 59. Aire atrapado según el tamaño máximo nominal.....	89
Tabla 60. Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.	90

Tabla 61. Volumen del agregado grueso seco y compactado.....	91
Tabla 62. Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso	94
Tabla 63. Propiedades físicas de la Pirita.....	96
Tabla 64. Factor f_c según el nivel de obra.....	101
Tabla 65. Asentamiento según consistencia del concreto	102
Tabla 66. Aire atrapado según el tamaño máximo nominal.....	102
Tabla 67. Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.	103
Tabla 68. Relación agua/cemento dependiendo a la resistencia a la compresión	104
Tabla 69. Volumen del agregado grueso seco y compactado.....	105
Tabla 70. Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso	108
Tabla 71. Resultados de ensayo de a compresión de probetas de prueba con edad de 3 días	109
Tabla 72. Factor f_c según el nivel de obra.....	112
Tabla 73. Asentamiento según consistencia del concreto	112
Tabla 74. Aire atrapado según el tamaño máximo nominal.....	113
Tabla 75. Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.	114
Tabla 76. Volumen del agregado grueso seco y compactado.....	115
Tabla 77. Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la realización del proyecto de investigación	12
Figura 2. Ubicación de la cantera “Aguilar”	13
Figura 3. Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	51
Figura 4. Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$	52
Figura 5. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino.....	53
Figura 6. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino.....	54
Figura 7. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino.....	55
Figura 8. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino.....	56
Figura 9. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino.....	57
Figura 10. Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino	58
Figura 11. Relación de la resistencia a la compresión del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y el porcentaje de adición de pirita	59
Figura 12. Relación de la resistencia a la compresión del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ y el porcentaje de adición de pirita	60
Figura 13. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso	71
Figura 14. Curva de distribución granulométrica del agregado fino	75

RESUMEN

La creciente demanda de materiales de construcción impulsa la búsqueda de alternativas sostenibles que optimicen el desempeño mecánico y reduzcan la dependencia de los agregados convencionales. La pirita, debido a su propiedad de resistencia, surge como un material prometedor para ser evaluado como aditivo en mezclas de concreto, bajo la hipótesis de que sus características naturales podrían influir positivamente en la resistencia a la compresión. La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la pirita en la resistencia a la compresión de concretos con resistencias de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$, a fin de valorar su viabilidad como aditivo alternativo en la sustitución parcial del agregado fino. Para ello, se elaboraron probetas cilíndricas con porcentajes de pirita del 5 %, 10 % y 15 % en volumen del agregado fino, evaluadas a los 7, 14 y 28 días, comparando los resultados con una mezcla patrón (0 % pirita). Los resultados evidenciaron que, en el caso de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la adición de 5 % y 10 % de pirita incrementó la resistencia en un 9.07 % y 11.15 %, respectivamente, mientras que con 15 % se produjo una disminución del 26.32 %. De manera similar, para $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvieron incrementos del 5.90 % y 9.05 % con 5 % y 10 % de pirita, en tanto que el 15 % ocasionó una reducción del 22.56 %. Se concluye que el uso de pirita en pequeñas proporciones puede mejorar las propiedades mecánicas del concreto incrementando en el caso de la resistencia a la compresión hasta en un 11.15%, mientras que en mayores cantidades genera un efecto negativo sobre la resistencia, disminuyéndolo en un 26.32%, por lo que no resulta recomendable. Estos hallazgos resaltan el potencial de la pirita como recurso local para materiales de construcción sostenibles, definiendo a su vez sus limitaciones para aplicaciones prácticas.

PALABRAS CLAVE: concreto, pirita, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The growing demand for construction materials drives the search for alternatives that enhance mechanical performance while reducing dependence on conventional aggregates. Pyrite, due to its inherent strength properties, emerges as a promising material to be evaluated as an additive in concrete mixtures, under the hypothesis that its natural characteristics could positively influence compressive strength. This research aimed to determine the influence of pyrite on the compressive strength of concretes with design strengths of $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ and $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$, in order to assess its feasibility as an alternative additive for the partial replacement of fine aggregate. Cylindrical specimens were produced with pyrite contents of 5 %, 10 %, and 15 % by volume of fine aggregate, tested at 7, 14, and 28 days, and compared with a control mix (0 % pyrite). The results showed that for $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, the addition of 5 % and 10 % pyrite increased strength by 9.07 % and 11.15 %, respectively, while 15 % led to a decrease of 26.32 %. Similarly, for $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$, increases of 5.90 % and 9.05 % were observed with 5 % and 10 % pyrite, whereas 15 % caused a reduction of 22.56 %. It is concluded that the use of pyrite in small proportions can improve the mechanical properties of concrete, increasing compressive strength by up to 11.15 %, whereas higher contents generate a negative effect, reducing strength by up to 26.32 %, and thus are not recommended. These findings highlight the potential of pyrite as a local resource for construction materials while defining its limitations for practical applications.

KEYWORDS: concrete, pyrite, compressive strength.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto se ha consolidado como uno de los materiales más empleados a nivel global dentro de la construcción civil, debido a su elevada resistencia a la compresión, su versatilidad en aplicaciones, su durabilidad frente a diversos factores externos y su bajo costo relativo. Esta combinación de propiedades lo convierte en un elemento esencial para la ejecución de obras de diferente magnitud, desde edificaciones hasta infraestructura de gran envergadura. Básicamente, se compone de cemento, agregados y agua, cuya adecuada dosificación permite obtener mezclas con un desempeño óptimo. No obstante, a esta composición tradicional pueden incorporarse materiales complementarios o aditivos que potencie cierta característica tal como lo es la resistencia mecánica, sin comprometer sus propiedades fundamentales (Neville A. M., 2011).

Considerando como una alternativa la incorporación de pirita en el concreto, surge la necesidad de evaluar su aprovechamiento debido a que, en muchas ocasiones, este mineral puede constituir un pasivo cuando se encuentra expuesto en depósitos o relaves mineros, generando procesos de oxidación que afectan al ambiente. Bajo un enfoque controlado, su uso en mezclas cementicias permitiría no solo estudiar su influencia en la resistencia a compresión, sino también dar valor a un recurso mineral que de otra manera quedaría sin utilización. Asimismo, la pirita posee una composición química particular (FeS_2), que al reaccionar en medios alcalinos puede liberar iones de hierro y azufre, los cuales tienen el potencial de modificar la microestructura de la pasta e influir en sus propiedades mecánicas (Li et al., 2025).

La incorporación de pirita en la mezcla de concreto como aditivo al agregado fino representa una alternativa para evaluar mejoras en su resistencia. Este tipo de adición podría influir en la reducción del consumo de agregados convencionales y, en consecuencia, en el costo total del material. Diversos estudios señalan que la presencia de minerales sulfurados,

como la pirita, puede generar modificaciones estructura de la mezcla o pasta, contribuyendo a cambios en sus propiedades mecánicas, como lo es la resistencia a la compresión.

Por ello, la presente investigación desarrollada en la ciudad de Cajamarca tiene como objetivo evaluar la influencia de la pirita en la resistencia a compresión del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$, incorporándola en el agregado fino en diferentes proporciones respecto a su volumen. Para ello, se elaboraron diseños de mezcla utilizando materiales alternativos que permitan optimizar el proceso constructivo, reducir costos en la producción del concreto y, al mismo tiempo, garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la NTP 339.033.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué porcentaje influye la adición de pirita en la resistencia a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ en Cajamarca - 2024”?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La adición de pirita influye en la resistencia a la compresión aumentándolo en un 25%, en promedio, para un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y en un 12.5%, para un concreto de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Es valioso comprender la influencia de la pirita en la resistencia a la compresión de un concreto 210 kg/cm^2 y 240 kg/cm^2 , por ello esta investigación contribuye en el conocimiento sobre el concreto utilizando minerales a los que no se le brinden la atención correspondiente, como viene a ser la pirita. Así mismo estos tipos de concreto son comparados con un concreto patrón en tiempo de fragua y resistencia a la compresión.

1.5. ALCANCES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Alcances

Esta investigación abarca la evaluación de la influencia de la adición de pirita en la resistencia a la compresión del concreto, con un porcentaje de adición del 5%, 10% y 15% con respecto al volumen del agregado fino, todo esto para obtener un enfoque en la resistencia a la compresión para concretos de 210 kg/cm² y 240 kg/cm². Se llevará a cabo un estudio de investigación experimental riguroso en un entorno controlado, con el objetivo de determinar la proporción óptima de pirita y comparar sus efectos usando un concreto patrón. Los resultados de esta investigación contribuirán al conocimiento científico en el rubro de la construcción, proporcionando nuevas perspectivas y datos valiosos para la mejora de materiales de construcción.

1.5.2. Delimitaciones

- La investigación se centró exclusivamente en la evaluación de una propiedad mecánica del concreto: la resistencia a la compresión axial.
- Se utilizó cemento Portland Tipo I como único tipo de conglomerante, y los agregados empleados fueron extraídos del río Chonta, específicamente de la cantera Aguilar.
- Las resistencias de diseño analizadas fueron de 210 kg/cm² y 240 kg/cm², elaborándose las probetas en un único momento de vaciado.
- La pirita fue incorporada en proporciones del 5%, 10% y 15% respecto al volumen del agregado fino.
- El desarrollo total de la investigación se extendió por aproximadamente ocho meses, realizándose la fase experimental en el laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

1.6. LIMITACIONES

- No se ha considerado la clasificación mineralógica de la pirita utilizada, ni tampoco se ha realizado un análisis químico específico que permita identificar con precisión su composición y pureza.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. *Objetivo general*

- Determinar cuánto influye la adición de pirita en la resistencia a la compresión en concretos $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$.

1.7.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de un concreto con diseño de resistencia $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ al que se le ha adicionado un 5%, 10% y 15% de pirita respecto al volumen del agregado fino, para compararla con un concreto patrón.
- Determinar la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de un concreto con diseño de resistencia $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ al que se le ha adicionado un 5%, 10% y 15% de pirita respecto al volumen agregado fino, para compararla con un concreto patrón.

1.8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Este capítulo incluye el planteamiento del problema, su fundamentación, su formulación y la justificación; de la misma manera se hace presentes los alcances y limitaciones de la investigación, así como los objetivos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Este capítulo contiene los antecedentes teóricos de la investigación internacionales, nacionales y locales. También contiene las bases teóricas y definición de términos básicos relacionado con los temas tratados en la investigación.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo contiene la ubicación geográfica, época de la investigación, la metodología utilizada, las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos y el procedimiento planteado para control la calidad del encofrado.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realiza la presentación de los resultados obtenidos del capítulo anterior, describiéndolos, explicándolo y comparándolos.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Establece las conclusiones en función a los objetivos planteados y las recomendaciones con la finalidad de seguir ampliando aspectos que ya no fueron abarcados en la presente tesis.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

Comprende las citas bibliográficas que han apoyado a la investigación.

APÉNDICE

Parámetros de diseño del agregado

Recolección de datos y diseño de mezcla.

ANEXOS

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se refiere a las investigaciones que exponen teorías o ideas de la tesis de investigación, entre las que tenemos:

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Kurt et al. (2025) desarrollaron la investigación titulada “*Pyrite effect: correlation between compressive strength and durability properties for concrete samples*”, donde analizaron el efecto de la sustitución parcial del agregado fino por pirita proveniente de minas de cobre, en porcentajes de 2.5% y 7.5%, sobre la resistencia a la compresión y la absorción de agua en especímenes cúbicos de 100 mm curados durante 28 días. Los resultados evidenciaron que, conforme aumentaba la incorporación de pirita, la resistencia a la compresión se reducía significativamente, alcanzando hasta un 21.32% de disminución respecto al concreto patrón, mientras que la absorción de agua mostró un ligero incremento del 0.41%. Estos hallazgos destacan la influencia negativa de la pirita en la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto, indicando que incluso pequeñas proporciones pueden alterar sus propiedades físicas. Este antecedente resulta de gran valor comparativo con el presente estudio, ya que si bien el contexto experimental es distinto —pues en la tesis se evaluaron concretos de $f'_c=210$ kg/cm² y $f'_c=240$ kg/cm² con adiciones de 5%, 10% y 15% de pirita, elaborados con probetas cilíndricas—, ambos trabajos coinciden en que el empleo de pirita como aditivo presenta un comportamiento dual: en bajos porcentajes puede mejorar o estabilizar algunas propiedades, pero en mayores proporciones tiende a reducir la resistencia, lo que abre una línea de discusión sobre los límites seguros de incorporación de este mineral en mezclas de concreto.

2.1.2. *Antecedentes nacionales*

En el ámbito nacional, Cadillo Gamarra & Mozo Lizarraga (2021) en su investigación titulada “Influencia de la adición del mineral pirita en la resistencia a la compresión, resistencia

a la flexión y asentamiento de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para cimentaciones”, evaluaron el comportamiento del concreto al sustituir el agregado fino por pirita en proporciones del 5%, 10% y 15%. Para el desarrollo experimental, se utilizó cemento Portland Tipo I y agregados provenientes de la cantera Quebrada El León, elaborándose un total de 48 probetas cilíndricas de $10 \times 20 \text{ cm}$ ensayadas a los 3, 7 y 28 días, además de 16 vigas prismáticas de $150 \times 150 \text{ mm}$ ensayadas a 14 y 28 días. La investigación, con un diseño cuasi-experimental y muestreo probabilístico, demostró que la incorporación de pirita en bajos porcentajes tiene un efecto positivo en las propiedades mecánicas, siendo el 5% la dosificación más favorable, ya que permitió alcanzar una resistencia a la compresión de 454 kg/cm^2 a los 28 días, superior al diseño patrón. Estos resultados confirman que la pirita, en proporciones moderadas, puede actuar como un aditivo beneficioso para mejorar tanto la resistencia a la compresión como a la flexión del concreto, aportando evidencia empírica que refuerza la pertinencia de seguir investigando este mineral en distintos contextos y condiciones estructurales.

2.2. BASES TEÓRICAS

Constituyen el fundamento teórico sobre los principales enunciados que fundamentan el problema.

2.2.1. Concreto

El concreto - también conocido como hormigón - es el material de construcción más utilizado a nivel global. Su versatilidad, resistencia y capacidad de adaptarse a diferentes condiciones hacen que esté presente en casi todas las infraestructuras modernas: viviendas, túneles, puentes o represas. El concreto es un material compuesto que se forma al mezclar cemento, agua, agregados (arena y grava) y aditivos. Su función principal es ofrecer una estructura sólida y resistente para obras de diversa escala. Es un material moldeable en estado fresco y de gran resistencia una vez endurecido. Esta combinación lo hace ideal para construcciones que demandan durabilidad y estabilidad estructural. aire (DOMAT SAS, 2025).

2.2.2. Componentes del concreto tradicional

2.2.2.1. Cemento Portland. El cemento Pórtland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda (NTP 334.009, 2005)

2.2.2.2. Agua. El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento generando el proceso de hidratación, que desencadena una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buen uso se convierte en el parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del concreto en la aplicación (Osorio, 2022b)

2.2.2.3. Agregado. Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.011. Se les llama también áridos (NTP 400.011, 2013)

Agregado grueso. Agregado grueso retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de roca (NTP 400.011, 2013)

Agregado fino. Agregado extraído de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5mm (3/8 pulgadas) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 (NTP 400.011, 2013).

2.2.3. Propiedades del concreto

2.2.3.1. Resistencia. La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. La resistencia es considerada como una de las más importantes propiedades del concreto endurecido, siendo la que generalmente se emplea para la aceptación o rechazo del mismo. La resistencia del concreto está principalmente determinada por la cantidad neta del agua empleada por unidad de cemento, es

decir, la relación agua cemento de la mezcla, siendo mayores las resistencias conforme dicha relación se hace menor (Osorio, 2022a)

2.2.3.2. Resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi). Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada ($f'c$) para una estructura determinada (Cemex, 2019)

2.2.4. *Minerales*

Un mineral es un cuerpo producido por procesos de naturaleza inorgánica, con una composición química característica y una estructura cristalina, que generalmente suele presentarse en formas o contornos geométricos. Se encuentran en formas muy diversas en la naturaleza ya que pueden ser de un sólo elemento, como el azufre nativo, oro, plata, cobre, o una combinación de varios, tal es el caso de algunos compuestos químicos como el cuarzo, que está formado por silicio y oxígeno, otro ejemplo de estos últimos es la carnotita, mineral del que se obtiene el elemento uranio, ya que contiene cinco elementos básicos: potasio, uranio, oxígeno, vanadio e hidrógeno (Servicio Geológico Mexicano, 2025)

2.2.5. *Pirita*

2.2.5.1. Composición y origen de la pirita. La pirita es un mineral del grupo de los sulfuros, cuya fórmula química es FeS₂ (Sulfuro de hierro). Se encuentra en una amplia variedad de formaciones geológicas, desde depósitos sedimentarios hasta vetas hidrotermales. Consta de un 53,48% de azufre y un 46,52% de hierro, lo que le confiere a veces los nombres de Pirita de Hierro o Pirita de Azufre (La Mina de Plata, 2005).

El nombre “Pirita” proviene de la raíz griega *pyr*, que significa fuego. Esto se debe a que, cuando se frota con metales, emite chispas, lo cual intrigaba al mundo antiguo y le otorgó su nombre distintivo (La Mina de Plata, 2005).

El brillo metálico de la pirita se debe a su capacidad para reflejar la luz de manera uniforme en todas las direcciones. Esto es resultado de la densa estructura atómica y la disposición regular de los átomos en la red cristalina, lo que permite una reflexión de la luz muy similar a la de otros metales. Este brillo metálico es lo que hace que la pirita se asemeje al oro (La Mina de Plata, 2005).

La pirita es también conocida como “el oro de los tontos” o “el oro de los pobres” debido a su gran parecido con el oro. Su color amarillo latón pálido y su brillo metálico pueden engañar fácilmente a quienes no están familiarizados con sus diferencias químicas y físicas con respecto al oro (La Mina de Plata, 2005).

2.2.5.2. Propiedades físicas. La pirita es insoluble en agua y se vuelve magnética cuando se calienta. Su apariencia es comúnmente de color amarillo latón pálido, con rayas negra-verduzca a negra-marrón. A diferencia de otros minerales, no posee transparencia. Sistema cristalino y formaciones espectaculares. La pirita tiene un sistema cristalino cúbico, lo que da lugar a formaciones cristalinas muy bellas y espectaculares. Entre las más conocidas se encuentran el cubo, octaedro, piritoedros (doce caras pentagonales) y, en raras ocasiones, el icosaedro (La Mina de Plata, 2005).

2.2.5.3. Usos y aplicaciones. A pesar de ser conocida como “el oro de los tontos”, la pirita tiene diversos usos y aplicaciones en la industria. En el pasado, se utilizó como fuente de ignición en armas de fuego de chispa y para la obtención de ácido sulfúrico. Hoy en día, se emplea principalmente en la producción de ácido sulfúrico y como mena de hierro, además de ser un mineral apreciado por coleccionistas y amantes de la geología (La Mina de Plata, 2005).

Tabla 1.*Propiedades físicas de la pirita*

Propiedad	Valor
Formula polinómica	FeS ₂ (Sulfuro de hierro)
Color	Amarillo latón a marrón dorado
Brillo	Metálico
Sistema cristalino	Cúbico
Transparencia	Opaco
Hábito cristalino	Cristales cúbicos, octaedros, dodecaedros
Dureza	6 – 6.5 en la escala de Mohs
Densidad	4.9 – 5.2 g/cm ³
Punto de fusión	1,177 °C
Punto de ebullición	1,390 °C
Solubilidad	Insoluble en agua
Magnetismo	Ferromagnético
Composición elemental	Hierro (46.6%), azufre (53.4%)

Nota. *Obtenido de Mina de plata, 2025*

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

3.1.3. Ubicación del proyecto de investigación

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado en el edificio 1C, en el distrito de Cajamarca, provincia y departamento de Cajamarca.

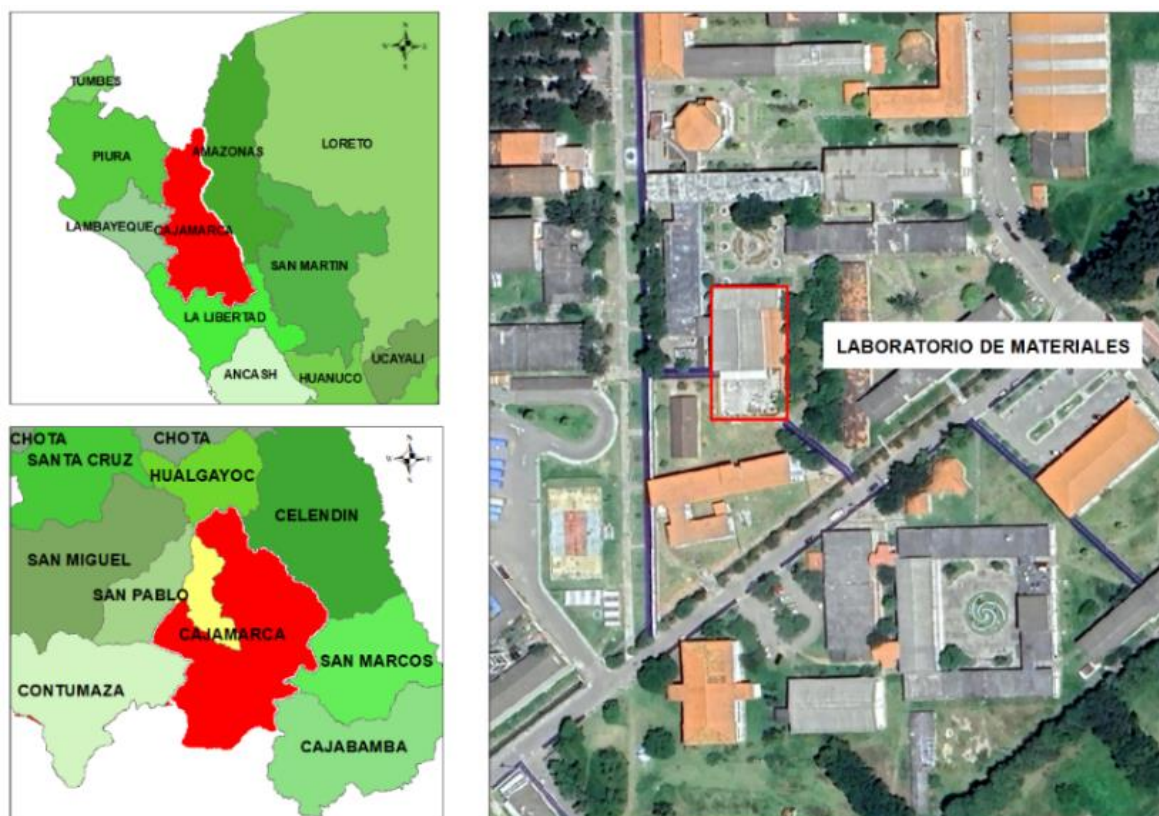
Tabla 2.

Ubicación de la realización del proyecto

UBICACIÓN DE LA ZONA DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO				
LUGAR	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES UNC			
	Av. María Octavila Sánchez Novoa, Cajamarca 06003			
COORDENADAS	COORDENADAS SEXAGESIMALES	COORDENADAS GEOGRAFICAS	COORDENADAS UTM	
	Latitud: 7°10'01.70"	Latitud: -7.16714	X: 776623	HUSO: 17
	Longitud: 78°29'43.41"	Longitud: -78.49539	Y: 9207020	ZONA: S

Figura 1.

Localización de la realización del proyecto de investigación



3.1.4. Ubicación de la cantera de estudio

Se utilizó agregados de una cantera de río conocida como: Cantera “Aguilar”, ubicada en el trayecto que conecta Baños del Inca con Otuzco, kilómetros antes de llegar al viaducto conoció como “La Unión”.

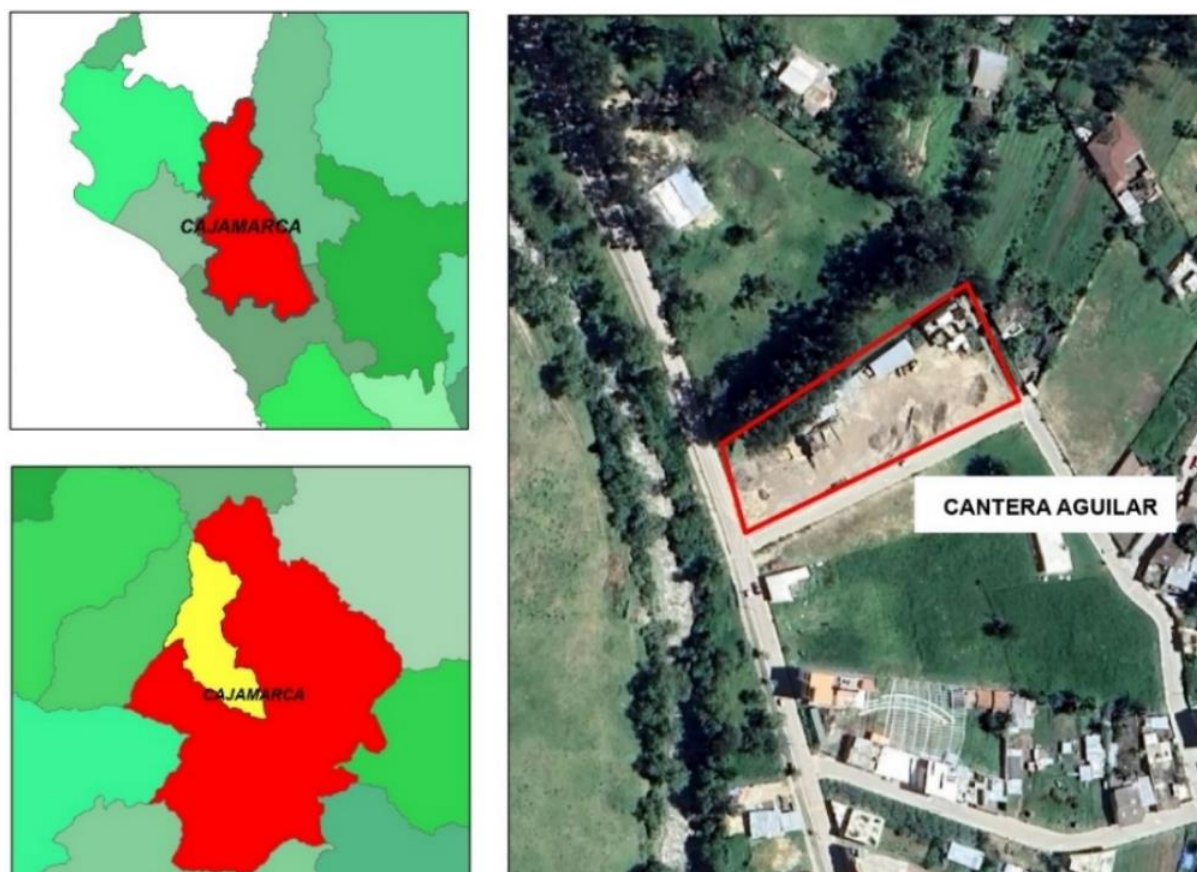
Tabla 3.

Ubicación de la cantera “Aguilar”

UBICACIÓN DE LA CANTERA “AGUILAR”				
LUGAR	CANTERA “AGUILAR”			
	Carretera Baños del Inca a Otuzco			
	COORDENADAS SEXAGESIMALES	COORDENADAS GEOGRAFICAS	COORDENADAS UTM	
COORDENADAS	Latitud: 7°9'0.34”	Latitud: -7.150095	X:779867	HUSO: 17
	Longitud: 78°27'58.08”	Longitud: -78.466132	Y: 9208888	ZONA: S

Figura 2.

Ubicación de la cantera “Aguilar”



3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo

La investigación a realizar será del tipo aplicado, debido a que se enfocará en aplicar el conocimiento existente sobre las propiedades de la pirita y el concreto para buscar resolver un problema específico en el campo de la construcción, como mejorar la resistencia a la compresión del concreto donde se implicará pruebas prácticas.

3.2.2. Nivel

La investigación a realizar será del nivel correlacional, su finalidad es buscar determinar la relación de interdependencia entre la variable independiente (% de adición de pirita) y la variable dependiente (resistencia a compresión), analiza datos cuantitativos que, al correlacionarse, permitirán observar patrones o tendencias en el comportamiento del concreto frente a la adición de pirita.

3.2.3. Diseño de investigación

La investigación a realizar será de diseño de investigación experimental, se utiliza para establecer una relación entre la causa y el efecto de una situación. Su finalidad es buscar la relación de interdependencia entre la variable independiente (pirita) y la dependiente (resistencia a compresión).

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La investigación a realizar utilizará el método de investigación cuantitativa, consiste en recolectar y analizar datos numéricos. Se identificará promedios y se obtendrá resultados generales de poblaciones y muestras.

3.4. TIEMPO EN QUE SE REALIZÓ ESTÁ INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló en octubre del 2024 hasta abril del 2025; en un periodo de tiempo de 7 meses, incluido ensayo e informes.

3.5. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS

3.5.1. Población de estudio

La población está conformada por las probetas cilíndricas de concreto tradicional y probetas de concreto de 6" de diámetro y 12" de altura; considerando para los casos resistencia de diseño $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$, con edades diferentes de 7, 14 y 28 días

3.5.2. Muestra

Para la investigación se tendrá un total de 96 probetas, de estas, para la selección de la muestra se ha empleado un muestreo probabilístico teniendo 36 probetas en pruebas con pirita para un concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, 36 probetas en pruebas con pirita para un concreto de $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ y probetas para el concreto patrón, 12 para un concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y 12 para un concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con el fin de determinar resultados con un promedio más confiable.

Se considera un total de 96 unidades de probetas de concreto, como muestra para la investigación determinados de la siguiente manera:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2}$$

Se justifica el tamaño de las muestras mediante la siguiente fórmula para hallar el tamaño de la muestra:

Donde:

n: Tamaño de muestra buscado

Z_{α} : Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

p: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q: Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

e: Error de estimación máximo aceptado

Se proponen valores por el investigador:

$$Z\alpha = 1.96 \quad \rightarrow \quad \text{NC} = 95\% \text{ de confianza}$$

$$p = 90\% \quad q = 10\% \quad e = 6\%$$

Reemplazando en la fórmula:

$$n = \frac{1.65^2 * 0.90 * 0.10}{0.06^2}$$

Se obtiene: $n=96.04$ probetas ≈ 96 probetas (aproximando)

Se detalla la cantidad que se usó en los ensayos, en la tabla 3, en totales parciales.

Tabla 4.

Distribución de probetas de concreto

TIPOS DE PROBETAS	CON O SIN PIRITA	f'c (KG/CM ²)	CANTIDAD DE PROBETAS POR EDAD DE ROTURA								
			7 días			14 días			28 días		
			5% piritita	10% piritita	15% piritita	5% piritita	10% piritita	15% piritita	5% piritita	10% piritita	15% piritita
Probetas con piritita de concreto de f'c=210 KG/CM ²	Con piritita	210	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Probetas patrón de concreto de f'c=210 KG/CM ²	Sin piritita	210		4			4			4	
Probetas con piritita de concreto de f'c=240 KG/CM ²	Con piritita	240	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Probetas patrón de concreto de f'c=240 KG/CM ²	Sin piritita	240		4			4			4	
N° TOTAL DE PROBETAS							96				

3.5.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis de la presente investigación corresponde al valor numérico en la resistencia a compresión del concreto.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Técnicas

La técnica que se usará para la recolección de datos será el método cuantitativo puesto que se recolectará y analizará datos numéricos. Se identificará tendencias y promedios; todo este proceso fue evaluado en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, usando sus equipos e instrumentos.

3.6.2. Instrumentos

Para la recolección de información a analizar se utilizarán fichas de registro para cada tipo de concreto realizado, continuamente se emplearán programas que permitan procesar todos estos datos para poder agrupar y analizar.

3.7. CANTERA DE ESTUDIO

Los agregados empleados para la investigación fueron obtenidos de la cantera de río conocida como: Cantera “Aguilar”, ubicada en el trayecto que conecta Baños del Inca con Otuzco, kilómetros antes de llegar al viaducto conoció como “La Unión”. Se encuentra en el distrito Baños del inca, que forma parte de la provincia y departamento de Cajamarca.

3.8. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO

3.8.1. Estudio de las características físicas y mecánicas

Los agregados, para el concreto, son materiales granulares que se mezclan con el cemento y el agua para formar una mezcla homogénea aprovechable. Estos representan aproximadamente del 60% hasta el 75% del volumen total del concreto, su resistencia,

estabilidad y durabilidad dependen fundamentalmente de las características de los agregados; es por esto que las mismas deben estar entre los parámetros que nos brindan la NTP 400.037.

Por lo mencionado anteriormente y para lograr concretos de calidad adecuada, es necesario analizar las propiedades físico-mecánicas de los agregados durante el diseño de las mezclas. Para evaluar estas propiedades, se deben seguir los parámetros especificados en la NTP 400.037.

3.8.2. Extracción y preparación de muestras

En la NTP 400.010 (2016) se describe los procedimientos de muestro que se utilizaron para la extracción de agregados, tanto finos como gruesos, de manera conjunta se emplea la Norma ASTM D75, que describe como obtener agregados almacenados en pilas.

3.8.3. Obtención de la muestra

El muestreo es importante, por lo tanto, se ha tenido en cuenta que, al momento de obtener las muestras, éstas debían notar la naturaleza y condiciones del material al cual representan para poder observar y dimensionar las propiedades del agregado a través de su granulometría.

Las muestras de campo que se indicadas son aproximadas. Para definir el tipo y la cantidad de ensayos que se realizarán, es necesario prever las masas y asegurarse de obtener suficiente material para llevarlos a cabo de manera adecuada. Las normas NTP establecen los criterios de aceptación y los ensayos de control, especificando el tamaño de muestra requerido para cada prueba. En general, las cantidades presentadas en la tabla 5 garantizan suficiente material para análisis granulométricos y pruebas de calidad rutinarias. Las muestras se toman del campo siguiendo el método de ensayo estandarizado ASTM C 702.

Tabla 5.

Porción de muestra de campo requerida para los ensayos de laboratorio

Tamaño del agregado	Masa de la muestra de campo, mín.	Muestra de campo Volumen mín.
	Kg (lbs)	L (Gal)
Agregado Fino		
2.36 mm [N° 8]	10 [22]	8 [2]
4.75 mm [N° 4]	10 [22]	8 [2]
Agregado Grueso		
09.5 mm [3/8 in.]	10 [22]	8 [2]
12.5 mm [1/2 in.]	15 [35]	12 [3]
19.0 mm [3/4 in.]	25 [55]	20 [5]
25.0 mm [1 in.]	50 [110]	40 [10]
37.5 mm [1 1/2 in.]	75 [165]	60 [15]
50.0 mm [2 in.]	110 [220]	80 [21]
63.0 mm [2 1/2 in.]	125 [275]	100 [26]
75.0 mm [3 in.]	150 [330]	120 [32]
90.0 mm [3 1/2 in.]	175 [385]	140 [37]

Nota. *Obtenido de NTP 400.010-2020*

Procedimiento: Teniendo en cuenta lo antes mencionado se procedió a realizar la extracción de los materiales bajo lo siguiente:

- Para agregado grueso, se tomó la muestra en tres lugares, de la parte superior de la pila, del punto medio, y del fondo.

- Para agregado fino, se tomó la muestra que se encuentra bajo el material superficial, en tres lugares aleatorios.

De esta manera, los agregados fueron recolectados en costales de plástico, que luego fueron transportados a las instalaciones del Laboratorio de Suelos

3.8.4. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo

Después de haber obtenido las muestras para realizar los ensayos para cada tipo de prueba, estas den tener el tamaño adecuado para no encontrarse dificultades al momento del análisis, para esto se han reducido teniendo como guía lo descrito en la norma NTP 400.043 o su equivalente la Norma ASTM C 702.

Por lo dicho, se describe el procedimiento donde se realizó la reducción de tamaño muestras a tamaño de ensayos.

Procedimiento: Se colocó el material resultante (muestras reducidas de tamaño) del ensayo sobre una superficie libre de impurezas que podrían contaminarlo, luego se batió el material con una palana tres veces para formar un pequeño montículo. Después, se esparció el agregado de forma circular y se dividió en cuatro partes simétricas, se tomaron las dos mitades opuestas y se repitió el ensayo hasta obtener las muestras con los pesos aproximados.

3.8.5. Granulometría

3.8.5.1. Materiales finos que pasan por el tamiz N° 200. Los agregados cumplen lo establecido por la norma NTP 400.037-2018 o la ASTM C33, también lo descrito en la NTP 400.018-2020, para ello se obtuvo una muestra del apropiado tamaño según la siguiente tabla:

Tabla 6.

Cantidad mínima de muestra para partículas menores al tamiz N° 200

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, g
4.75 mm (N° 4) o más pequeño	300
Mayor que 4.75 mm (N° 4) a 9.5 mm (3/8 pulg)	1000
Mayor que 9.5 mm (3/8 pulg) a 19 mm (3/4 pulg)	2500
Mayor a 19 mm (3/4 pulg)	5000

Nota. Obtenido de NTP 400.018-2020

Procedimiento: Se toma una muestra representativa con peso constante y se seca a una temperatura de 110 °C, para ello se toma en cuenta la aproximación al 0.1% de la masa de la muestra de ensayo.

Después del primero proceso, se continúa pesando la muestra, luego se coloca en un recipiente y se agrega agua lo suficiente para cubrirla. Se agita fuertemente la muestra para poder separar toda partícula más fina del tamiz normalizado de 75 µm (N° 200) de las partículas gruesas. El agua de lavado se vierte sobre los tamices, con el tamiz más grueso en la parte superior.

Con ayuda de una manguera, se agrega la carga de agua a la muestra en el recipiente donde se tendrá que mover y decantar como antes, volviendo a repetir la acción hasta que el agua de lavado se vuelva transparente.

Todo el material restante retenido en los tamices se regresó con agua. Se calcula la masa del agregado lavado, se secó a una temperatura constante de 110 °C.

Cálculo: Se realiza el cálculo de la cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200 (75 µm) mediante la formula:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Dónde:

A: Porcentaje del material fino que pasa por el tamiz N° 200 (75 µm)

P1: Masa seca de la muestra original, en g

P2: Masa seca de la muestra luego del lavado, en g

3.8.5.2. Granulometría de agregado grueso. El agregado grueso deberá cumplir lo establecido por la norma NTP 400.037-2018 o la ASTM C33.

Tabla 7.

Requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	300 µm
		(4 pulg)	(3 1/2 pulg)	(3 pulg)	(1/2 pulg)	(2 pulg)	(1 1/2 pulg)	(1 pulg)	(3/4 pulg)	(1/2 pulg)	(3/8 pulg)	(N° 04)	(N° 08)	(N° 16)	(N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg a N° 04)	...	...	...	100	90 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 pulg a N° 04)	...	...	...	...	100	90 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25 mm a 9.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25 mm a 4.75 mm (1 pulg a N° 04)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	0 a 5	...	...	...
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 pulg a N° 04)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a N° 04)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a N° 08)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 pulg a N° 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 04 a N° 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota. Obtenido de NTP 400.037-2021

3.8.5.3. Granulometría de agregado fino. Las Normas NTP 400.037 y la ASTM C33 establecen los límites en la cual deben estar los parámetros de la granulometría del agregado fino. Estos indican que se tiene una preferencia por una granulometría continua y uniforme, con valores retenidos en las mallas N° 04 a la N° 100, teniendo como requisitos granulométricos:

Tabla 8.

Requisitos granulométricos del agregado fino

Tamiz	% que pasa
9.5 mm (3/8 pulg.)	100
4.75 mm (N° 04)	95 a 100
2.36 mm (N° 08)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	10 a 30
150 µm (N° 100)	2 a 10
75 µm (N° 200)	0 a 3,0 ^{A,B}

Nota. *Obtenido del NTP 400.037-2021*

A: El límite para el material más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) debe ser máximo 5%, estos son usados para concreto no sujeto a la abrasión.

B: Este límite debe ser 5% para concreto sujeto a abrasión y máximo 7 % para concreto no sujeto a abrasión, para agregado fino artificial u otros reciclados, si el material más fino que el tamiz 75 µm (No. 200) consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquistos,

3.8.5.4. Análisis granulométrico de los agregados. El método del cribado fue utilizado para determinar la granulometría del agregado fino y grueso, se utilizó este método para determinar la distribución aproximada de las partículas de los agregados. Para desarrollar

el ensayo se debe reducir las muestras hasta tamaños apropiados para la prueba. Las normas NTP 400.012-2001 y la norma ASTM C 136 describen los procedimientos a realizar de manera técnica y detallada.

Procedimiento:

Se seca la muestra a peso constante a una temperatura de 110 °C.

Se selecciona tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. Se encaja los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y se coloca la muestra en partes sobre el tamiz superior. Se deberá agitar los tamices manualmente.

3.8.5.5. Tamaño máximo del agregado grueso. La NTP 400.037 nos indica que el tamaño máximo es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

El tamaño máximo del agregado grueso puede presentar granulometrías muy distintas, es importante tener en cuenta al momento de elegir el agregado, su granulometría y las proporciones de la misma.

3.8.5.6. Tamaño máximo nominal del agregado grueso. Según la NTP 400.010, es igual a un tamaño mayor que el primer tamiz que retiene más del 15% del agregado. Según la NTP 400.037, es el que corresponde al menor tamiz que produce el primer retenido.

3.8.5.7. Módulo de fineza. Generalmente, este módulo es determinado para el agregado fino, sin embargo, en algunos diseños de mezclas es necesario obtener de igual manera el módulo de fineza del agregado grueso.

El módulo de fineza indica una cantidad en porcentaje de partículas más finas sobre una superficie total que la pasta requerirá cubrir, por lo tanto, un módulo de fineza bajo indica una preponderancia de las partículas más finas con un área superficial total muy alta, que requerirá pasta para cubrir.

Cálculo: Se tendrá que determinar los porcentajes acumulados retenidos en las mallas: 3"; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N° 4; N° 8; N° 16; N° 30; N° 50; y N° 100, para luego sumarlos y finalmente ser divididos entre 100.

3.8.6. Masa por unidad de volumen o densidad (Peso Unitario)

Este ensayo tiene por objetivo establecer la densidad de masa o peso unitario del agregado en condición suelto y compactado. Este método es aplicable a los agregados que no excedan los 125 mm como tamaño máximo.

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.017 en correspondencia con la ASTM C 29.

A. Determinación de la densidad del agua. Primero se determina la masa del picnómetro con una exactitud de 0.01 kg, luego se llena el picnómetro hasta la línea de calibración, para finalmente determinar la masa del picnómetro y agua con una exactitud de 0.01 kg.

Cálculo:

$$D = \frac{(P_1 - P_2)}{V}$$

Donde:

D: Densidad del agua para la temperatura trabajada, kg/m³

P1: Masa del picnómetro y agua, kg

P2: Masa del picnómetro, kg

V: Volumen del picnómetro hasta la línea de calibración, m³

B. Volumen y factor F del recipiente. Primero se determina la masa del vidrio y del recipiente con una exactitud de 0.05 Kg, se previene la fuga del agua del recipiente colocando una capa delgada de grasa sobre el borde del recipiente, posteriormente se llena el recipiente con agua a la temperatura ambiente y cubrirlo con la placa de vidrio de forma tal de eliminar

las burbujas y el exceso de agua. Retirar cualquier molécula de agua que pueda tener sobrefluidez al interior del recipiente o placa de vidrio, una vez realizado el proceso anterior se determina la masa del vidrio, agua y recipiente con exactitud de 0.05 kg, teniendo todos estos datos se procede a calcular el volumen del recipiente y el factor F del recipiente.

Cálculo:

$$V = \frac{W - M}{D}$$

$$F = \frac{D}{W - M}$$

Donde:

V: Volumen del recipiente, m³

F: Factor para el recipiente, l/m³

W: Masa del agua, placa de vidrio y recipiente, kg

M: Masa de placa de vidrio y recipiente, kg

D: Densidad del agua para la temperatura trabajada, kg/m³

C. Procedimiento del apisonado para peso unitario compacto. Se llenará el recipiente hasta 1/3 de la capacidad del recipiente y se nivelará la superficie con los dedos. Se apisona la capa del agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie, posteriormente se llena el recipiente a los 2/3 del total y se repite el proceso anterior, finalmente se llena el molde a sobre volumen y se apisona nuevamente de la forma indicada líneas arriba. Se nivela la superficie del agregado con los dedos y la varilla de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado aproximadamente quedó equilibrada con los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

En el apisonado de la primera capa, se procura no golpear el fondo del recipiente con fuerza con la varilla. En el apisonado de la segunda y tercera capas, se usa un esfuerzo vigoroso, pero no mayor del que pueda causar la penetración de la varilla a la capa previa del agregado.

Se determina la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío y se registran los valores con exactitud de 0.05 kg.

D. Procedimiento determinación del peso unitario suelto. Se llena el recipiente hasta el reboce con un cucharón, descargando el agregado desde una altura aproximada de 50 mm encima del borde superior del mismo. Se nivela la superficie del agregado con la varilla de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

Se determina la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío y se registraron los valores con exactitud de 0.05 kg.

Para calcular la densidad de masa por los procedimientos tanto de apisonado como de peso suelto se realizará mediante:

$$PU = \frac{G - T}{V}$$

$$PU = (G - T) \times F$$

Donde:

PU: Densidad de masa del agregado, kg/m³

G: Masa del recipiente y agregado, kg

T: Masa del recipiente, kg

V: Volumen del recipiente, m³

F: Factor para el recipiente, l/m³

3.8.7. Densidad relativa y absorción

3.8.7.1. Densidad Relativa y absorción del agregado grueso. El objetivo de este ensayo es determinar la densidad promedio de las partículas de agregado grueso (no incluidos los orificios entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción. Este ensayo se desarrolló utilizando el método establecido en la NTP 400.021 en línea con la ASTM C 127.

Procedimiento:

Se secó la muestra de ensayo en una estufa hasta una masa constante a una temperatura de 110 °C, se enfrió a temperatura ambiente durante 3 h. Se sumergió el agregado en agua por un periodo de 24 h, se retira la muestra del agua y se seca la superficie con una franela, teniendo cuidado en no evaporar el agua, se determina su masa al aire. Después de la determinación de la masa en aire, se coloca inmediatamente la muestra saturada superficialmente seca en el recipiente de la muestra y se determina su masa aparente en agua luego de 3 horas de sumersión, finalmente se seca la muestra de ensayo en la estufa hasta una masa constante, a temperatura de 110 °C, se enfría en aire a temperatura ambiente durante 3 h, hasta que el agregado se volvió manipulable y se determina su masa.

Para el cálculo respectivo se tendrá en cuenta:

A: masa de la muestra secada al horno en el aire, g

B: masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca al aire, g

C: masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g

A. Densidad relativa (Gravedad específica)

Gravedad específica en estado seco al horno:

$$\text{Gravedad específica en estado seco al horno: } \frac{A}{B - C}$$

Gravedad específica en estado saturado superficialmente seco:

$$\text{Gravedad Específica en Estado Saturado Superficialmente Seco} = \frac{B}{B - C}$$

Gravedad específica aparente:

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

B. Absorción

Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción \%} = \left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100$$

3.8.7.2. Densidad Relativa y absorción de agregado fino. La norma NTP 400.022 en línea con la ASTM C 128 establecen el desarrollo del ensayo.

Procedimiento:

Se colocó la muestra de ensayo en un recipiente apropiado y se secó la muestra en una estufa hasta que se convirtiera en una masa constante a una temperatura de 110 °C. Luego, el agregado se enfrió hasta la temperatura de manipulación, se cubrió con agua y se dejó reposar por un día.

El exceso de agua se decanta con cuidado para evitar la pérdida de finos, se coloca en una superficie no absorbente con corriente de aire natural y se deja evaporar la humedad de la superficie cada 20 minutos.

Prueba de humedad superficial: El molde cónico se coloca sobre una superficie que no absorba. Se coloca una porción del agregado fino suelto parcialmente seco en el molde, llenándolo hasta el tope. Luego, sujeta el molde con los dedos que lo sostienen. El agregado fino se apisona en el molde con 25 golpes con la barra compactadora.

Cada golpe comienza en una altura de aproximadamente 5 mm sobre la superficie superior del agregado fino. permitir que la barra compactadora caiga libremente bajo la atracción gravitatoria de cada golpe Después de cada golpe, distribuyó los golpes sobre la

superficie y ajustó la altura inicial de la nueva elevación. Se levanta el molde verticalmente después de retirar la arena suelta de la base. Dado que el agregado fino mantuvo la forma moldeada, se verifica la presencia de humedad en la superficie. Después de tres intentos adicionales, se observa una leve caída del agregado fino moldeado, lo que indica que se ha alcanzado el estado de superficie seca.

El picnómetro se llena en parte con agua. Se debe introducir la muestra de agregado fino de condición saturada seca superficialmente en el picnómetro y agregar agua adicional hasta aproximadamente el 90 % de la capacidad del recipiente. Se agita el picnómetro por 20 minutos, rodándolo e invirtiéndolo para eliminar las burbujas de aire visibles. Luego, se introduce papel para sacar la espuma que se formó en la parte superior debido al aire atrapado y se agrega agua hasta la línea de enrase. Se determina la masa total del picnómetro, el espécimen, y el agua. Se retira el material del picnómetro y se lo lleva a una estufa por un lapso de 24 h, finalmente se lo deja enfriar por aproximadamente 1 ½ h y se pesa la muestra. Se determina la masa del picnómetro lleno hasta la línea de enrase.

Para el cálculo respectivo se tendrá en cuenta:

A: masa de la muestra secada al horno en el aire, g

B: masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca al aire, g

C: masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g

S: masa de la muestra saturada superficialmente, g

A. Densidad relativa (Gravedad específica)

Gravedad específica en estado seco al horno

$$\text{Gravedad específica en estado seco al horno: } \frac{A}{B + S - C}$$

Gravedad específica en estado saturado superficialmente seco

$$\text{Gravedad Específica en Estado Saturado Superficialmente Seco} = \frac{B}{B + S - C}$$

Gravedad específica aparente:

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

B. Absorción

Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción \%} = \left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100$$

3.8.8. Desgaste o abrasión del agregado grueso

De acuerdo a la NTP 400.019, este ensayo tiene por objetivo el cálculo del desgaste del agregado grueso, se deberá tener en cuenta la granulometría del agregado para establecer el peso indicado de la muestra, según la tabla:

Tabla 9.

Muestras requeridas para el ensayo de abrasión

Tamiz		Peso de los tamaños indicados (g)			
Pasa	Retiene	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25	---	---	---
1"	3/4"	1250 ± 25	---	---	---
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
3/8"	1/4"	---	---	2500 ± 10	---
1/4"	N° 04	---	---	2500 ± 10	---
N° 04	N° 08	---	---	---	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Nota. Obtenido de NTP 400.017-2022

Procedimiento:

Se lava el material librándolo de partículas menores al tamiz N° 12 y se seca por un lapso de 24h. Se selecciona la cantidad de material necesario según el tamaño del agregado

grueso y se procede a colocar el material seleccionado en la máquina de los ángeles con la carga abrasiva.

Luego de concluido el tiempo en que la máquina desgasta el material, se lo retira y lava, haciendo pasar las partículas por el tamiz N° 12, se seca el material retenido por el tamiz N° 12 durante 24 horas y se determina su masa.

Calculo:

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

P1: Masa de la muestra antes del ensayo, kg

P2: Masa de la muestra después del ensayo, kg

3.9. CARACTERÍSTICAS DEL MINERAL PIRITA

El mineral para la presente investigación denominado pirita fue extraído de la localidad La Cruz de Algamarcas, situada en el distrito de Cajabamba en Cajamarca. Dicho mineral, conformado por Disulfuro de Hierro (FeS_2), tiene un color metálico resplandeciente, por ende, al ser confundido con oro, también es conocido como “Oro de los tontos”. La pirita posee una alta densidad y una porosidad considerablemente baja que puede alterar directamente propiedades del concreto mediante la resistencia.

Por otro lado, también tiene una estructura cristalina cúbica la pirita, lo que otorga a su vez a la forma angulosa de la masa; tal cualidad puede ser un predictor del desempeño del compuesto, ya que se hace complicado manipular o compactar.

Mientras no existen normas técnicas específicas sobre su uso para mezclas de hormigón, la autorización para su inclusión en la investigación es perfectamente conocida ya que su objetivo es medir su efecto como posibles agregados o aditivos; intereses como granulometría y particularmente, sus propiedades físicas mecánicas.

3.10. CEMENTO UTILIZADO

Para hacer las mezclas de este estudio se usó Cemento Portland tipo I, hecho por la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A. Este tipo de cemento se usa para trabajos de construcción que no necesitan cualidades especiales o reglas técnicas difíciles, estas deben cumplir a los parámetros dados en las normas técnicas ASTM C 150 y NTP 334.009.

Una de sus mejores propiedades es su mezcla mejorada que le da más fuerza al principio del secado y tiempo rápido de fragua; esto lo hace mejor que otros tipos de cementos. Por estas razones el material básico Tipo I es muy usado en construcciones comunes, como paredes y pilares de concreto simple o con acero.

3.11. AGUA

El agua usada tanto al hacer como al cuidar las probetas cilíndricas de concreto salió del sistema de agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca, esta agua cumple con los rangos aceptables de calidad establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, según lo puesto en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA; por tanto es buena para usar en hacer y cuidar el concreto, en este caso los testigos cilíndricos, conforme lo señalado en la Norma Técnica Peruana NTP 339.088-2019.

3.12. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEZCLAS Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

3.12.1. Requerimientos del concreto considerados para el diseño de mezclas.

La calidad del cemento debe responder a las exigencias específicas de la aplicación para la cual será utilizado. Por ello, la elección de los componentes que integran una unidad cúbica de cemento debe asegurar que la mezcla resultante cuente con las propiedades de trabajabilidad, resistencia, durabilidad, peso adecuado y demás características necesarias para cumplir satisfactoriamente con los objetivos del proyecto.

En este sentido, para el diseño de la mezcla usada en los ejemplares cilíndricos de concreto, se consideraron unos criterios tanto en su forma fresca como en su forma dura.

3.12.1.1. Apariencia: Para la elaboración de los testigos cilíndricos de concreto y su respectivo ajuste en el diseño del mismo, se verificó que el concreto no endurecido presente una apariencia homogénea, evitando que éste sea sobre gravoso o sobre arenoso.

3.12.1.2. Consistencia. Para el diseño y su posterior ajuste de mezclas se consideró que el concreto no endurecido posea una consistencia plástica, es decir que su revenimiento o slump se encuentre entre tres y cuatro pulgadas (3" - 4").

3.12.1.3. Resistencia requerida. Para el diseño de mezclas y ajuste de proporciones de los testigos cilíndricos de concreto, se consideró una resistencia de 210 Kg/cm² y 240 Kg/cm², ya que esta resistencia ayudó a verificar las diferencias entre los especímenes sin adición de piritita (especímenes base) y concretos adicionados.

3.12.2. Propiedades de los materiales a considerar para el diseño de mezclas

3.12.2.1. Propiedades del Cemento

Marca y tipo: Se ha empleado el cemento Portland tipo I, fabricado por la empresa CEMENTOS PACASMAYO S.A.A., este es un cemento de uso general que cumple con los criterios técnicos establecidos en las normas técnicas NTP 334.009

y ASTM C 150.

Peso específico: Según la hoja técnica del cemento Pacasmayo Tipo I, su peso específico es de 3,14 g/cm³.

3.12.2.2. Propiedades de los agregados

Anteriormente se ha presentado procedimientos que vienen siendo empleadas para obtener el diseño, están se basan primordialmente en las propiedades de los agregados. Procedimiento realizado para la selección de las proporciones del concreto por el método de módulo de fineza de la combinación de los agregados.

Este método de diseño se basa en las tablas del comité 211 del ACI para elegir los materiales que forman la pasta del concreto. Sin embargo, cuando se trata de definir las proporciones de los agregados, se usa algo llamado "módulo de combinación de los agregados", que no es más que un indicador del grosor promedio del conjunto de partículas, como si todos los agregados fueran uno solo.

El procedimiento sigue estos pasos:

- Se parte de la resistencia a compresión especificada y, a partir de ella, se calcula la resistencia promedio que debe alcanzar el concreto.
- Luego, se elige el tamaño máximo nominal del agregado y el asentamiento deseado.
- Se determina el volumen unitario de agua que se usará en el diseño.
- Se define la cantidad de aire que se incorporará a la mezcla.
- Se selecciona la relación agua/cemento en función de la resistencia y, con eso, se calcula el factor cemento.
- Se suman los volúmenes absolutos de cemento, agua, aire y agregados, es decir, se calcula el volumen total de la mezcla.
- Se obtiene el módulo de fineza de la combinación de los agregados.
- Se determina qué porcentaje de agregado fino y grueso se usará.
- Finalmente, se calculan los valores de diseño para cada componente: cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.

3.12.3. Elaboración de la mezcla de prueba.

Para la mezcla de prueba, solo se consideró la elaboración de testigos cilíndricos que serían ensayados a compresión, ya que este es el parámetro principal que define la resistencia del concreto.

Después, se hizo la corrección por humedad de los agregados y se ajustaron los pesos de los materiales necesarios por metro cúbico de concreto para esta mezcla de prueba.

Se calculó la cantidad exacta de materiales que se iban a usar en la mezcla con los nuevos pesos ya corregidos, tomándose como referencia: un volumen equivalente a tres probetas para cada diseño de concreto, los que serían a considerar: probetas de concreto de prueba.

3.12.4. Procedimiento realizado para el ajuste de las proporciones.

Una vez que se verificaron y obtuvieron las condiciones necesarias, se procedió a realizar los ajustes correspondientes en las proporciones durante las siguientes tandas de mezcla, siguiendo este proceso:

- Identificar las características de la mezcla de prueba.
- Ejecutar la tanda de mezclado.
- Evaluar el rendimiento de la mezcla por tanda.
- Medir la cantidad de agua utilizada en cada tanda.
- Calcular el agua de mezclado por metro cúbico, corrigiendo según el agua adicional añadida.
- Ajustar el agua de mezclado por metro cúbico en base al asentamiento obtenido.
- Corregir la cantidad de agua de mezclado por metro cúbico considerando el contenido de aire.

Los nuevos materiales de diseño, ya corregidos según la apariencia, el agua adicional, el asentamiento y el contenido de aire, se determinaron en base a los datos obtenidos en el diseño original, especialmente la relación agua/cemento y el módulo de fineza de los agregados.

Después de hacer la corrección por humedad de los agregados, se definieron los pesos finales de los materiales por metro cúbico de concreto que se usarían en la mezcla.

Una vez que se verificaron y ajustaron todas las condiciones previas, se continuó con las siguientes tandas de mezcla, donde se hicieron los ajustes necesarios en las proporciones para incluir la pirita en porcentajes del 5%, 10% y 15% respecto al volumen del agregado fino.

3.12.5. Especímenes de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, con adición pirita

3.12.5.1. Dosificación N° 01: Especímenes de concreto sin adición de pirita

Estos especímenes se elaboraron únicamente con agua, cemento y agregados, sin incluir el mineral de pirita. Para el ensayo de compresión, se preparó la cantidad necesaria de concreto bajo la siguiente denominación y según la edad del ensayo:

Compresión: C - 0%, a edad de 7 días, 14 días y 28 días.

En total, se fabricaron 24 especímenes cilíndricos de concreto para ser sometidos a ensayos de compresión. De estos, se probaron 8 probetas a los 7 días, 8 a los 14 días y los 8 restantes a los 28 días.

3.12.5.2. Dosificación N° 02: Especímenes de concreto con adición del 5% de pirita

Para hacer estos especímenes, se usaron agua, cemento y agregados, añadido en un 5% de pirita con respecto al volumen del agregado fino. Para las pruebas de compresión, se preparó el concreto necesario bajo las siguientes denominaciones y según la edad de ensayo:

Compresión: C - 5%, a los 7, 14 y 28 días.

Se hicieron 18 especímenes cilíndricos para las pruebas de compresión. De esos, 6 se probaron a los 7, 14 y 28 días, según el tiempo de curado. Se elige esta cantidad porque, según la Norma NTP 339.034, es necesario tener al menos 3 probetas para que el promedio sea confiable. Además, los ensayos previos en esta tesis mostraron que con ese 5% de pirita la resistencia a la compresión mejora bastante.

3.12.5.3. Dosificación N° 03: Especímenes de concreto con adición del 10% de pirita

Para hacer estos especímenes, se usaron agua, cemento y agregados, añadido en un 10% de pirita con respecto al volumen del agregado fino. Para las pruebas de compresión, se preparó el concreto necesario bajo las siguientes denominaciones y según la edad de ensayo:

Compresión: C - 10%, a los 7, 14 y 28 días.

Se hicieron 18 especímenes cilíndricos para las pruebas de compresión. De esos, 6 se probaron a los 7, 14 y 28 días, según el tiempo de curado. Se elige esta cantidad porque, según la Norma NTP 339.034, es necesario tener al menos 3 probetas para que el promedio sea confiable. Además, los ensayos previos en esta tesis mostraron que con ese 10% de pirita la resistencia a la compresión presenta menos influencia en la resistencia.

3.12.5.4. Dosificación N° 04: Especímenes de concreto con adición del 15% de pirita

Para hacer estos especímenes, se usaron agua, cemento y agregados, añadido en un 10% de pirita con respecto al volumen del agregado fino. Para las pruebas de compresión, se preparó el concreto necesario bajo las siguientes denominaciones y según la edad de ensayo:

Compresión: C - 15%, a los 7, 14 y 28 días.

Se hicieron 18 especímenes cilíndricos para las pruebas de compresión. De esos, 6 se probaron a los 7, 14 y 28 días, según el tiempo de curado. Se elige esta cantidad porque, según la Norma NTP 339.034, es necesario tener al menos 3 probetas para que el promedio sea confiable. Además, los ensayos previos en esta tesis mostraron que con ese 15% de pirita la resistencia a la compresión no llega a ser beneficioso para el concreto.

3.12.6. Especímenes de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$, con adición pirita

3.12.6.1. Dosificación N° 05: Especímenes de concreto sin adición de pirita

Estos especímenes se elaboraron únicamente con agua, cemento y agregados, sin incluir el mineral de pirita. Para el ensayo de compresión, se preparó la cantidad necesaria de concreto bajo la siguiente denominación y según la edad del ensayo:

Compresión: C - 0%, a edad de 7 días, 14 días y 28 días.

En total, se fabricaron 24 especímenes cilíndricos de concreto para ser sometidos a ensayos de compresión. De estos, se probaron 8 probetas a los 7 días, 8 a los 14 días y los 8 restantes a los 28 días.

3.12.6.2. Dosificación N° 06: Especímenes de concreto con adición del 5% de pirita

Para hacer estos especímenes, se usaron agua, cemento y agregados, añadido en un 5% de pirita con respecto al volumen del agregado fino. Para las pruebas de compresión, se preparó el concreto necesario bajo las siguientes denominaciones y según la edad de ensayo:

Compresión: C - 5%, a los 7, 14 y 28 días.

Se hicieron 18 especímenes cilíndricos para las pruebas de compresión. De esos, 6 se probaron a los 7, 14 y 28 días, según el tiempo de curado. Se elige esta cantidad porque, según la Norma NTP 339.034, es necesario tener al menos 3 probetas para que el promedio sea confiable. Además, los ensayos previos en esta tesis mostraron que con ese 5% de pirita la resistencia a la compresión mejora bastante.

3.12.6.3. Dosificación N° 07: Especímenes de concreto con adición del 10% de pirita

Para hacer estos especímenes, se usaron agua, cemento y agregados, añadido en un 10% de pirita con respecto al volumen del agregado fino. Para las pruebas de compresión, se preparó el concreto necesario bajo las siguientes denominaciones y según la edad de ensayo:

Compresión: C - 10%, a los 7, 14 y 28 días.

Se hicieron 18 especímenes cilíndricos para las pruebas de compresión. De esos, 6 se probaron a los 7, 14 y 28 días, según el tiempo de curado. Se elige esta cantidad porque, según la Norma NTP 339.034, es necesario tener al menos 3 probetas para que el promedio sea confiable. Además, los ensayos previos en esta tesis mostraron que con ese 10% de pirita la resistencia a la compresión presenta menos influencia en la resistencia.

3.12.6.4. Dosificación N° 08: Especímenes de concreto con adición del 15% de pirita

Para hacer estos especímenes, se usaron agua, cemento y agregados, añadido en un 10% de pirita con respecto al volumen del agregado fino. Para las pruebas de compresión, se preparó el concreto necesario bajo las siguientes denominaciones y según la edad de ensayo:

Compresión: C - 15%, a los 7, 14 y 28 días.

Se hicieron 18 especímenes cilíndricos para las pruebas de compresión. De esos, 6 se probaron a los 7, 14 y 28 días, según el tiempo de curado. Se elige esta cantidad porque, según la Norma NTP 339.034, es necesario tener al menos 3 probetas para que el promedio sea confiable. Además, los ensayos previos en esta tesis mostraron que con ese 15% de pirita la resistencia a la compresión no llega a ser beneficioso para el concreto.

3.12.7. Elaboración de los especímenes de concreto para el ensayo mecánico.

La preparación de los especímenes cilíndricos de concreto para las pruebas de compresión, con cada una de las dosificaciones obtenidas, se llevó a cabo siguiendo los pasos establecidos en la Norma NTP 339.183.

Procedimiento:

A) Pasos para hacer las mezclas

1. Se realizaron mezclas de 0.04 m^3 , lo que equivale a una tanda para 6 probetas. Con esa cantidad se elaboraron los especímenes que luego se usarán para los ensayos de compresión.

2. Antes de empezar, se limpió y secó bien el interior de la mezcladora, para evitar que cualquier resto de agua o material no deseado alterara la mezcla. Luego se pesaron todos los materiales: cemento, agregado fino, agregado grueso y, si correspondía, la pirita. También se midió el volumen exacto de agua necesario.

3. Aunque no hay una regla fija sobre cómo introducir los materiales en la mezcladora, muchas recomendaciones apuntan a seguir este orden: primero un poco de agua, después el agregado fino, luego el grueso y la pirla; al final se agrega el cemento y el resto del agua.

4. Una vez añadido todo, se controla el tiempo de mezclado a partir del momento en que se incorpora el último volumen de agua.

B) Pasos seguidos para preparar los testigos de concreto

1. Primero se colocaron los moldes sobre una superficie firme, nivelada y sin vibraciones, para que las probetas se formen de manera uniforme.

2. Luego se vertió la mezcla de concreto con un cucharón, repartiéndola alrededor del molde para que quede bien distribuida y no se segregue al caer.

3. El llenado de cada molde se hizo en tres capas iguales. En la última, se puso un poco más de mezcla para asegurarse de que, al compactar, el testigo quedara completamente lleno.

4. Cada capa fue compactada con 25 golpes de varilla, distribuidos de forma pareja. En la primera capa se compactó todo el espesor, y en las otras dos se hizo que la varilla penetre unos 2.5 cm en la capa de abajo.

5. Después de compactar, se golpearon suavemente los lados del molde unas 12 veces con un mazo de goma, para ayudar a eliminar el aire atrapado.

6. Se retiró el exceso de mezcla con la varilla y se le dio un acabado superficial con espátula, haciendo el menor número de pasadas posible para dejar la parte superior lisa.

7. A cada testigo cilíndrico se le colocó una identificación con su número, la fecha y el tipo de mezcla correspondiente.

8. Para evitar la pérdida de humedad y mantener la temperatura, se cubrieron los moldes con bolsas plásticas.

9. Pasadas 24 horas, se desmoldaron las probetas cilíndricas de concreto y se empezaron a curar bajo condiciones controladas.

B) Pasos seguidos para preparar los testigos de concreto

1. Primero se colocaron los moldes sobre una superficie firme, nivelada y sin vibraciones, para que las probetas se formen de manera uniforme.

2. Luego se vertió la mezcla de concreto con un cucharón, repartiéndola alrededor del molde para que quede bien distribuida y no se segregue al caer.

3. El llenado de cada molde se hizo en tres capas iguales. En la última, se puso un poco más de mezcla para asegurarse de que, al compactar, el testigo quedara completamente lleno.

4. Cada capa fue compactada con 25 golpes de varilla, distribuidos de forma pareja. En la primera capa se compactó todo el espesor, y en las otras dos se hizo que la varilla penetre unos 2.5 cm en la capa de abajo.

5. Después de compactar, se golpearon suavemente los lados del molde unas 12 veces con un mazo de goma, para ayudar a eliminar el aire atrapado.

6. Se retiró el exceso de mezcla con la varilla y se le dio un acabado superficial con espátula, haciendo el menor número de pasadas posible para dejar la parte superior lisa.

7. A cada testigo cilíndrico se le colocó una identificación con su número, la fecha y el tipo de mezcla correspondiente.

8. Para evitar la pérdida de humedad y mantener la temperatura, se cubrieron los moldes con bolsas plásticas.

9. Pasadas 24 horas, se desmoldaron las probetas cilíndricas de concreto y se empezaron a curar bajo condiciones controladas

3.12.8. Curado de los especímenes de concreto.

El curado de los 156 testigos cilíndricos de concreto se llevó a cabo siguiendo lo establecido en la norma NTP 339.183.

Procedimiento:

1. Protección después del vaciado: Apenas se terminaba de llenar los moldes, cada probeta se cubría con bolsas plásticas para evitar que el agua de la mezcla se evaporara y así mantener la humedad necesaria.

2. Curado inicial: Justo después del moldeado, los testigos se mantenían cubiertos para conservar la temperatura adecuada. Al cumplirse las 24 horas, se desmoldaban con cuidado y se pasaban al siguiente paso.

3. Curado estándar: Entre 30 minutos y 1 hora después de haberlos retirado de los moldes, se colocaban las probetas en una poza con agua para el curado. Esta poza se mantenía cubierta con una manta plástica para asegurar una temperatura estable y evitar la evaporación durante el proceso.

3.13. VARIABLES DE EVALUACIÓN DEL ESTUDIO.

Las variables que se evaluaron en esta tesis son las siguientes:

- Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días sin y con adición de la pirita.
- Desarrollo de la resistencia del concreto.

3.13.1. Resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de concreto

Este ensayo se llevó a cabo según lo establecido en la norma NTP 339.034, que está alineada con la ASTM C 39.

Procedimiento:

1. Las pruebas de compresión en las probetas de concreto se realizaron pocos minutos después de haberlas sacado de la poza de curado.

2. Todos los cilindros correspondientes a una misma edad de ensayo se rompieron dentro del rango de tiempo permitido por la norma, respetando las tolerancias establecidas para cada caso, como es:

Tabla 10.*Tiempo permisible de tolerancia para edades del concreto*

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24h	$\pm 0.5 \text{ h o } 2.1\%$
03 d	$\pm 2.0 \text{ h o } 2.8\%$
07 d	$\pm 6.0 \text{ h o } 3.6\%$
28 d	$\pm 20 \text{ h o } 3.0\%$
90 d	$\pm 48 \text{ h o } 2.2\%$

Nota. *Obtenido de la norma NTP 339.034 - 2021*

3. Medición de los testigos: Con la ayuda de un calibrador vernier, se tomaron las medidas de las probetas de concreto en cuatro puntos diferentes. Dos mediciones se hicieron en las caras superior e inferior de la probeta, asegurándose de que las mediciones fueran perpendiculares entre sí. Además, se midió la altura de la probeta utilizando una regla metálica.

4. Colocación de los testigos en la máquina de compresión: Se limpian bien con ayuda de una brocha los platos de soporte con neopreno, antes de colocar los testigos en la máquina. Luego, se colocó la probeta en la máquina de compresión, asegurándose de que estuviera alineado con el bloque de empuje inferior y el bloque superior móvil. El bloque superior se bajó cuidadosamente hasta que tocó el testigo. Se verificó que el medidor de carga estuviera en cero antes de empezar con la compresión, y se utilizó un deformímetro para medir la deformación durante el ensayo.

5. Aplicación de carga: La carga se aplicó de manera continua, a razón de 2.5 kg/cm^2 por segundo, lo que equivale a aproximadamente 0.5 toneladas por segundo para los testigos de 150 mm de diámetro. Durante el ensayo y con ayuda del ingeniero técnico encargado del laboratorio, se ajustó suavemente la válvula de inyección de aceite para asegurar que la carga

se aplicara de forma constante. La carga se aplicó hasta que el testigo falló, y se registró la máxima carga que pudo soportar.

3.13.2. Desarrollo de la resistencia del concreto

Como se explicó antes, se prepararon en total 156 testigos cilíndricos de concreto. Las diferentes dosificaciones que se usaron para cada tipo de resistencia se definieron según lo que ya se detalló.

Para los ensayos de compresión, los testigos se agruparon en 6 unidades, y se probaron a los 7, 14 y 28 días, considerando los distintos porcentajes de pirita (5%, 10% y 15%) que se agregaron. Gracias a estos ensayos se pudo ver cómo fue aumentando la resistencia del concreto con el paso del tiempo en cada caso.

Todos los resultados obtenidos, así como el análisis que se hizo de ellos, se pueden encontrar en los anexos y en el Capítulo IV.

3.14. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los métodos y procedimientos empleados para la recopilación de datos son fundamentales para asegurar la precisión y consistencia de la información obtenida; a continuación, se describen detalladamente.:

3.14.1. Propiedades de los agregados

Con el fin de determinar las propiedades de los agregados, se llevaron a cabo ensayos de contenido de humedad, peso específico, análisis granulométrico, peso volumétrico (en estado suelto y compactado) y porcentaje de absorción, cuyos resultados se encuentran detallados en el apéndice A.

Tabla 11.*Resumen de los ensayos de agregado*

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS		
	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Peso específico de masa	2.580 g/cm ³	2.620 g/cm ³
Peso específico sss	2.620 g/cm ³	2.650 g/cm ³
Peso específico aparente	2.690 g/cm ³	2.690 g/cm ³
Peso unitario suelto seco	1526 Kg/cm ³	1372 Kg/cm ³
Peso unitario seco compactado	1658 Kg/cm ³	1542 Kg/cm ³
Contenido de Humedad	6.38%	0.42%
Absorción	1.60%	1.00%
Módulo de Finura	2.920	6.640
Abrasión	-	27.00%
Partículas < tamiz N°200	2.40	0.20

3.14.2. Diseño de mezclas

Para obtener el diseño de mezcla según el método del ACI (American Concrete Institute), se siguió el procedimiento descrito en el apéndice A, donde se determinaron las proporciones de los componentes del concreto, tanto por metro cúbico como para las tandas específicas, con el objetivo de cumplir los requisitos de resistencia.

Tabla 12.*Resumen de proporciones para diseño por m³ en el concreto $f'_c=210$ kg/cm²*

CANTIDAD	RESISTENCIA (kg/cm ²)	MATERIALES (kg/l)			
		CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA
1 m ³	210	315.385	841.466	968.087	172.74
3 tandas	210	37.845	100.976	116.1705	20.729
1 tanda	210	12.615	33.6586	38.7235	6.9097

Tabla 13.

Resumen de proporciones para diseño por m³ en el concreto $f'_c=240$ kg/cm²

CANTIDAD	RESISTENCIA (kg/cm ²)	MATERIALES (kg/l)			
		CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	AGUA
1 m ³	210	347.458	802.105	979.134	174.575
3 tandas	210	41.695	96.253	117.496	20.949
1 tanda	210	13.898	32.084	39.165	6.983

3.14.3. Resistencia a la compresión

Grupo A1: Especímenes de concreto sin adición de pirita: Estos especímenes se elaboraron únicamente con agua, cemento y agregados, sin incluir la pirita, para un diseño de $f'_c=210$ kg/cm².

Tabla 14.

Resistencia del concreto patrón $f'_c=210$ kg/cm²

Muestra	Resistencia del concreto patrón (Kg/cm ²)				Promedio
	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	153.812	153.564	154.040	153.812	182.068
14 días	210.799	209.414	210.781	210.780	210.444
28 días	281.989	279.141	280.113	280.113	280.339

Grupo A2: Especímenes de concreto con adición del 5% de pirita: Estos especímenes se elaboraron adicionando pirita a la mezcla el 5% de volumen del agregado fino, para un diseño de $f'_c=210$ kg/cm².

Tabla 15.

Resistencia del concreto $f'_c=210$ kg/cm² con adición de pirita al 5%

Muestra	5% pirita (Kg/cm ²)				Promedio
	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	215.036	217.865	217.865	215.036	216.451
14 días	244.961	244.527	244.961	243.330	244.445
28 días	306.361	305.577	306.008	305.104	305.763

Grupo A3: Especímenes de concreto con adición del 10% de pirita: Estos especímenes se elaboraron adicionando pirita a la mezcla el 10% de volumen del agregado fino, para un diseño de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 16.

Resistencia del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 10%

Muestra	10% pirita (Kg/cm ²)				Promedio
	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	226.158	226.354	226.158	226.535	226.301
14 días	274.454	274.454	274.454	274.454	274.454
28 días	311.982	311.236	311.982	311.236	311.609

Grupo A4: Especímenes de concreto con adición del 15% de pirita: Estos especímenes se elaboraron adicionando pirita a la mezcla el 15% de volumen del agregado fino, para un diseño de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 17.

Resistencia del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 15%

Muestra	15% pirita (Kg/cm ²)				Promedio
	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	234.842	234.534	226.354	240.501	234.058
14 días	217.932	217.865	217.781	217.781	217.840
28 días	206.613	206.548	206.548	206.462	206.543

Grupo B1: Especímenes de concreto sin adición de pirita: Estos especímenes se elaboraron únicamente con agua, cemento y agregados, sin incluir la pirita, para un diseño de $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 18.

Resistencia del concreto patrón $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia del concreto patrón (KG/CM ²)					Promedio
Muestra	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	199.387	199.556	199.387	200.889	219.500
14 días	240.501	238.905	239.264	240.872	239.886
28 días	288.601	287.686	287.686	288.601	288.144

Grupo B2: Especímenes de concreto con adición del 5% de pirita: Estos especímenes se elaboraron adicionando pirita a la mezcla el 5% de volumen del agregado fino, para un diseño de $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 19.

Resistencia del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 5%

5% pirita					Promedio
Muestra	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	265.966	266.272	265.966	265.247	265.863
14 días	289.497	288.601	288.462	289.497	289.014
28 días	305.577	305.104	304.336	305.577	305.149

Grupo B3: Especímenes de concreto con adición del 10% de pirita: Estos especímenes se elaboraron únicamente con agua, cemento y agregados, adicionando pirita a la mezcla el 10% de volumen del agregado fino, para un diseño de $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 20.

Resistencia del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 10%

10% pirita					Promedio
Muestra	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	289.620	288.601	289.497	288.687	289.101
14 días	311.236	311.782	310.473	311.236	311.182
28 días	314.066	315.428	314.066	313.322	314.220

Grupo B4: Especímenes de concreto con adición del 15% de pirita: Estos especímenes se elaboraron únicamente con agua, cemento y agregados, adicionando pirita a la mezcla el 15% de volumen del agregado fino, para un diseño de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 21.

Resistencia del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de pirita al 15%

Muestra	15% pirita				Promedio
	M1	M ²	M ³	M4	
7 días	296.231	297.089	297.089	296.231	296.660
14 días	254.648	255.769	255.769	254.648	255.209
28 días	222.174	223.524	223.366	223.524	223.147

3.14.4. Promedio de las resistencias a compresión del Grupo A: Probetas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Con la información de la Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y la Tabla 16, se presenta la Tabla 21 y la Figura 3 que son el promedio de la resistencia a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, para las edades de 7, 14 y 28 días

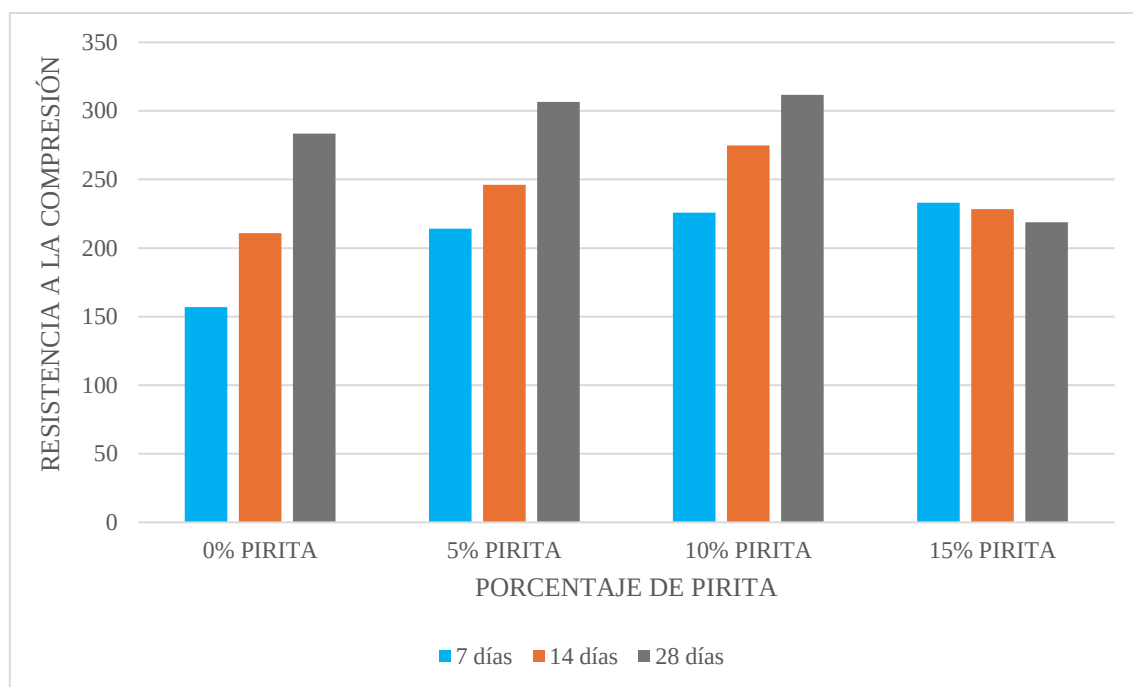
Tabla 22.

Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Promedio de ensayo a compresión				Variación de la resistencia a los 28 días
Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo			
	7 días	14 días	28 días	
Muestra Patrón	182.07	210.44	280.34	0.00%
5% de pirita	216.45	244.44	305.76	9.07%
10% de pirita	226.30	274.45	311.61	11.15%
15% de pirita	234.06	217.84	206.54	-26.32%

Figura 3.

Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$



3.14.5. Promedio de las resistencias a compresión del Grupo B: Probetas de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$

Con la información de la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y la Tabla 20, se presenta se presenta la Tabla 22 y la Figura 4 que son el promedio de la resistencia a compresión del concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$, para las edades de 7, 14 y 28 días

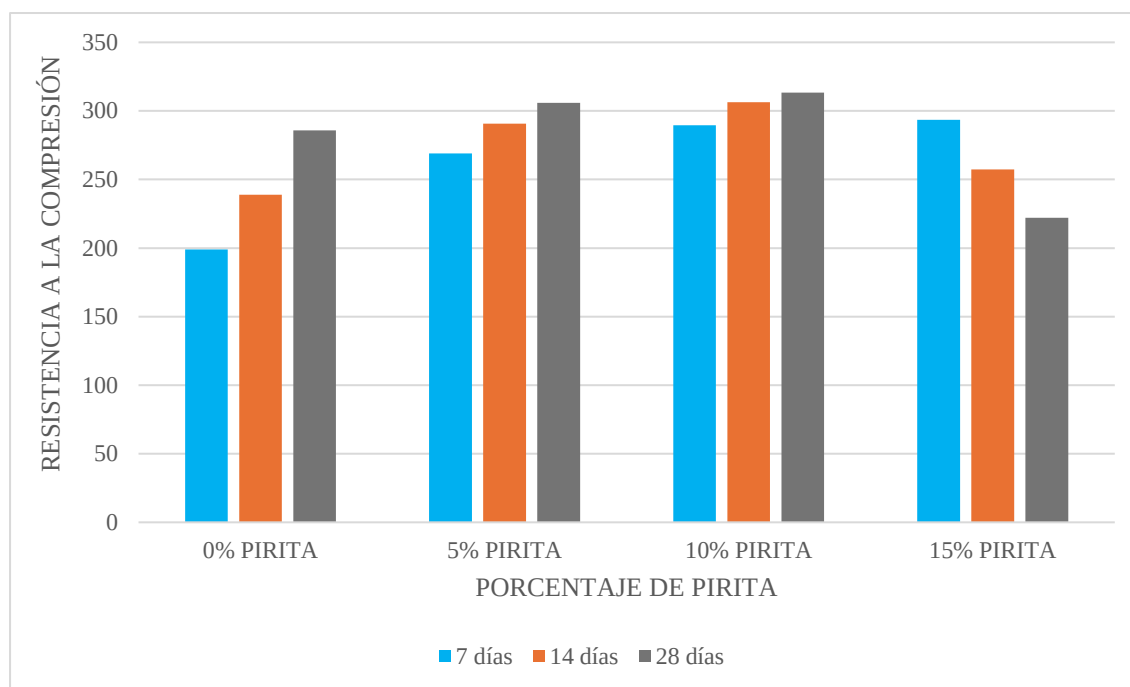
Tabla 23.

Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$

Promedio de ensayo a compresión			Variación de la resistencia a los 28 días	
Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo			
	7 días	14 días		28 días
Muestra Patrón	219.50	239.89	288.14	0.00%
5% de pirita	265.86	289.01	305.15	5.90%
10% de pirita	289.10	311.18	314.22	9.05%
15% de pirita	296.66	255.21	223.15	-22.56%

Figura 4.

Promedio de la resistencia a compresión del concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$



3.14.6. Variación de las resistencias del Grupo A con respecto al concreto patrón

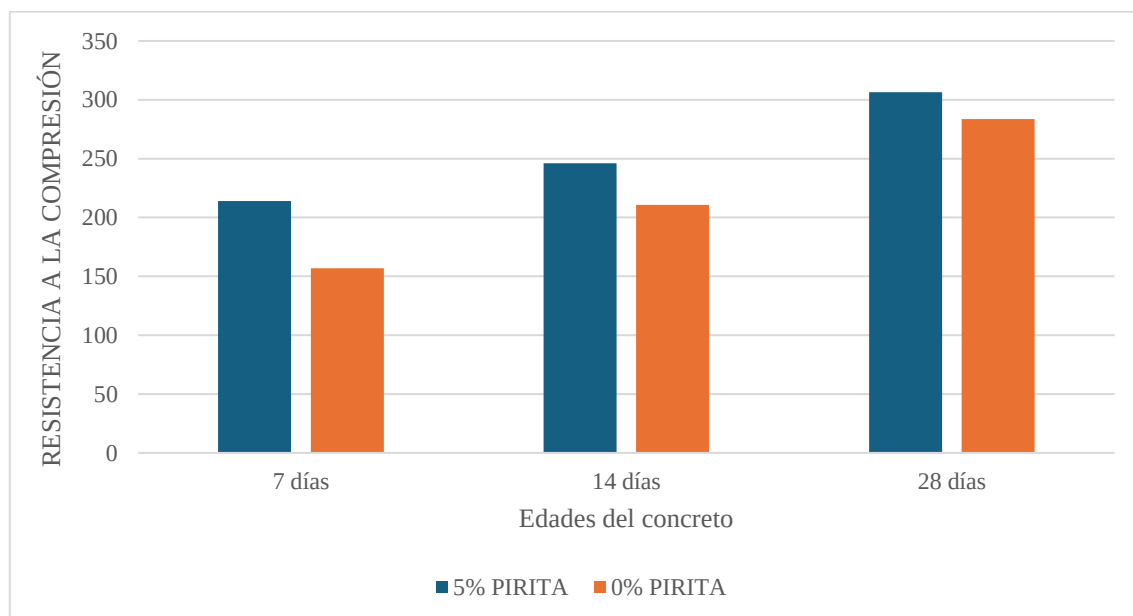
Tabla 24.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		Variación
	Adición del 5% de pirita	Muestra Patrón	
7 días	216.45 kg/cm ²	182.07 kg/cm ²	18.88%
14 días	244.44 kg/cm ²	210.44 kg/cm ²	16.16%
28 días	305.76 kg/cm ²	280.34 kg/cm ²	9.07%

Figura 5.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino

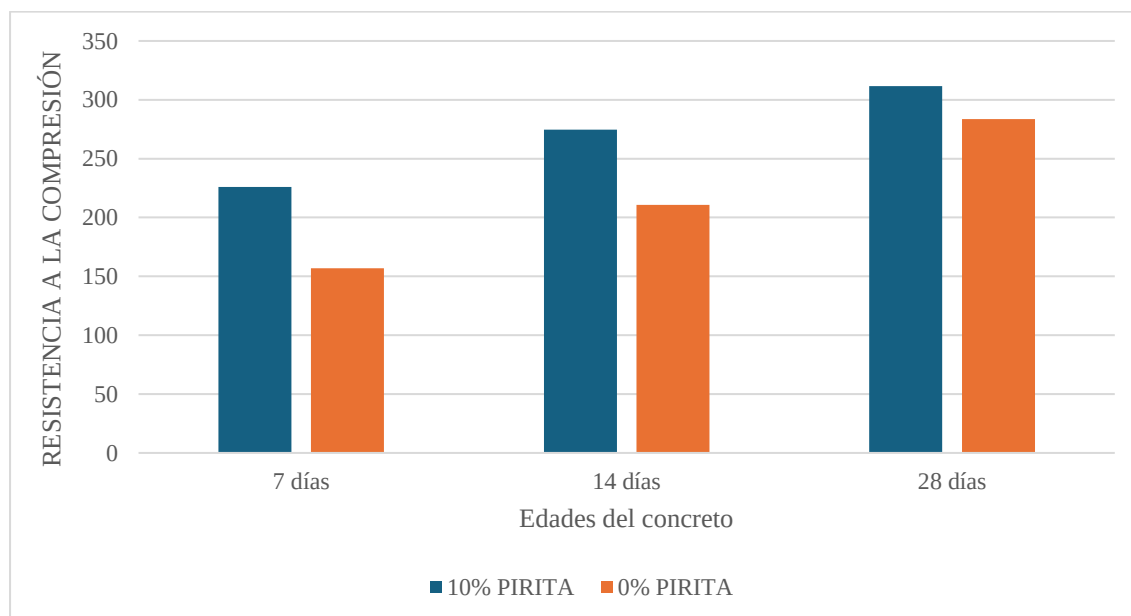
**Tabla 25.**

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		Variación
	Adición del 10% de pirita	Muestra Patrón	
7 días	226.30 kg/cm ²	182.07 kg/cm ²	24.29%
14 días	274.45 kg/cm ²	210.44 kg/cm ²	30.42%
28 días	311.61 kg/cm ²	280.34 kg/cm ²	11.15%

Figura 6.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino

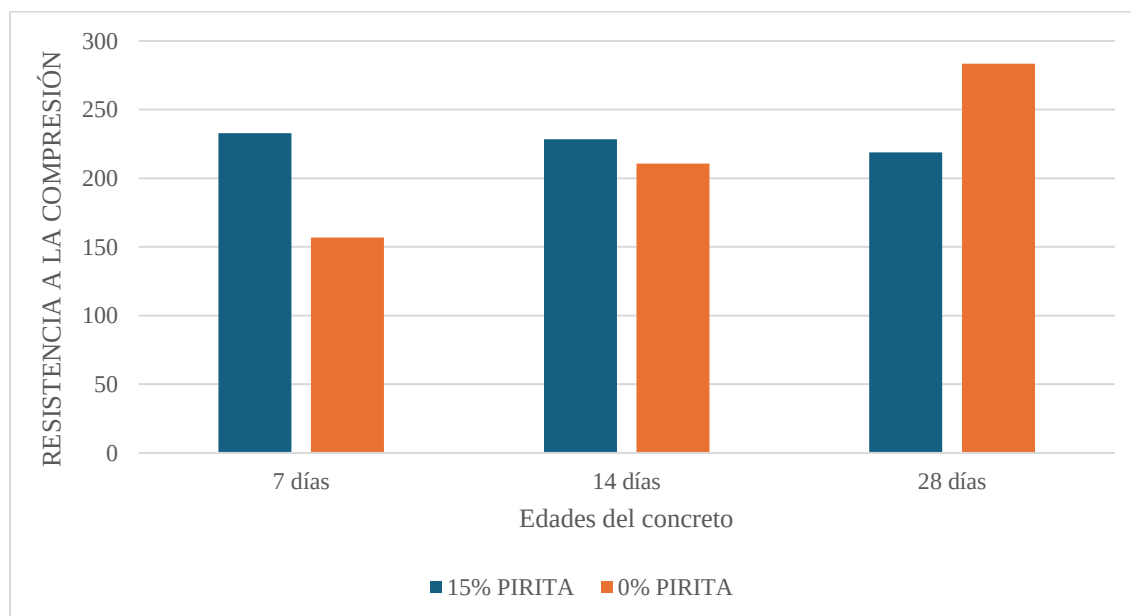
**Tabla 26.**

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		Variación
	Adición del 15% de pirita	Muestra Patrón	
7 días	234.06 kg/cm ²	182.07 kg/cm ²	28.55%
14 días	217.84 kg/cm ²	210.44 kg/cm ²	3.51%
28 días	206.54 kg/cm ²	280.34 kg/cm ²	-26.32%

Figura 7.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino



3.14.7. Variación de las resistencias del Grupo B con respecto al concreto patrón

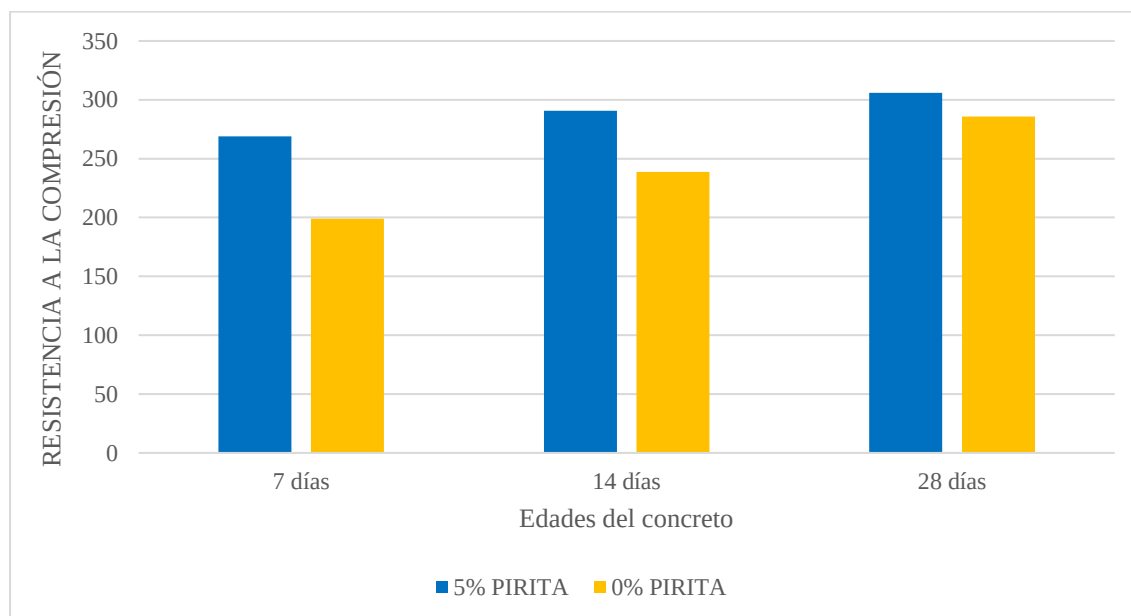
Tabla 27.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		Variación
	Adición del 5% de pirita	Muestra Patrón	
7 días	265.86 kg/cm ²	219.50 kg/cm ²	21.12%
14 días	289.01 kg/cm ²	239.89 kg/cm ²	20.48%
28 días	305.15 kg/cm ²	288.14 kg/cm ²	5.90%

Figura 8.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 5% de volumen del agregado fino

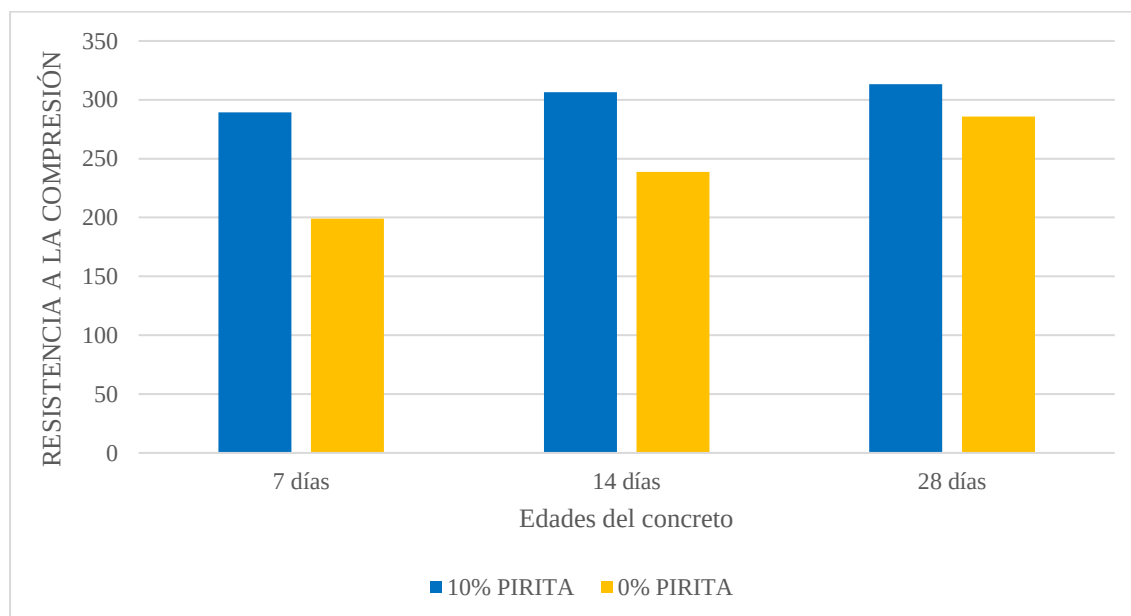
**Tabla 28.**

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		Variación
	Adición del 10% de pirita	Muestra Patrón	
7 días	289.10 kg/cm²	219.50 kg/cm²	31.71%
14 días	311.18 kg/cm²	239.89 kg/cm²	29.72%
28 días	314.22 kg/cm²	288.14 kg/cm²	9.05%

Figura 9.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 10% de volumen del agregado fino

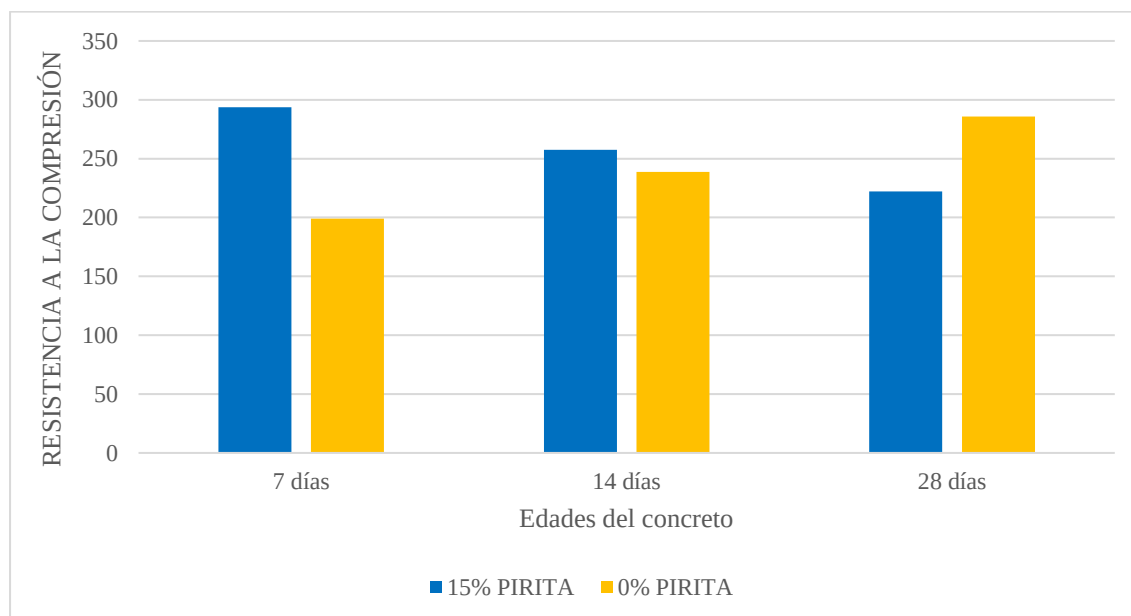
**Tabla 29.**

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		Variación
	Adición del 15% de pirita	Muestra Patrón	
7 días	296.66 kg/cm ²	219.50 kg/cm ²	35.15%
14 días	255.21 kg/cm ²	239.89 kg/cm ²	6.39%
28 días	223.15 kg/cm ²	288.14 kg/cm ²	-22.56%

Figura 10.

Variación de la resistencia de probetas de concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición del 15% de volumen del agregado fino



3.14.8. Resumen de las variaciones de las resistencias

Tabla 30.

Variación de porcentaje, con respecto al concreto patrón $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		
	Adición del 5% de pirita	Adición del 10% de pirita	Adición del 15% de pirita
7 días	18.88%	24.29%	28.55%
14 días	16.16%	30.42%	3.51%
28 días	9.07%	11.15%	-26.32%

Tabla 31.

Variación de porcentaje, con respecto al concreto patrón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Porcentaje de Adición de Pirita	Edad de Ensayo		
	Adición del 5% de pirita	Adición del 10% de pirita	Adición del 15% de pirita
7 días	21.12%	31.71%	35.15%
14 días	20.48%	29.72%	6.39%
28 días	5.90%	9.05%	-22.56%

Figura 11.

Relación de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y el porcentaje de adición de pirita

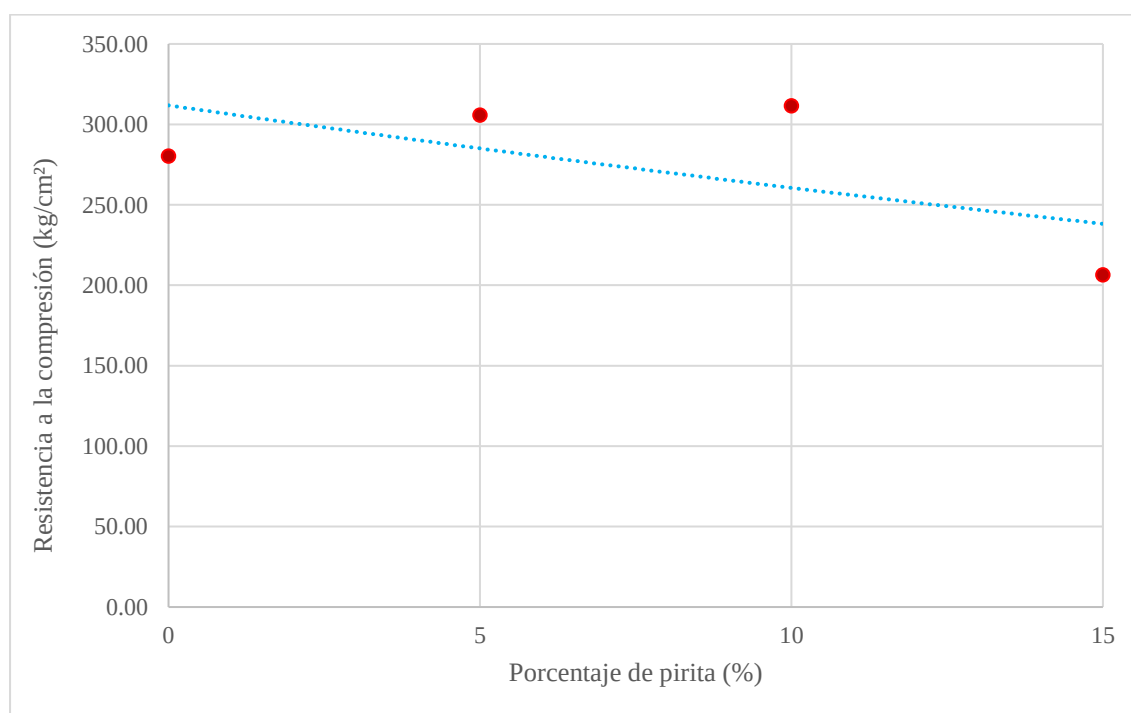
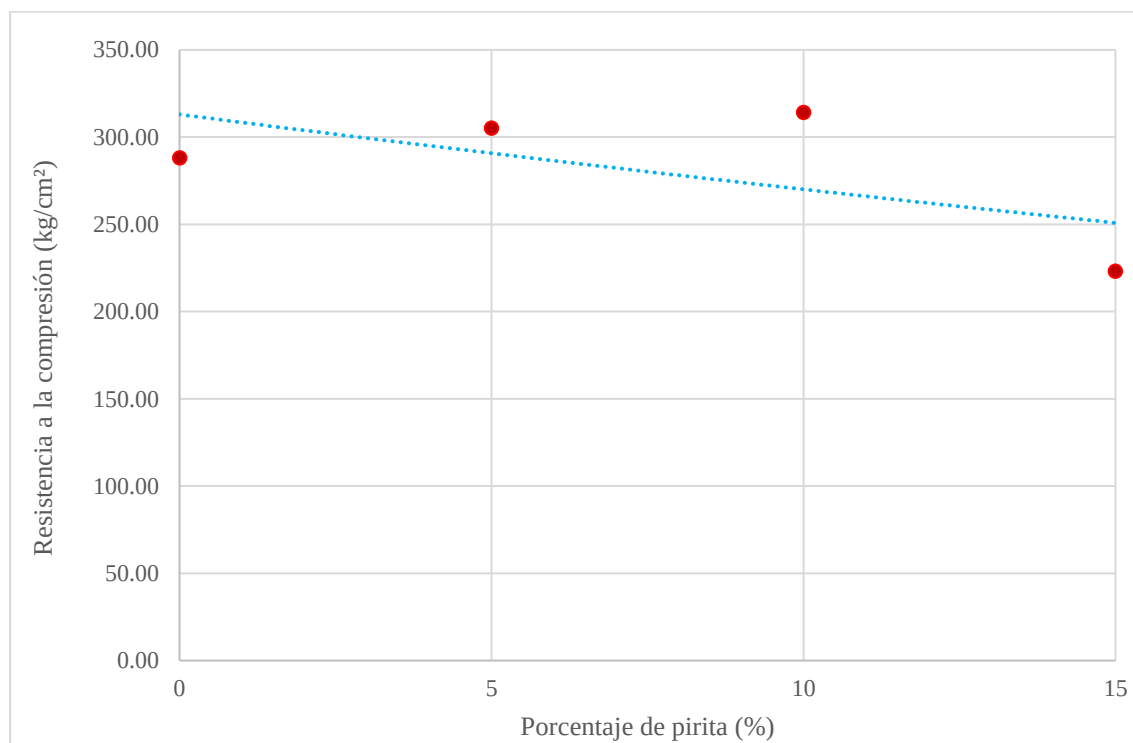


Figura 12.

Relación de la resistencia a la compresión del concreto $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$ y el porcentaje de adición de pirita



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como parte de la discusión e interpretación comparativa de los resultados de la presente investigación, podemos decir que:

En la Tabla 29 se presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión obtenida para el diseño de concreto con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a las edades de 7, 14 y 28 días, considerando la influencia de la adición de pirita en diferentes proporciones. Para una mejor interpretación, estos resultados fueron comparados con la mezcla patrón en cada una de las edades de ensayo. A los 28 días, se evidenció que las mezclas con adiciones del 5% y 10% de pirita alcanzaron incrementos del 9.07% y 11.15%, respectivamente, en comparación con el concreto patrón, lo que refleja un comportamiento positivo en términos de resistencia. Sin embargo, al adicionar un 15% de pirita, la resistencia se redujo en 26.32%, indicando que un exceso de este mineral genera un efecto adverso en la mezcla.

De manera similar, en la Tabla 31, correspondiente al diseño de concreto con $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$, se observa que a los 28 días las mezclas con un 5% y 10% de pirita presentaron incrementos promedio del 5.90% y 9.05%, respectivamente, respecto al patrón. No obstante, al emplear un 15% de pirita se registró una disminución del 22.56%, lo que confirma la tendencia negativa al aumentar la proporción de este material en la mezcla.

Estos resultados evidencian que la pirita, en proporciones moderadas (5% y 10%), contribuye a mejorar la resistencia a la compresión del concreto en ambas dosificaciones evaluadas, mientras que porcentajes mayores (15%) generan pérdidas significativas de resistencia.

En conclusión, los resultados muestran que la incorporación de pirita en porcentajes reducidos respecto al volumen del agregado fino genera un efecto positivo en la resistencia a la compresión del concreto. Específicamente, la adición de 5% y 10% de pirita contribuye a

mejorar las propiedades mecánicas, evidenciando incrementos significativos en comparación con la mezcla patrón. Sin embargo, cuando el porcentaje de incorporación se eleva a un 15%, el efecto se torna contraproducente, ya que la resistencia disminuye de manera considerable. Esto permite inferir que la pirita, en proporciones moderadas, puede considerarse para optimizar el desempeño del concreto, mientras que en mayores cantidades puede comprometer sus características estructurales.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Según lo que muestra la Tabla 29, para el concreto con resistencia de 210 kg/cm² y con una edad de 28 días, añadir un 15% de pirita disminuyó la resistencia a compresión en un 22.80%, lo que demuestra que esta adición no mejora el concreto en un 10% como lo propuse al inicio de esta investigación, por lo que la hipótesis queda descartada.

De manera similar, la Tabla 31 indica que para el concreto con resistencia de 240 kg/cm² y con una edad de 28 días, agregar pirita en un 15% del volumen de agregado fino bajó la resistencia en un 22.31% y no lo aumentó en un 12.5%, confirmando aún más que la pirita no aporta beneficios al concreto.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el caso del concreto diseñado con una resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la incorporación de pirita en proporciones del 5 % y 10 % respecto al volumen del agregado fino generó un efecto positivo en su desempeño, alcanzando a los 28 días resistencias de 305.76 kg/cm^2 y 311.61 kg/cm^2 , lo que representa incrementos del 9.07 % y 11.15 % respectivamente en comparación con el concreto patrón. Sin embargo, al adicionar un 15 % de pirita ocurrió lo contrario, ya que la resistencia obtenida fue de 206.54 kg/cm^2 , evidenciando una disminución del 26.32 % con respecto al patrón.
- En el caso del concreto diseñado con una resistencia $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$, la incorporación de pirita en proporciones del 5 % y 10 % respecto al volumen del agregado fino generó un efecto positivo en su desempeño, alcanzando a los 28 días resistencias de 305.15 kg/cm^2 y 314.22 kg/cm^2 , lo que representa incrementos del 5.90 % y 9.05 % respectivamente en comparación con el concreto patrón. Sin embargo, al adicionar un 15 % de pirita ocurrió lo contrario, ya que la resistencia obtenida fue de 223.15 kg/cm^2 , evidenciando una disminución del 22.56 % con respecto al patrón.
- Esto permite concluir que, si bien el uso de pirita en pequeñas proporciones puede mejorar las propiedades mecánicas del concreto, al aumentar su contenido se genera un efecto adverso sobre la resistencia, por lo que no resulta recomendable emplearla en porcentajes elevados.

5.2. RECOMENDACIONES

- Investigar la influencia de pirita con porcentajes similares, pero siendo reemplazadas por el agregado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cadillo Gamarra, A. R., & Mozo Lizarraga, E. J. (2021). *Influencia de la adición del mineral pirita en la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y asentamiento de un concreto $f'c=210$ kg/cm² para cimentaciones, Trujillo 2020* [Pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28744>
- Cemex. (2019, abril 15). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?* | Cemex Peru. <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
- DOMAT SAS. (2025, julio 18). *¿Qué es el concreto concreto? - Construcción moderna*. <https://domatltida.com/que-es-el-concreto-clave-en-la-construccion-moderna/>
- Kurt, Z., Ustabaş, İ., Aydın, M. E., & Ustabaş, C. İ. (2025). Pyrite effect: Correlation between compressive strength and durability properties for concrete samples. *Journal of Ceramics and Composites*, 1(1), 21-25.
- La Mina de Plata. (2005). Piedra de pirita, propiedades y usos. *LaMinadePlata.com*. <https://laminadeplata.com/blog/gemas-y-minerales/piedra-de-pirita-propiedades-y-usos/>
- Li, Z., Gorski, C. A., Thompson, A., Shallenberger, J. R., Kaladharan, G., & Radlińska, A. (2025). Dissolution kinetics of iron sulfide minerals in alkaline solutions. *Cement and Concrete Research*, 193, 107850. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2025.107850>
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5^a ed.). <http://www.pearsoned.co.uk>
- NTP 334.009. (2005). CEMENTOS. *Cementos Portland. Requisitos* (3^a ed.). INDECOPI.
- NTP 339.034. (2015). CONCRETO. *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras clínicas* (4^a ed.). INDECOPI. <https://es.scribd.com/document/417389764/Ntp-339-034-Metodo-de->

Ensayo-Normalizado-Para-La-Determinacion-de-La-Resistencia-a-La-Compresion-
Del-Concreto-en-Muestras-Cilindricas

- NTP 339.088. (2019). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos* (3ª ed.). INDECOPI.
- NTP 339.183. (2013). *CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio* (2ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.010. (2016). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras* (3ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.011. (2013). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)* (2ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.012. (2001). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (2ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.017. (2011). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad («Peso Unitario») y los vacíos en los agregados* (3ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.019. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles* (2ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.021. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso* (2ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.022. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino* (2ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.037. (2018). *AGREGADOS. Agregados para concreto* (4ª ed.). INDECOPI.
- NTP 400.043. (2015). *AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo* (2ª ed.). INDECOPI.

Osorio, J. D. (2022a, junio 1). Resistencia Mecánica del Concreto y Compresión. *360 EN*

CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion/>

Osorio, J. D. (2022b, junio 9). Hidratación del Concreto. *360 EN CONCRETO*.

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/hidratacion-del-concreto-agua-de-curado-y-agua-de-mezclado/>

Servicio Geológico Mexicano. (2025, agosto 8). *Los minerales*. Gobierno de México.

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Los-minerales.html>

APÉNDICES

APENDICE A

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

1. *Agregado grueso*

Tabla 32.

Cálculo del peso específico del agua

Descripción	Peso	Unidad
Peso de la fiola	175.000	g
Peso de la fiola + agua	673.000	g
Volumen de la fiola	500.000	cm ³
Peso específico	0.996	g/cm ³
Peso específico	996.000	Kg/cm ³

Tabla 33.

Cálculo del Factor F

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	7099.00	g
Peso del Molde + Agua	14081.00	g
Peso Agua	6.982	Kg
Factor F	142.653	1/m ³

Tabla 34.

Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	7099.00	7099.00	7099.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	16685.00	16745.00	16714.00	
Peso de la muestra suelta	g	9586.00	9646.00	9615.00	
Factor (f)	1/m ³	142.653	142.653	142.653	
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.367	1.376	1.372	1.372
Peso Unitario Suelto	Kg/m³	1367	1376	1372	1372

Tabla 35.*Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)*

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	7099.00	7099.00	7099.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	17874.00	17941.00	17905.00	
Peso de la muestra suelta	g	10775.00	10842.00	10806.00	
Factor (f)		142.653	142.653	142.653	
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.537	1.547	1.542	1.542
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	1537	1547	1542	1542

Tabla 36.*Peso Específico - ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021*

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	4129.00	4119.00	4124.00	
Peso de canastilla sumergida	g	2258.00	2258.00	2258.00	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2971.00	2976.00	2968.00	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1871.00	1861.00	1866.00	
Peso Específico de Masa	g/cm³	2.632	2.613	2.617	2.620
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm³	2.657	2.634	2.646	2.650
Peso Específico de Aparente	g/cm³	2.701	2.669	2.693	2.690

Tabla 37.*Absorción (%) ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021*

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2971.00	2976.00	2968.00	
Absorción (%)	%	0.976	0.806	1.078	1.000

Tabla 38*Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185*

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Recipiente	g	95.00	131.00	133.00	
Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	1595.00	1631.00	1633.00	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	1589.00	1624.00	1627.00	
Contenido de Humedad	W %	0.40	0.47	0.40	0.424

Tabla 39.*Ensayo partículas < N° 200 para el Agregado Grueso*

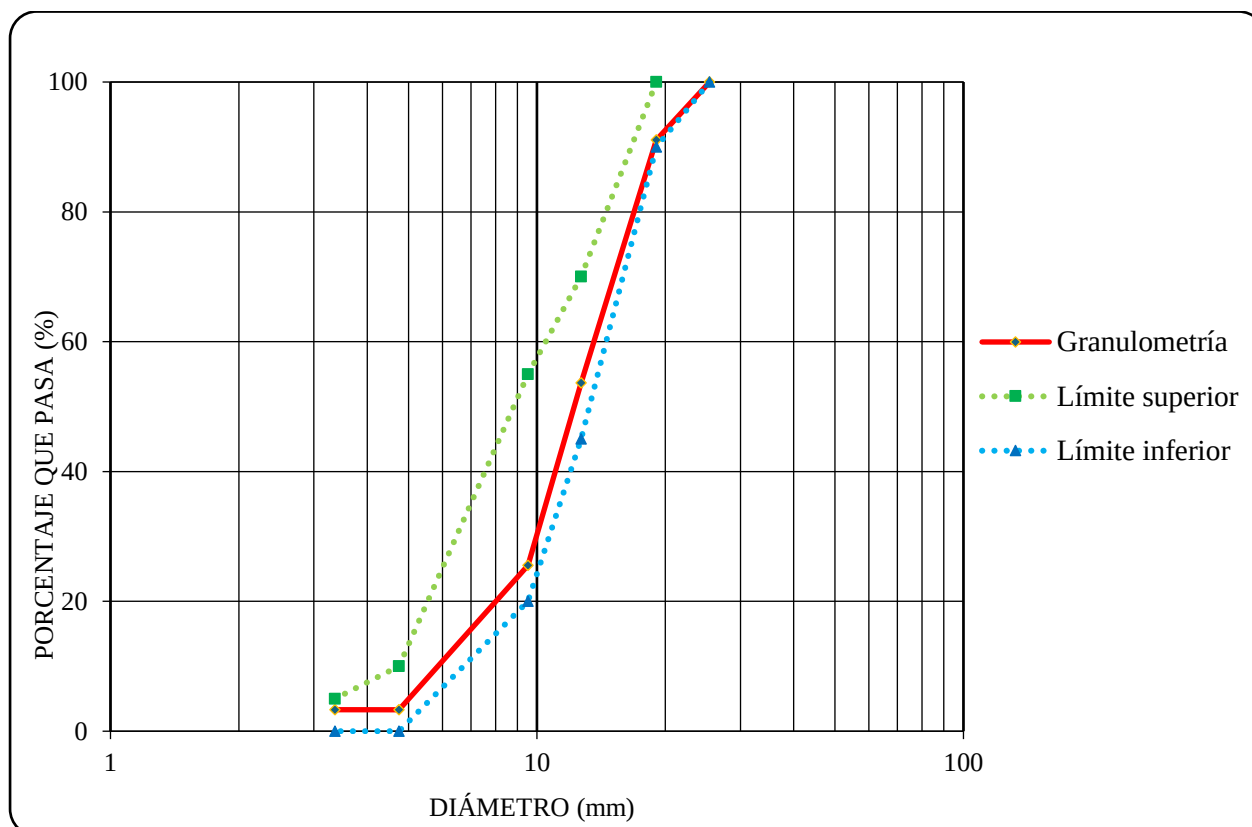
Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra Lavada	g	2997.00	2994.00	2995.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	3.00	6.00	5.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	0.100%	0.200%	0.167%	0.20%

Tabla 40.*Ensayo de Abrasión*

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev/min)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (g.)
B	Máquina de los Ángeles	11	32 - 34	500.00	3/4"	5000.00
N° DE ENSAYOS				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (g.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3666	3671	3674
% Desg. = ((Pi - Pf) / Pi) x 100				26.68	26.58	26.52
Abrasión % Desgaste Promedio					26.60	

Tabla 41.*Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso*

Peso Seco Inicial:		6999.00			
Peso seco menor que 0.075 mm. (Malla N° 200):		0.00			
Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	624.00	8.92	8.92	91.08
1/2"	12.70	2621.00	37.45	46.36	53.64
3/8"	9.53	1965.00	28.08	74.44	25.56
N°4	4.75	1557.00	22.25	96.69	3.31
N°8	3.36	0.00	0.00	96.69	3.31
Cazoleta	--	232	3.31	100.00	0.00
TOTAL		6999.00			
MÓDULO DE FINURA =		6.635			

Figura 13.*Curva de distribución granulométrica del agregado grueso*

2. Agregado fino

Tabla 42.

Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	7099.00	7099.00	7099.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	17851.00	17721.00	17824.00	
Peso de la muestra suelta	g	10752.00	10622.00	10725.00	
Factor (f)		142.653	142.653	142.653	
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.534	1.515	1.530	1.526
Peso Unitario Suelto	Kg/m³	1534	1515	1530	1526

Tabla 43.

Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	7099.00	7099.00	7099.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	18654.00	18721.00	18798.00	
Peso de la muestra suelta	g	11555.00	11622.00	11699.00	
Factor (f)	1/m ³	142.653	142.653	142.653	
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.648	1.658	1.669	1.658
Peso Unitario Compactado	Kg/m³	1648	1658	1669	1658

Tabla 44.

Peso Específico / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola	g	175.0	175.0	175.0	
Peso de la fiola +agua hasta menisco	g	673.0	673.0	673.0	
peso de la fiola +agua + muestra	g	984.20	984.00	984.10	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	492.50	493.00	491.00	

Volumen de agua añadida al frasco (g)	g	309.20	309.00	309.10	
Peso Específico de Masa	g/m³	2.581	2.581	2.572	2.580
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m³	2.621	2.618	2.619	2.620
Peso Específico de Aparente	g/m³	2.687	2.679	2.699	2.690

Tabla 45.

Absorción (%) / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	492.50	493.00	491.00	
Absorción (%)	%	1.523	1.420	1.833	1.600

Tabla 46.

Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Recipiente	g	56.00	54.00	72.00	
Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	356.00	354.00	372.00	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	337.00	336.00	355.00	
Contenido de Humedad	W %	6.76	6.38	6.01	6.38

Tabla 47.

Ensayo partículas < N° 200 para el Agregado Fino

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	487.00	488.50	488.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	13.00	11.50	12.00	
Material que pasa tamiz N° 200	%	2.60%	2.30%	2.40%	2.40%

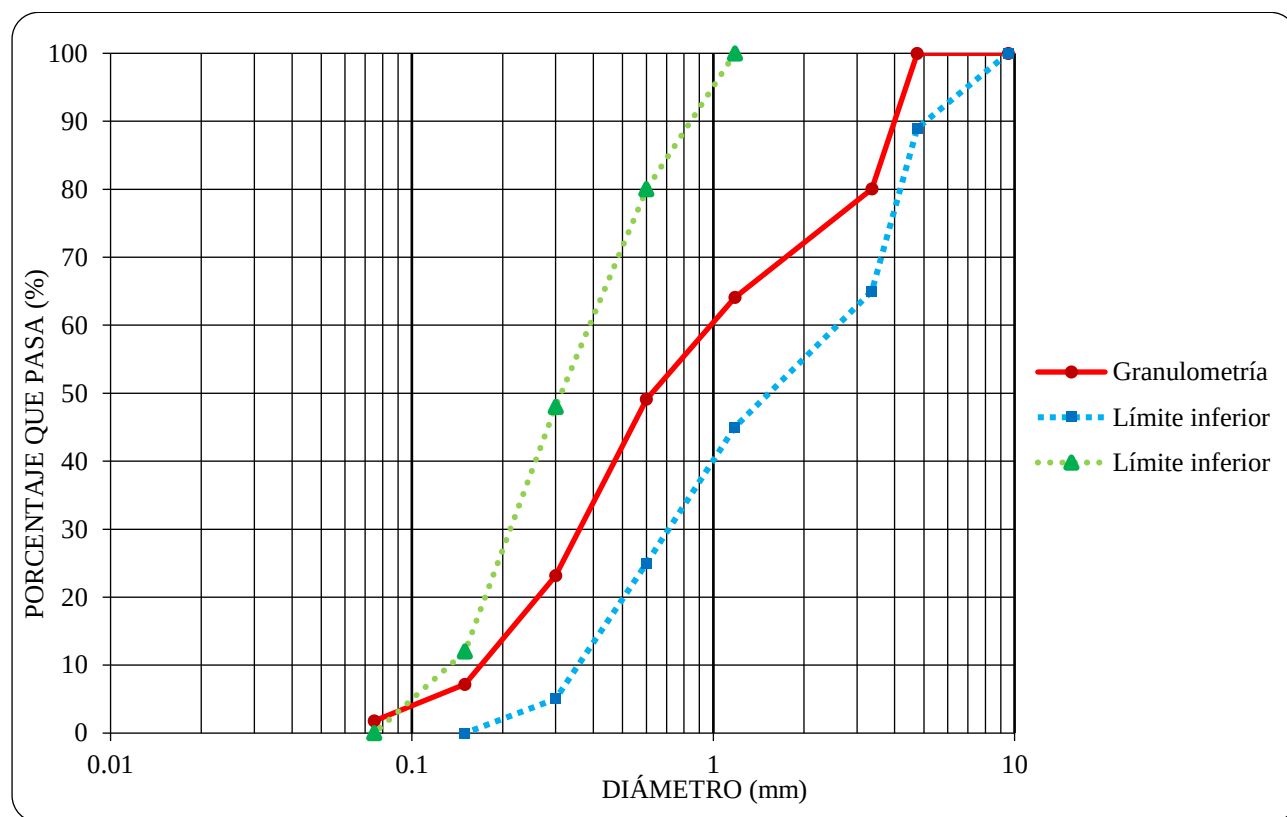
Tabla 48.

Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino

Peso Seco Inicial		501.00			
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm		9.00			
Nº	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
Nº8	3.36	100.00	19.96	19.96	80.04
N 16	1.18	80.00	15.97	35.93	64.07
N 30	0.60	75.00	14.97	50.90	49.10
N 50	0.30	130.00	25.95	76.85	23.15
N 100	0.15	80.00	15.97	92.81	7.19
N 200	0.075	27.00	5.39	98.20	1.80
Cazoleta	--	9	1.80	100.00	0.00
TOTAL		501.0			
MÓDULO DE FINURA =				2.76	

Figura 14.

Curva de distribución granulométrica del agregado fino



APÉNDICE B

DISEÑO DE MEZCLA (PRUEBA)

Diseño de mezcla de prueba para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Se tiene que tener en cuenta los datos obtenidos en el ítem anterior para poder realizar el diseño del concreto para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Datos:

➤ Agregado fino

Peso unitario suelto seco	1526 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1658 kg/m^3
Peso específico de masa	2.580 g/cm^3
Peso específico sss	2.620 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	6.380%
Absorción	1.600%
Módulo de finura	2.92
% que pasa malla N° 200	2.400

➤ Agregado grueso

Peso unitario suelto seco	1372 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1542 kg/m^3
Peso específico de masa	2.620 g/cm^3
Peso específico sss	2.650 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	0.424%
Absorción	1.000%
Módulo de finura	6.64
Abrasión	27.00%
% que pasa malla N° 200	0.200

➤ **Cemento**

Tipo Portland Tipo I – Pacasmayo

Peso específico 3.14 gr/cm³

- **Resistencia a compresión promedio (f'c):** En relación con el nivel de control de calidad en obra, se considera que las condiciones corresponden a un nivel bueno, debido a la adecuada calidad de los materiales empleados durante la ejecución.

La resistencia a la compresión del concreto (f'c) se determina utilizando la siguiente tabla:

Tabla 49.

Factor f'c según el nivel de obra

Nivel de control de obra	Factor para f'c _r		
Excelente	1.15		
<i>Buena</i>	<i>1.20</i>	<i>a</i>	<i>1.25</i>
Regular o mala	1.35	a	1.50

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Calculamos:

$$f'c = 1.20 * 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 252 \text{ kg/cm}^2$$

- **Asentamiento:** Respecto al asentamiento utilizado, este se establece de acuerdo con el tipo de consistencia requerida para el concreto:

Tabla 50.

Asentamiento según consistencia del concreto

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
<i>Plástica</i>	<i>3" a 4"</i>
Húmeda	≥ 5"

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene:

Consistencia : Plástica

Asentamiento : 3" – 4"

- **Tamaño máximo nominal:** De acuerdo a la granulometría tenemos:

$$\text{T.M.N.} = 3/4"$$

- **Porcentaje de aire:** En cuanto al aire atrapado en la mezcla, está determinado según el tamaño máximo nominal del agregado. Se determina con la siguiente tabla:

Tabla 51.

Aire atrapado según el tamaño máximo nominal

Asentamiento	Tamaño Máximo Nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
Contenido de aire atrapado (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene

Aire atrapado : 2.0%

- **Contenido de agua:** En relación con el contenido de agua utilizado en la mezcla, este depende principalmente del asentamiento requerido y del tamaño máximo nominal del agregado.

El valor del contenido de agua se obtiene a partir de la siguiente tabla, considerando como datos de referencia un asentamiento (slump) de 3" a 4", concreto sin aire incorporado y agregados:

Tabla 52.

Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.

Tamaño Máx. del agregado	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	205	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Tenemos:

Agua : 205 l/m³

- **Relación agua/cemento:** respecto a la relación agua/cemento, esta se define en función de la resistencia a compresión requerida a los 28 días.

La relación agua/cemento se determina utilizando la siguiente tabla. Para el caso de un concreto con $f'c=210$ kg/cm², se obtiene el siguiente valor de a/c:

Tabla 53.

Relación agua/cemento dependiendo a la resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión a los 28 días	Relación agua/cemento	
	Cemento sin aire incorporado	Cemento con aire incorporado
f'_{cr} (kg/cm ²)		
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Al no tener la resistencia calculada dentro de la tabla, se interpola los datos más cercados a los datos obtenidos y así obtener la relación agua/cemento (a/c):

250.00 ----- 0.62
 252.00 ----- a/c
 200.00 ----- 0.70

Se tiene:

$$a/c = 0.617$$

- **Contenido de cemento:** En cuanto al contenido de cemento, depende de la relación a/c = 0.617 y el contenido de agua $a = 205 \text{ l/m}^3$ que hay en los datos anteriores, con ello se calcula:

$$a/c = 0.617 \quad \Rightarrow \quad 205/C = 0.684$$

$$C = 332.150 \text{ kg.}$$

$$C = 7.82 \text{ bolsas}$$

- **Selección del peso del agregado grueso:** En cuanto a la selección del agregado grueso, depende al módulo de fineza obtenido en el ensayo de análisis granulométrico. Se determina el volumen del agregado grueso seco y compactado con la siguiente tabla:

Tabla 54.

Volumen del agregado grueso seco y compactado

Tamaño Máximo del agregado	Módulo de fineza			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

- Al no tener en la tabla el módulo de fineza exacta de los ensayos, se interpola los datos más cercanos a los obtenidos en el ensayo:

2.800 ----- 0.62

2.92 ----- V_{ag}

3.000 ----- 0.6

Se tiene que el volumen de agregado grueso seco y compactado es de:

$$V_{ag} = 0.608$$

A continuación, se calcula el peso del agregado grueso:

$$b = 0.608 * 1.01147 * b_o$$

Donde:

b_o : peso unitario seco y compactado del agregado grueso

Reemplazando:

$$b = 0.608 * 1.01147 * 1542 \text{ kg/m}^3$$

$$b = 948.290 \text{ kg/m}^3$$

- **Cantidad del agregado fino:** En cuanto a la cantidad del agregado fino, se usa el método de volúmenes absolutos y por eso se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Cemento:} \quad 332.15 \text{ kg} / 3140 \text{ kg/m}^3 = 0.106 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 205 \text{ l} / 1000 \text{ l/m}^3 = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire:} \quad 2.0 / 100 = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 948.290 \text{ kg} / 2650 \text{ kg/m}^3 = 0.358 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto} = 0.689 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del volumen del agregado fino**

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0.689 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{Agregado fino} = 0.311 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del peso en estado seco del agregado fino**

$$\text{Peso del agregado fino} = 0.311 \text{ m}^3 * 2620.00 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow 815.802 \text{ kg}$$

- **Valores de diseño en estado seco**

$$\text{Cemento} = 332.150 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} = 205 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado fino seco} = 815.80 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso seco} = 948.29 \text{ kg/m}^3$$

- **Corrección por humedad de los agregados:** Debido a que las humedades naturales de los agregados son diferentes a las de absorción es necesario hacer esta corrección por contenido de humedad:

$$\text{Peso húmedo del agregado fino} = 867.850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo del agregado grueso} = 952.31 \text{ kg/m}^3$$

- **Determinación de la humedad superficial de los agregados:** Para el cálculo de la humedad superficial, se usa la diferencia entre el porcentaje de contenido de humedad y el porcentaje de absorción.

$$\text{Agregado fino} = 4.78\%$$

$$\text{Agregado grueso} = -0.58\%$$

- **Aporte de humedad de los agregados:** Para determinar el aporte de agua a la mezcla, se usa el producto del porcentaje de humedad superficial por el peso de cada agregado.

$$\text{Agregado fino} = 38.9953 \quad \text{lt}$$

$$\underline{\text{Agregado grueso} = -5.4621 \quad \text{lt}}$$

$$\text{Aporte total} = 33.533 \quad \text{lt}$$

- **Agua efectiva de mezclado:** En cuanto al agua efectiva de diseño se obtiene de la diferencia entre el agua obtenida anteriormente y el aporte de agua total a la mezcla.

$$\text{Agua efectiva} = 171.467 \quad \text{lt}$$

- **Materiales corregidos por humedad**

$$\text{Cemento} = 332.150 \quad \text{kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 171.467 \quad \text{lt}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 867.850 \quad \text{kg}$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 952.310 \quad \text{kg}$$

$$\text{Aire total} = 2.00\%$$

Dosificación en peso:

$$\text{Cemento} = 1$$

$$\text{Agregado fino} = 2.61$$

$$\text{Agregado grueso} = 2.87$$

$$\text{Agua} = 21.94 \quad \text{lt/bls}$$

Conversión de dosificación en peso a volumen:

➤ Materiales

Tabla 55.

Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso

	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto seco	1526 kg/m ³	1372 kg/m ³
Contenido de humedad	6.380%	0.424%

➤ Materiales corregidos por humedad

Cemento	=	42.50 kg/bls
Agua efectiva	=	22.22 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	111.045 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	121.852 kg/bls

➤ Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Agregado fino	=	1623.359 kg/m ³	Agregado
grueso	=	1377.817 kg/m ³	

➤ Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Agregado fino	=	45.968 kg/pie ³
Agregado grueso	=	39.015 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50 kg/pie ³

➤ Dosificación en volumen

Cemento	=	1
Agregado fino	=	2.42
Agregado grueso	=	3.12
Agua	=	21.94 lt/bls

1 : 2.42 : 3.12 : 21.94 lt/bls

Proporción por tanda (0.020 m³)

Usando la fórmula: $V = A_B \times H$; para una sola probeta de prueba se obtendría un volumen de: $V = 0.005301 \text{ m}^3$, haciendo que para que 3 probetas de prueba, se requeriría un volumen de: $V = 0.010603 \text{ m}^3$, por lo que la cantidad de materiales se muestra.

Cemento	=	6643.0 g
Agua efectiva	=	3429.6 g
Agregado fino húmedo	=	17357.0 g
Agregado grueso húmedo	=	19462.2 g

RESULTADO ENSAYO A COMPRESIÓN

Se realizó la elaboración de 2 probetas de 6" x 12" las cuales se ensayaron a los 3 días, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 56.

Resultados de ensayo de a compresión de probetas de prueba con edad de 3 días

RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 3 DÍAS								
MUESTRA	Ø SUP. (cm)	Ø INF. (cm)	Ø PROM. (cm)	ÁREA (m²)	ALTURA (cm)	CARGA ÚLTIMA (TN)	f _c (Kg/cm²)	f _c promedio
M1	15.20	15.20	15.2	181.458	30.10	28	154.3053	158.74
M²	15.30	15.30	15.30	183.854	30.40	30	163.1731	

Como se obtiene una resistencia a la compresión de 158.74 kg/cm² a los 3 días, lo proyectamos a los 28 días multiplicando por un factor de 1.5, basado en la evolución típica de la resistencia del concreto.

Se obtiene un $f'c$ de 238.11 kg/cm^2 a los 28 días, para realizar el reajuste aplicamos la Ley de Powers.

CORRECCIÓN POR RESISTENCIA

Se indica que: $R: 158.74 \text{ kg/cm}^2 \times 1.5 = 238.11 \text{ kg/cm}^2$

Usando una ecuación derivada del modelo de Powers:

$$R = 2380X^3$$

Dónde determinamos que X es 0.464229615, por lo que usando:

$$X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

Sabiendo que la relación a/c es 0.617 determinamos el valor de α , que viene siendo:

$$\alpha = 0.574.$$

Ahora, conociendo el grado de hidratación del concreto y la resistencia a la compresión reajustamos la relación a/c , por lo que para un $R = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Calculamos el nuevo grado de hidratación, X :

$$X = \sqrt[3]{\frac{R}{2380}} \rightarrow X = 0.445$$

Ahora sabiendo que $\alpha = 0.574$ y $X = 0.445$, obtenemos la nueva relación a/c .

$$X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

Obteniendo como nueva relación agua cemento:

$$a/c = 0.650$$

DISEÑO DE MEZCLA (PATRÓN)

Diseño de mezcla patrón para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Se tiene que tener en cuenta los datos obtenidos en el ítem anterior para poder realizar el diseño del concreto para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Datos:

➤ Agregado fino

Peso unitario suelto seco	1526 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1658 kg/m^3
Peso específico de masa	2.580 g/cm^3
Peso específico sss	2.620 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	6.380%
Absorción	1.600%
Módulo de finura	2.92
% que pasa malla N° 200	2.400

➤ Agregado grueso

Peso unitario suelto seco	1372 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1542 kg/m^3
Peso específico de masa	2.620 g/cm^3
Peso específico sss	2.650 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	0.424%
Absorción	1.000%
Módulo de finura	6.64
Abrasión	27.00%
% que pasa malla N° 200	0.200

➤ Cemento

Tipo Portland Tipo I – Pacasmayo

Peso específico 3.14 gr/cm³

- **Resistencia a compresión promedio (f'_c):** En relación con el nivel de control de calidad en obra, se considera que las condiciones corresponden a un nivel bueno, debido a la adecuada calidad de los materiales empleados durante la ejecución.

La resistencia a la compresión del concreto (f'_c) se determina utilizando la siguiente tabla:

Tabla 57.

Factor f_c según el nivel de obra

Nivel de control de obra	Factor para f'_{cr}		
Excelente	1.15		
<i>Buena</i>	<i>1.20</i>	<i>a</i>	<i>1.25</i>
Regular o mala	1.35	a	1.50

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Calculamos:

$$f'_c = 1.20 * 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 252 \text{ kg/cm}^2$$

- **Asentamiento:** Respecto al asentamiento utilizado, este se establece de acuerdo con el tipo de consistencia requerida para el concreto. El valor del asentamiento se obtiene conforme a la siguiente tabla:

Tabla 58.

Asentamiento según consistencia del concreto

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
<i>Plástica</i>	<i>3" a 4"</i>
Húmeda	$\geq 5"$

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene

Consistencia : Plástica

Asentamiento : 3" – 4"

- **Tamaño máximo nominal:** De acuerdo a la granulometría tenemos:

$$\text{T.M.N.} = 3/4"$$

- **Porcentaje de aire:** En cuanto al aire atrapado en la mezcla, está determinado según el tamaño máximo nominal del agregado. Se determina con la siguiente tabla:

Tabla 59.

Aire atrapado según el tamaño máximo nominal

Asentamiento	Tamaño Máximo Nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
Contenido de aire atrapado (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene

Aire atrapado : 2.0%

- **Contenido de agua:** En relación con el contenido de agua utilizado en la mezcla, este depende principalmente del asentamiento requerido y del tamaño máximo nominal del agregado.

El valor del contenido de agua se obtiene a partir de la siguiente tabla, considerando como datos de referencia un asentamiento (slump) de 3" a 4", concreto sin aire incorporado y agregados:

Tabla 60.

Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.

Tamaño Máx. del agregado	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	205	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Tenemos:

Agua : 205 l/m³

- **Relación agua/cemento:** a partir de la resistencia proyectada a 28 días ($R=238.11$ kg/cm²), se aplicó una ecuación derivada del modelo de Powers para determinar el grado de hidratación del concreto.

Posteriormente, considerando la relación inicial a/c de 0.617 y el valor del parámetro $\alpha=0.574$, se recalculó el grado de hidratación y se ajustó la relación agua/cemento para que cumpla con la resistencia a compresión requerida.

Como resultado, se obtiene que la nueva relación agua/cemento (a/c) es de 0.65.

- **Contenido de cemento:** En cuanto al contenido de cemento, depende de la relación a/c = 0.5 y el contenido de agua a = 205 l/m³ que hay en los datos anteriores, con ello se calcula:

$$a/c = 0.65 \quad \Rightarrow \quad 205/C = 0.650$$

$$C = 315.380 \text{ kg.}$$

$$C = 7.42 \text{ bolsas}$$

- **Selección del peso del agregado grueso:** En cuanto a la selección del agregado grueso, depende al módulo de fineza obtenido en el ensayo de análisis granulométrico. Se determina el volumen del agregado grueso seco y compactado con la siguiente tabla:

Tabla 61.

Volumen del agregado grueso seco y compactado

Tamaño Máximo del agregado	Módulo de fineza			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

- Al no tener en la tabla el módulo de fineza exacta de los ensayos, se interpola los datos más cercanos a los obtenidos en el ensayo:

2.800 ----- 0.62

2.92 ----- V_{ag}

3.000 ----- 0.6

Se tiene que el volumen de agregado grueso seco y compactado es de:

$$V_{ag} = 0.608$$

A continuación, se calcula el peso del agregado grueso:

$$b = 0.608 * 1.01147 * b_o$$

Donde:

b_o : peso unitario seco y compactado del agregado grueso

Reemplazando:

$$b = 0.608 * 1.01147 * 1542 \text{ kg/m}^3$$

$$b = 948.290 \text{ kg/m}^3$$

- **Cantidad del agregado fino:** En cuanto a la cantidad del agregado fino, se usa el método de volúmenes absolutos y por eso se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Cemento:} \quad 332.15 \text{ kg} / 3140 \text{ kg/m}^3 \quad = 0.100 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 205 \text{ l} / 1000 \text{ l/m}^3 \quad = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire:} \quad 2.0 / 100 \quad = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 948.290 \text{ kg} / 2650 \text{ kg/m}^3 \quad = 0.358 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto} \quad = 0.683 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del volumen del agregado fino**

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0.683 \text{ m}^3 \quad \Rightarrow \quad \text{Agregado fino} = 0.317 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del peso en estado seco del agregado fino**

$$\text{Peso del agregado fino} = 0.317 \text{ m}^3 * 2620.00 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow 829.791 \text{ kg}$$

- **Valores de diseño en estado seco**

$$\text{Cemento} \quad = \quad 315.385 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} \quad = \quad 205 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado fino seco} \quad = \quad 829.79 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso seco} \quad = \quad 948.29 \text{ kg/m}^3$$

- **Corrección por humedad de los agregados:** Debido a que las humedades naturales de los agregados son diferentes a las de absorción es necesario hacer esta corrección por contenido de humedad:

$$\text{Peso húmedo del agregado fino} = 882.731 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo del agregado grueso} = 952.31 \text{ kg/m}^3$$

- **Determinación de la humedad superficial de los agregados:** Para el cálculo de la humedad superficial, se usa la diferencia entre el porcentaje de contenido de humedad y el porcentaje de absorción.

$$\text{Agregado fino} = 4.78\%$$

$$\text{Agregado grueso} = -0.58\%$$

- **Aporte de humedad de los agregados:** Para determinar el aporte de agua a la mezcla, se usa el producto del porcentaje de humedad superficial por el peso de cada agregado.

$$\text{Agregado fino} = 39.6640 \text{ lt}$$

$$\text{Agregado grueso} = -5.4621 \text{ lt}$$

$$\text{Aporte total} = 34.202 \text{ lt}$$

- **Agua efectiva de mezclado:** En cuanto al agua efectiva de diseño se obtiene de la diferencia entre el agua obtenida anteriormente y el aporte de agua total a la mezcla.

$$\text{Agua efectiva} = 170.798 \text{ lt}$$

- **Materiales corregidos por humedad**

$$\text{Cemento} = 315.385 \text{ kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 170.798 \text{ lt}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 882.731 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 952.310 \text{ kg}$$

$$\text{Aire total} = 2.00\%$$

Dosificación en peso:

$$\text{Cemento} = 1$$

$$\text{Agregado fino} = 2.80$$

Agregado grueso	=	3.02
Agua	=	23.02 lt/bls

Conversión de dosificación en peso a volumen:

➤ Materiales

Tabla 62.

Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso

	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto seco	1526 kg/m ³	1372 kg/m ³
Contenido de humedad	6.380%	0.424%

➤ Materiales corregidos por humedad

Cemento	=	42.50 kg/bls
Agua efectiva	=	23.02 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	118.953 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	128.330 kg/bls

➤ Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Agregado fino	=	1623.359 kg/m ³	Agregado
grueso	=	1377.817 kg/m ³	

➤ Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Agregado fino	=	45.968 kg/pie ³
Agregado grueso	=	39.015 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50 kg/pie ³

➤ Dosificación en volumen

Cemento	=	1
Agregado fino	=	2.59
Agregado grueso	=	3.29

$$\text{Agua} = 23.02 \text{ lt/bls}$$

$$1 : 2.59 : 3.29 : 23.02 \text{ lt/bls}$$

Proporción por tanda (0.040 m³)

Usando la fórmula: $V = A_B \times H$; para una sola probeta patrón se obtendría un volumen de: $V = 0.005301 \text{ m}^3$, haciendo que para que 24 probetas, se requeriría un volumen de: $V = 0.127235 \text{ m}^3$, por lo que la cantidad de materiales se muestra.

$$\text{Cemento} = 44153.8 \text{ g} = 44.15 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 23911.7 \text{ g} = 23.91 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 123582.4 \text{ g} = 123.58 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 133323.4 \text{ g} = 133.32 \text{ Kg}$$

DISEÑO DE PIRITA $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

A partir de lo mencionado anteriormente, se han establecido los valores de diseño correspondientes a un concreto con resistencia especificada $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

En función de estos datos, se define también la base para determinar la cantidad óptima de pirita que será incorporada a la mezcla, con el objetivo de evaluar su influencia en la resistencia a compresión del concreto.

Considerando la dosificación en términos de volumen para el diseño de mezcla con $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, se tienen los siguientes valores:

$$\text{Cemento:} \quad 332.15 \text{ kg} / 3140 \text{ kg/m}^3 = 0.100 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 205 \text{ l} / 1000 \text{ l/m}^3 = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire:} \quad 2.0 / 100 = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 948.290 \text{ kg} / 2650 \text{ kg/m}^3 = 0.358 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto} = 0.683 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen del agregado fino

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0.683 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{Agregado fino} = \mathbf{0.317 \text{ m}^3}$$

Esta proporción servirá como referencia para elaborar las probetas experimentales, sobre las cuales se evaluará el efecto de la adición de pirita en las propiedades mecánicas del concreto.

Para eso, se debe indicar primero los datos de la pirita obtenidos en laboratorio como lo es el peso específico, mismas que se muestran en la tabla 63.

Tabla 63.

Propiedades físicas de la Pirita

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la fiola	g	175	175	175	175
Peso de la fiola + agua hasta el menisco	g	673	673	673	673
Peso de la fiola + agua + muestra	g	1153	1152.5	1153.5	1153
Peso de la muestra superficialmente seca	g	480	479.5	480.5	480
Peso de la muestra secada al horno	g	478	477.8	478.2	478
Volumen de agua añadida al frasco (g)	g	303	303.5	302.5	303
Peso Específico de Masa	g/cm ³	4.95	4.94	4.955	4.95
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm ³	4.97	4.96	4.975	4.97
Peso Específico Aparente	g/cm ³	5.03	5.025	5.035	5.03

Cantidad de la pirita al 5% del agregado fino

Teniendo este valor podríamos determinar que la cantidad de pirita según el diseño realizado vendría a calcularse con:

$$5\% \times 0.317 \text{ m}^3 = 0.01585 \text{ m}^3$$

Esta relación, para un volumen de 1 m³, por lo que para un volumen de 0.0954 m³ tendría una cantidad de pirita en:

0.01585 m³ de pirita ----- 1 m³ de concreto

x m³ de pirita ----- 0.0954 m³ de concreto

Por lo que la cantidad en m³ de pirita que se necesitaría para 18 probetas de concreto vendría a ser:

$$x = 0.0954 * \frac{0.01585}{1} = 0.00151209 \text{ m}^3 \text{ de pirita}$$

Esta cantidad será distribuida en 18 probetas de concreto, para poder analizar su influencia en el concreto.

Por lo que, en masa, las 18 probetas tendrán una masa de:

$$0.00151209 \text{ m}^3 = 0.00151209 \text{ m}^3 \times 49700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 7.5151 \text{ Kg de pirita}$$

Esta cantidad, distribuida en 18 probetas de concreto nos da un valor de

$$\frac{7.5151 \text{ Kg de pirita}}{18 \text{ probetas}} = 0.418 \text{ Kg/probeta}$$

Cantidad de la pirita al 10% del agregado fino

Teniendo este valor podríamos determinar que la cantidad de pirita según el diseño realizado vendría a calcularse con:

$$10\% \times 0.317 \text{ m}^3 = 0.0317 \text{ m}^3$$

Esta relación, para un volumen de 1 m³, por lo que para un volumen de 0.0954 m³ tendría una cantidad de pirita en:

0.03170 m³ de pirita ----- 1 m³ de concreto

x m³ de pirita ----- 0.0954 m³ de concreto

Por lo que la cantidad en m³ de pirita que se necesitaría para 18 probetas de concreto vendría a ser:

$$x = 0.0954 * \frac{0.0317}{1} = 0.00302418 \text{ m}^3 \text{ de pirita}$$

Esta cantidad será distribuida en 18 probetas de concreto, para poder analizar su influencia en el concreto.

Por lo que, en masa, las 18 probetas tendrán una masa de:

$$0.00302418 \text{ m}^3 = 0.00302418 \text{ m}^3 \times 49700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 15.030 \text{ Kg de pirita}$$

Esta cantidad, distribuida en 18 probetas de concreto nos da un valor de

$$\frac{15.0302 \text{ Kg de pirita}}{18 \text{ probetas}} = 0.8350 \text{ Kg/probeta}$$

Cantidad de la pirita al 15% del agregado fino

Teniendo este valor podríamos determinar que la cantidad de pirita según el diseño realizado vendría a calcularse con:

$$15\% \times 0.317 \text{ m}^3 = 0.04755 \text{ m}^3$$

Esta relación, para un volumen de 1 m³, por lo que para un volumen de 0.0954 m³ tendría una cantidad de pirita en:

$$0.04755 \text{ m}^3 \text{ de pirita} \text{ ----- } 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto}$$

$$x \text{ m}^3 \text{ de pirita} \text{ ----- } 0.0954 \text{ m}^3 \text{ de concreto}$$

Por lo que la cantidad en m³ de pirita que se necesitaría para 18 probetas de concreto vendría a ser:

$$x = 0.0954 * \frac{0.04755}{1} = 0.00453627 \text{ m}^3 \text{ de pirita}$$

Esta cantidad será distribuida en 18 probetas de concreto, para poder analizar su influencia en el concreto.

Por lo que, en masa, las 18 probetas tendrán una masa de:

$$0.00453627 \text{ m}^3 = 0.00453627 \text{ m}^3 \times 49700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 22.5453 \text{ Kg de pirita}$$

Esta cantidad, distribuida en 18 probetas de concreto nos da un valor de

$$\frac{22.5453 \text{ Kg de pirita}}{18 \text{ probetas}} = 1.2525 \text{ Kg/probeta}$$

APÉNDICE C

DISEÑO DE MEZCLA (PRUEBA)

Diseño de mezcla de prueba para $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Se tiene que tener en cuenta los datos obtenidos en el ítem anterior para poder realizar el diseño del concreto para $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Datos:

➤ Agregado fino

Peso unitario suelto seco	1526 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1658 kg/m^3
Peso específico de masa	2.580 g/cm^3
Peso específico sss	2.620 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	6.380%
Absorción	1.600%
Módulo de finura	2.92
% que pasa malla N° 200	2.400

➤ Agregado grueso

Peso unitario suelto seco	1372 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1542 kg/m^3
Peso específico de masa	2.620 g/cm^3
Peso específico sss	2.650 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	0.424%
Absorción	1.000%
Módulo de finura	6.64
Abrasión	27.00%
% que pasa malla N° 200	0.200

➤ **Cemento**

Tipo Portland Tipo I – Pacasmayo

Peso específico 3.14 gr/cm³

- **Resistencia a compresión promedio (f'c):** En relación con el nivel de control de calidad en obra, se considera que las condiciones corresponden a un nivel bueno, debido a la adecuada calidad de los materiales empleados durante la ejecución.

La resistencia a la compresión del concreto (f'c) se determina utilizando la siguiente tabla:

Tabla 64.

Factor f'c según el nivel de obra

Nivel de control de obra	Factor para f'c _r		
Excelente	1.15		
<i>Buena</i>	<i>1.20</i>	<i>a</i>	<i>1.25</i>
Regular o mala	1.35	a	1.50

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Calculamos:

$$f'c = 1.20 * 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 288 \text{ kg/cm}^2$$

- **Asentamiento:** Respecto al asentamiento utilizado, este se establece de acuerdo con el tipo de consistencia requerida para el concreto. El valor del asentamiento se obtiene conforme a la siguiente tabla:

Tabla 65.*Asentamiento según consistencia del concreto*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Húmeda	≥ 5"

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene

Consistencia : Plástica

Asentamiento : 3" – 4"

- **Tamaño máximo nominal:** De acuerdo a la granulometría tenemos:

T.M.N. = 3/4"

- **Porcentaje de aire:** En cuanto al aire atrapado en la mezcla, está determinado según el tamaño máximo nominal del agregado. Se determina con la siguiente tabla:

Tabla 66.*Aire atrapado según el tamaño máximo nominal*

Asentamiento	Tamaño Máximo Nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
Contenido de aire atrapado (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene

Aire atrapado : 2.0%

- **Contenido de agua:** En relación con el contenido de agua utilizado en la mezcla, este depende principalmente del asentamiento requerido y del tamaño máximo nominal del agregado.

El valor del contenido de agua se obtiene a partir de la siguiente tabla, considerando como datos de referencia un asentamiento (slump) de 3" a 4", concreto sin aire incorporado y agregados:

Tabla 67.

Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.

Tamaño Máx. del agregado	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	205	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Tenemos:

Agua : 205 l/m³

- **Relación agua/cemento:** respecto a la relación agua/cemento, esta se define en función de la resistencia a compresión requerida a los 28 días.

La relación agua/cemento se determina utilizando la siguiente tabla. Para el caso de un concreto con $f'_c=240$ kg/cm², se obtiene el siguiente valor de a/c:

Tabla 68.

Relación agua/cemento dependiendo a la resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión a los 28 días	Relación agua/cemento	
	Cemento sin aire incorporado	Cemento con aire incorporado
f'_{cr} (kg/cm ²)		
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Al no tener la resistencia calculada dentro de la tabla, se interpola los datos más cercanos a los datos obtenidos y así obtener la relación agua/cemento (a/c):

300.00 ----- 0.55

288.00 ----- a/c

250.00 ----- 0.62

Se tiene:

$$a/c = 0.567$$

- **Contenido de cemento:** En cuanto al contenido de cemento, depende de la relación a/c = 0.617 y el contenido de agua a = 205 l/m³ que hay en los datos anteriores, con ello se calcula:

$$a/c = 0.567 \quad \Rightarrow \quad 205/C = 0.567$$

$$C = 361.680 \text{ kg.}$$

$$C = 8.51 \text{ bolsas}$$

- **Selección del peso del agregado grueso:** En cuanto a la selección del agregado grueso, depende al módulo de fineza obtenido en el ensayo de análisis granulométrico. Se determina el volumen del agregado grueso seco y compactado con la siguiente tabla:

Tabla 69.

Volumen del agregado grueso seco y compactado

Tamaño Máximo del agregado	Módulo de fineza			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

- Al no tener en la tabla el módulo de fineza exacta de los ensayos, se interpola los datos más cercanos a los obtenidos en el ensayo:

2.800 ----- 0.62

2.92 ----- V_{ag}

3.000 ----- 0.6

Se tiene que el volumen de agregado grueso seco y compactado es de:

$$V_{ag} = 0.608$$

A continuación, se calcula el peso del agregado grueso:

$$b = 0.608 * 1.01147 * b_o$$

Donde:

b_o : peso unitario seco y compactado del agregado grueso

Reemplazando:

$$b = 0.542 * 1.01147 * 1542 \text{ kg/m}^3$$

$$b = 948.290 \text{ kg/m}^3$$

- **Cantidad del agregado fino:** En cuanto a la cantidad del agregado fino, se usa el método de volúmenes absolutos y por eso se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Cemento:} \quad 332.15 \text{ kg} / 3140 \text{ kg/m}^3 \quad = 0.1152 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 205 \text{ l} / 1000 \text{ l/m}^3 \quad = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire:} \quad 2.0 / 100 \quad = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 948.290 \text{ kg} / 2650 \text{ kg/m}^3 \quad = 0.358 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto} \quad = 0.698 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del volumen del agregado fino**

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0.698 \text{ m}^3 \quad \Rightarrow \quad \text{Agregado fino} = 0.302 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del peso en estado seco del agregado fino**

$$\text{Peso del agregado fino} = 0.302 \text{ m}^3 * 2620.00 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow 791.162 \text{ kg}$$

- **Valores de diseño en estado seco**

$$\text{Cemento} \quad = \quad 361.680 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} \quad = \quad 205 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado fino seco} \quad = \quad 791.160 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso seco} \quad = \quad 948.29 \text{ kg/m}^3$$

- **Corrección por humedad de los agregados:** Debido a que las humedades naturales de los agregados son diferentes a las de absorción es necesario hacer esta corrección por contenido de humedad:

$$\text{Peso húmedo del agregado fino} \quad = \quad 841.638 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo del agregado grueso} \quad = \quad 952.31 \quad \text{kg/m}^3$$

- **Determinación de la humedad superficial de los agregados:** Para el cálculo de la humedad superficial, se usa la diferencia entre el porcentaje de contenido de humedad y el porcentaje de absorción.

$$\text{Agregado fino} = 4.78\%$$

$$\text{Agregado grueso} = -0.58\%$$

- **Aporte de humedad de los agregados:** Para determinar el aporte de agua a la mezcla, se usa el producto del porcentaje de humedad superficial por el peso de cada agregado.

$$\text{Agregado fino} = 37.8175 \quad \text{lt}$$

$$\underline{\text{Agregado grueso} = -5.4621 \quad \text{lt}}$$

$$\text{Aporte total} = 33.355 \quad \text{lt}$$

- **Agua efectiva de mezclado:** En cuanto al agua efectiva de diseño se obtiene de la diferencia entre el agua obtenida anteriormente y el aporte de agua total a la mezcla.

$$\text{Agua efectiva} = 172.645 \quad \text{lt}$$

- **Materiales corregidos por humedad**

$$\text{Cemento} = 361.680 \quad \text{kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 172.645 \quad \text{lt}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 841.638 \quad \text{kg}$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 952.310 \quad \text{kg}$$

$$\text{Aire total} = 2.00\%$$

Dosificación en peso:

$$\text{Cemento} = 1$$

$$\text{Agregado fino} = 2.33$$

$$\text{Agregado grueso} = 2.63$$

$$\text{Agua} = 20.29 \quad \text{lt/bls}$$

Conversión de dosificación en peso a volumen:➤ **Materiales****Tabla 70.***Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso*

	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto seco	1526 kg/m ³	1372 kg/m ³
Contenido de humedad	6.380%	0.424%

➤ **Materiales corregidos por humedad**

Cemento	=	42.50 kg/bls
Agua efectiva	=	20.29 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	98.899 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	111.903 kg/bls

➤ **Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados**

Agregado fino	=	1623.359 kg/m ³	Agregado
grueso	=	1377.817 kg/m ³	

➤ **Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³**

Agregado fino	=	45.968 kg/pie ³
Agregado grueso	=	39.015 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50 kg/pie ³

➤ **Dosificación en volumen**

Cemento	=	1
Agregado fino	=	2.15
Agregado grueso	=	2.87
Agua	=	20.29 lt/bls

1 : 2.15 : 2.87 : 20.29 lt/bls

Proporción por tanda (0.020 m³)

Usando la fórmula: $V = A_B \times H$; para una sola probeta de prueba se obtendría un volumen de: $V = 0.005301 \text{ m}^3$, haciendo que para que 3 probetas de prueba, se requeriría un volumen de: $V = 0.010603 \text{ m}^3$, por lo que la cantidad de materiales se muestra.

Cemento	=	7233.6 g
Agua efectiva	=	3452.9 g
Agregado fino húmedo	=	16832.8 g
Agregado grueso húmedo	=	19046.2 g

RESULTADO ENSAYO A COMPRESIÓN

Se realizó la elaboración de 2 probetas de 6" x 12" las cuales se ensayaron a los 3 días, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 71.

Resultados de ensayo de a compresión de probetas de prueba con edad de 3 días

RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 3 DÍAS								
MUESTRA	Ø SUP. (cm)	Ø INF. (cm)	Ø PROM. (cm)	ÁREA (m²)	ALTURA (cm)	CARGA ÚLTIMA (TN)	f _c (Kg/cm²)	f _c promedio
M1	14.90	15.10	15.00	176.715	30.40	32	181.083	177.91
M²	15.30	15.15	180.27	180.267	30.4	31.5	174.741	

Como se obtiene una resistencia a la compresión de 177.22 kg/cm² a los 3 días, lo proyectamos a los 28 días multiplicando por un factor de 1.5, basado en la evolución típica de la resistencia del concreto.

Se obtiene un $f'c$ de 265.83 kg/cm^2 a los 28 días, para realizar el reajuste aplicamos la Ley de Powers.

CORRECCIÓN POR RESISTENCIA

Se indica que: $R: 177.22 \text{ kg/cm}^2 \times 1.5 = 265.83 \text{ kg/cm}^2$

Usando una ecuación derivada del modelo de Powers:

$$R = 2380X^3$$

Dónde determinamos que X es 0.464229615, por lo que usando:

$$X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

Sabiendo que la relación a/c es 0.617 determinamos el valor de α , que viene siendo:

$$\alpha = 0.554.$$

Ahora, conociendo el grado de hidratación del concreto y la resistencia a la compresión reajustamos la relación a/c , por lo que para un $R = 240 \text{ kg/cm}^2$.

Calculamos el nuevo grado de hidratación, X :

$$X = \sqrt[3]{\frac{R}{2380}} \rightarrow X = 0.4655$$

Ahora sabiendo que $\alpha = 0.554$ y $X = 0.4655$, obtenemos la nueva relación a/c .

$$X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

Obteniendo como nueva relación agua cemento:

$$a/c = 0.590$$

DISEÑO DE MEZCLA (PATRÓN)

Diseño de mezcla patrón para $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Se tiene que tener en cuenta los datos obtenidos en el ítem anterior para poder realizar el diseño del concreto para $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Datos:

➤ Agregado fino

Peso unitario suelto seco	1526 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1658 kg/m^3
Peso específico de masa	2.580 g/cm^3
Peso específico sss	2.620 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	6.380%
Absorción	1.600%
Módulo de finura	2.92
% que pasa malla N° 200	2.400

➤ Agregado grueso

Peso unitario suelto seco	1372 kg/m^3
Peso unitario compactado seco	1542 kg/m^3
Peso específico de masa	2.620 g/cm^3
Peso específico sss	2.650 g/cm^3
Peso específico aparente	2.690 g/cm^3
Contenido de humedad	0.424%
Absorción	1.000%
Módulo de finura	6.64
Abrasión	27.00%
% que pasa malla N° 200	0.200

➤ Cemento

Tipo Portland Tipo I – Pacasmayo

Peso específico 3.14 gr/cm³

- **Resistencia a compresión promedio (f'_c):** En relación con el nivel de control de calidad en obra, se considera que las condiciones corresponden a un nivel bueno, debido a la adecuada calidad de los materiales empleados durante la ejecución.

La resistencia a la compresión del concreto (f'_c) se determina utilizando la siguiente tabla:

Tabla 72.

Factor f'_c según el nivel de obra

Nivel de control de obra	Factor para f'_{cr}		
Excelente	1.15		
<i>Buena</i>	<i>1.20</i>	<i>a</i>	<i>1.25</i>
Regular o mala	1.35	a	1.50

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Calculamos:

$$f'_c = 1.20 * 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 288 \text{ kg/cm}^2$$

- **Asentamiento:** Respecto al asentamiento utilizado, este se establece de acuerdo con el tipo de consistencia requerida para el concreto. El valor del asentamiento se obtiene conforme a la siguiente tabla:

Tabla 73.

Asentamiento según consistencia del concreto

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
<i>Plástica</i>	<i>3" a 4"</i>
Húmeda	$\geq 5"$

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene

Consistencia : Plástica

Asentamiento : 3" – 4"

- **Tamaño máximo nominal:** De acuerdo a la granulometría tenemos:

T.M.N. = 3/4"

- **Porcentaje de aire:** En cuanto al aire atrapado en la mezcla, está determinado según el tamaño máximo nominal del agregado. Se determina con la siguiente tabla:

Tabla 74.

Aire atrapado según el tamaño máximo nominal

Asentamiento	Tamaño Máximo Nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
Contenido de aire atrapado (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Se tiene

Aire atrapado : 2.0%

- **Contenido de agua:** En relación con el contenido de agua utilizado en la mezcla, este depende principalmente del asentamiento requerido y del tamaño máximo nominal del agregado.

El valor del contenido de agua se obtiene a partir de la siguiente tabla, considerando como datos de referencia un asentamiento (slump) de 3" a 4", concreto sin aire incorporado y agregados:

Tabla 75.

Contenido de agua dependiendo del slump y tamaño máximo del agregado.

Tamaño Máx. del agregado	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	205	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Nota. Obtenido de Norma ACI 211

Tenemos:

Agua : 205 l/m³

- **Relación agua/cemento:** a partir de la resistencia proyectada a 28 días ($R=266.87$ kg/cm²), se aplicó una ecuación derivada del modelo de Powers para determinar el grado de hidratación del concreto.

Posteriormente, considerando la relación inicial a/c de 0.567 y el valor del parámetro $\alpha=0.554$, se recalculó el grado de hidratación y se ajustó la relación agua/cemento para que cumpla con la resistencia a compresión requerida.

Como resultado, se obtiene que la nueva relación agua/cemento (a/c) es de 0.590.

- **Contenido de cemento:** En cuanto al contenido de cemento, depende de la relación a/c = 0.59 y el contenido de agua a = 205 l/m³ que hay en los datos anteriores, con ello se calcula:

$$a/c = 0.590 \quad \Rightarrow \quad 205/C = 0.590$$

$$C = 347.46 \text{ kg.}$$

$$C = 8.18 \text{ bolsas}$$

- **Selección del peso del agregado grueso:** En cuanto a la selección del agregado grueso, depende al módulo de fineza obtenido en el ensayo de análisis granulométrico. Se determina el volumen del agregado grueso seco y compactado con la siguiente tabla:

Tabla 76.

Volumen del agregado grueso seco y compactado

Tamaño Máximo del agregado	Módulo de fineza			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

- Al no tener en la tabla el módulo de fineza exacta de los ensayos, se interpola los datos más cercanos a los obtenidos en el ensayo:

2.800 ----- 0.62

2.92 ----- V_{ag}

3.000 ----- 0.6

Se tiene que el volumen de agregado grueso seco y compactado es de:

$$V_{ag} = 0.608$$

A continuación, se calcula el peso del agregado grueso:

$$b = 0.608 * 1.01147 * b_o$$

Donde:

b_o : peso unitario seco y compactado del agregado grueso

Reemplazando:

$$b = 0.608 * 1.01147 * 1542 \text{ kg/m}^3$$

$$b = 948.290 \text{ kg/m}^3$$

- **Cantidad del agregado fino:** En cuanto a la cantidad del agregado fino, se usa el método de volúmenes absolutos y por eso se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Cemento:} \quad 332.15 \text{ kg} / 3140 \text{ kg/m}^3 \quad = 0.1107 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 205 \text{ l} / 1000 \text{ l/m}^3 \quad = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire:} \quad 2.0 / 100 \quad = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 948.290 \text{ kg} / 2650 \text{ kg/m}^3 \quad = 0.358 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto} \quad = 0.693 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del volumen del agregado fino**

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0.693 \text{ m}^3 \quad \Rightarrow \quad \text{Agregado fino} = 0.307 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del peso en estado seco del agregado fino**

$$\text{Peso del agregado fino} = 0.307 \text{ m}^3 * 2620.00 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow 803.027 \text{ kg}$$

- **Valores de diseño en estado seco**

$$\text{Cemento} \quad = \quad 347.460 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} \quad = \quad 205 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado fino seco} \quad = \quad 803.03 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso seco} \quad = \quad 948.29 \text{ kg/m}^3$$

- **Corrección por humedad de los agregados:** Debido a que las humedades naturales de los agregados son diferentes a las de absorción es necesario hacer esta corrección por contenido de humedad:

$$\text{Peso húmedo del agregado fino} = 852.26 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo del agregado grueso} = 952.31 \quad \text{kg/m}^3$$

- **Determinación de la humedad superficial de los agregados:** Para el cálculo de la humedad superficial, se usa la diferencia entre el porcentaje de contenido de humedad y el porcentaje de absorción.

$$\text{Agregado fino} = 4.78\%$$

$$\text{Agregado grueso} = -0.58\%$$

- **Aporte de humedad de los agregados:** Para determinar el aporte de agua a la mezcla, se usa el producto del porcentaje de humedad superficial por el peso de cada agregado.

$$\text{Agregado fino} = 38.3847 \quad \text{lt}$$

$$\text{Agregado grueso} = -5.4621 \quad \text{lt}$$

$$\text{Aporte total} = 32.923 \quad \text{lt}$$

- **Agua efectiva de mezclado:** En cuanto al agua efectiva de diseño se obtiene de la diferencia entre el agua obtenida anteriormente y el aporte de agua total a la mezcla.

$$\text{Agua efectiva} = 170.077 \quad \text{lt}$$

- **Materiales corregidos por humedad**

$$\text{Cemento} = 347.460 \quad \text{kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 172.077 \quad \text{lt}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 854.260 \quad \text{kg}$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 952.310 \quad \text{kg}$$

$$\text{Aire total} = 2.00\%$$

Dosificación en peso:

$$\text{Cemento} = 1$$

$$\text{Agregado fino} = 2.46$$

Agregado grueso	=	2.74
Agua	=	21.05 lt/bls

Conversión de dosificación en peso a volumen:

➤ Materiales

Tabla 77.

Propiedades esenciales de agregado fino y agregado grueso

	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto seco	1526 kg/m ³	1372 kg/m ³
Contenido de humedad	6.380%	0.424%

➤ Materiales corregidos por humedad

Cemento	=	42.50 kg/bls
Agua efectiva	=	21.05 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	104.490 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	116.483 kg/bls

➤ Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Agregado fino	=	1623.359 kg/m ³	Agregado
grueso	=	1377.817 kg/m ³	

➤ Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Agregado fino	=	45.968 kg/pie ³
Agregado grueso	=	39.015 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50 kg/pie ³

➤ Dosificación en volumen

Cemento	=	1
Agregado fino	=	2.27
Agregado grueso	=	2.99

$$\text{Agua} = 21.05 \text{ lt/bls}$$

$$1 : 2.27 : 2.99 : 21.05 \text{ lt/bls}$$

Proporción por tanda (0.040 m³)

Usando la fórmula: $V = A_B \times H$; para una sola probeta patrón se obtendría un volumen de: $V = 0.005301 \text{ m}^3$, haciendo que para que 24 probetas, se requeriría un volumen de: $V = 0.127235 \text{ m}^3$, por lo que la cantidad de materiales se muestra.

$$\text{Cemento} = 45169.8 \text{ g} = 45.17 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 22370.1 \text{ g} = 22.37 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado fino húmedo} = 111053.8 \text{ g} = 111.054 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = 123800.3 \text{ g} = 123.800 \text{ Kg}$$

APÉNDICE D

DISEÑO DE PIRITA $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$

A partir de lo mencionado anteriormente, se han establecido los valores de diseño correspondientes a un concreto con resistencia especificada $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$.

En función de estos datos, se define también la base para determinar la cantidad óptima de pirita que será incorporada a la mezcla, con el objetivo de evaluar su influencia en la resistencia a compresión del concreto.

Considerando la dosificación en términos de volumen para el diseño de mezcla con $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$, se tienen los siguientes valores:

Cemento:	332.15 kg / 3140 kg/m ³	= 0.1107 m ³
Agua:	205 l / 1000 l/m ³	= 0.205 m ³
Aire:	2.0 / 100	= 0.020 m ³
<u>Agregado grueso:</u>	<u>948.290 kg / 2650 kg/m³</u>	<u>= 0.358 m³</u>
Volumen absoluto		= 0.693 m³

Cálculo del volumen del agregado fino

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0.693 \text{ m}^3 \quad \Rightarrow \quad \text{Agregado fino} = \mathbf{0.307 \text{ m}^3}$$

Esta proporción servirá como referencia para elaborar las probetas experimentales, sobre las cuales se evaluará el efecto de la adición de pirita en las propiedades mecánicas del concreto.

Para eso, se debe indicar primero los datos de la pirita obtenidos en laboratorio como lo es el peso específico, mismas que se muestran en la tabla 63.

Cantidad de la pirita al 5% del agregado fino

Teniendo este valor podríamos determinar que la cantidad de pirita según el diseño realizado vendría a calcularse con:

$$5\% \times 0.307 \text{ m}^3 = 0.01535 \text{ m}^3$$

Esta relación, para un volumen de 1 m³, por lo que para un volumen de 0.0954 m³ tendría una cantidad de pirita en:

$$\begin{array}{lcl} 0.01535 \text{ m}^3 \text{ de pirita} & \text{-----} & 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\ x \text{ m}^3 \text{ de pirita} & \text{-----} & 0.0954 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \end{array}$$

Por lo que la cantidad en m³ de pirita que se necesitaría para 18 probetas de concreto vendría a ser:

$$x = 0.0954 * \frac{0.01535}{1} = 0.00146439 \text{ m}^3 \text{ de pirita}$$

Esta cantidad será distribuida en 18 probetas de concreto, para poder analizar su influencia en el concreto.

Por lo que, en masa, las 18 probetas tendrán una masa de:

$$0.00146439 \text{ m}^3 = 0.00146439 \text{ m}^3 \times 4970 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 7.2780 \text{ Kg de pirita}$$

Esta cantidad, distribuida en 18 probetas de concreto nos da un valor de

$$\frac{7.2780 \text{ Kg de pirita}}{18 \text{ probetas}} = 0.4073 \text{ Kg/probeta}$$

Cantidad de la pirita al 10% del agregado fino

Teniendo este valor podríamos determinar que la cantidad de pirita según el diseño realizado vendría a calcularse con:

$$10\% \times 0.307 \text{ m}^3 = 0.0307 \text{ m}^3$$

Esta relación, para un volumen de 1 m³, por lo que para un volumen de 0.0954 m³ tendría una cantidad de pirita en:

$$\begin{array}{lcl} 0.03070 \text{ m}^3 \text{ de pirita} & \text{-----} & 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\ x \text{ m}^3 \text{ de pirita} & \text{-----} & 0.0954 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \end{array}$$

Por lo que la cantidad en m³ de pirita que se necesitaría para 18 probetas de concreto vendría a ser:

$$x = 0.0954 * \frac{0.0307}{1} = 0.00292878 \text{ m}^3 \text{ de pirita}$$

Esta cantidad será distribuida en 18 probetas de concreto, para poder analizar su influencia en el concreto.

Por lo que, en masa, las 18 probetas tendrán una masa de:

$$0.00292878 \text{ m}^3 = 0.00292878 \text{ m}^3 \times 49700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 14.5560 \text{ Kg de pirita}$$

Esta cantidad, distribuida en 18 probetas de concreto nos da un valor de

$$\frac{14.5560 \text{ Kg de pirita}}{18 \text{ probetas}} = 0.8087 \text{ Kg/probeta}$$

Cantidad de la pirita al 15% del agregado fino

Teniendo este valor podríamos determinar que la cantidad de pirita según el diseño realizado vendría a calcularse con:

$$15\% \times 0.307 \text{ m}^3 = 0.04605 \text{ m}^3$$

Esta relación, para un volumen de 1 m³, por lo que para un volumen de 0.0954 m³ tendría una cantidad de pirita en:

$$0.04605 \text{ m}^3 \text{ de pirita} \text{ ----- } 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto}$$

$$x \text{ m}^3 \text{ de pirita} \text{ ----- } 0.0954 \text{ m}^3 \text{ de concreto}$$

Por lo que la cantidad en m³ de pirita que se necesitaría para 18 probetas de concreto vendría a ser:

$$x = 0.0954 * \frac{0.04605}{1} = 0.00439317 \text{ m}^3 \text{ de pirita}$$

Esta cantidad será distribuida en 18 probetas de concreto, para poder analizar su influencia en el concreto.

Por lo que, en masa, las 18 probetas tendrán una masa de:

$$0.00439317 \text{ m}^3 = 0.00439317 \text{ m}^3 \times 49700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 21.8340549 \text{ Kg de pirita}$$

Esta cantidad, distribuida en 18 probetas de concreto nos da un valor de

$$\frac{21.8341 \text{ Kg de pirita}}{18 \text{ probetas}} = 1.2130 \text{ Kg/probeta}$$

APENDICE E

Tabla E1

Cálculo del peso específico del agua

Descripción	Peso	Unidad
Peso de la fiola	175.000	g
Peso de la fiola + agua	673.000	g
Volumen de la fiola	500.000	cm ³
Peso específico	0.996	g/cm ³
Peso específico	996.000	Kg/cm ³

Tabla E2

Cálculo del Factor F

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	7099.00	g
Peso del Molde + Agua	14081.00	g
Peso Agua	6.982	Kg
Factor F	142.653	1/m ³

Tabla E3

Peso unitario del concreto fresco $f'c=210$ KG/CM² en estado fresco

TIPO DE CONCRETO	MUESTRA	$f(1/m^3)$	Peso del Molde	Peso del Molde + Concreto (Kg)	Peso del concreto	Peso Unitario (Kg/m ³)	Peso unitario promedio
Concreto Patrón (0% Pirita)	Tanda 1		4.173	20.989	16.816	2398.853	2403.168
	Tanda 2		4.173	21.015	16.842	2402.562	
	Tanda 3		4.173	21.03	16.857	2404.702	
	Tanda 4	142.653	4.173	21.043	16.87	2406.556	
Concreto $f'c=210$ KG/CM ² + 5% pirita	Tanda 5		4.173	21.302	17.129	2443.503	2447.450
	Tanda 6		4.173	21.326	17.153	2446.927	
	Tanda 7		4.173	21.361	17.188	2451.920	

TIPO DE CONCRETO	MUESTRA	f(1/m ³)	Peso del Molde	Peso del Molde + Concreto (Kg)	Peso del concreto	Peso Unitario (Kg/m ³)	Peso unitario promedio
Concreto f'c=210 KG/CM ² + 10% pirita	Tanda 8		4.173	21.611	17.438	2487.583	
	Tanda 9		4.173	21.635	17.462	2491.007	2489.152
	Tanda 10		4.173	21.62	17.447	2488.867	
Concreto f'c=210 KG/CM ² + 15% pirita	Tanda 11		4.173	21.83	17.657	2518.824	
	Tanda 12		4.173	21.854	17.681	2522.248	2522.248
	Tanda 13		4.173	21.878	17.705	2525.671	

Tabla E4

Peso unitario del concreto fresco f'c=240 KG/CM² en estado fresco

TIPO DE CONCRETO	MUESTRA	f(1/m ³)	Peso del Molde	Peso del Molde + Concreto (Kg)	Peso del concreto	Peso Unitario (Kg/m ³)	Peso unitario promedio
Concreto Patrón (0% Pirita)	Tanda 1		4.173	21.113	16.94	2416.542	
	Tanda 2		4.173	21.139	16.966	2420.251	2420.857
	Tanda 3		4.173	21.154	16.981	2422.391	
	Tanda 4		4.173	21.167	16.994	2424.245	
Concreto f'c=210 KG/CM ² + 5% pirita	Tanda 5		4.173	21.426	17.253	2461.192	
	Tanda 6		4.173	21.45	17.277	2464.616	2465.139
	Tanda 7	142.653	4.173	21.485	17.312	2469.609	
Concreto f'c=210 KG/CM ² + 10% pirita	Tanda 8		4.173	21.735	17.562	2505.272	
	Tanda 9		4.173	21.759	17.586	2508.696	2506.841
	Tanda 10		4.173	21.744	17.571	2506.556	
Concreto f'c=210 KG/CM ² + 15% pirita	Tanda 11		4.173	21.954	17.781	2536.513	
	Tanda 12		4.173	21.978	17.805	2539.937	2539.937
	Tanda 13		4.173	22.002	17.829	2543.360	

Tabla E4

Resultados a compresión de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 0% de pirita, 7 días

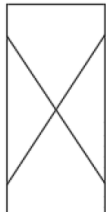
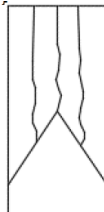
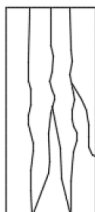
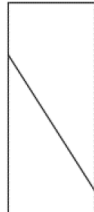
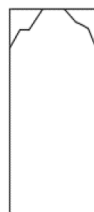
Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	
IDENTIFICACIÓN	P101	P102	P103	P104	
FECHA DE MUESTREO	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	
EDAD (días)	7	7	7	7	
FECHA DE ROTURA	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	
DIÁMETRO (cm)	14.95	15.1	14.8	14.95	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	12756.33	12724.00	12323.86	12566.99	
VOLUMEN (cm³)	5266.15	5372.36	5161.01	5266.15	
ESBELTEZ	2.01	1.99	2.03	2.01	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	1	1	1	2	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.422	2.368	2.388	2.386	
CARGA (Tn)	27	27.5	26.5	27	
CARGA (Kg)	27000	27500	26500	27000	
AREA (cm²)	175.538	179.079	172.034	175.538	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	153.812	153.564	154.040	153.812	
PROMEDIO (kg/cm²)	153.807				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	73.24%	73.13%	73.35%	73.24%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.168319971				
VARIANZA (σ²)	0.028331613				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.11%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 2 y 3 probetas de fractura tipo 1					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E5

Resultados a compresión de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 0% de pirita, 14 días

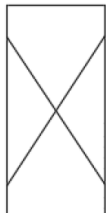
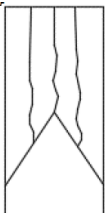
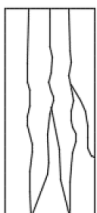
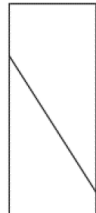
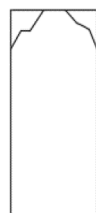
Nº DE TESTIGO	5	6	7	8	
IDENTIFICACIÓN	P105	P106	P107	P108	
FECHA DE MUESTREO	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	
EDAD (días)	14	14	14	14	
FECHA DE ROTURA	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15.05	15.2	15.25	14.95	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	12739.49	12752.17	12604.26	12625.19	
VOLUMEN (cm³)	5336.84	5443.75	5479.62	5266.15	
ESBELTEZ	1.99	1.97	1.97	2.01	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	1	5	1	1	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.387	2.343	2.300	2.397	
CARGA (Tn)	37.5	38	38.5	37	
CARGA (Kg)	37500	38000	38500	37000	
AREA (cm²)	177.895	181.458	182.654	175.538	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	210.799	209.414	210.781	210.780	
PROMEDIO (kg/cm²)	210.444				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	100.38%	99.72%	100.37%	100.37%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.594229196				
VARIANZA (σ²)	0.353108337				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.28%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1 y 3 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E6

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 0% de pirita, 28 días

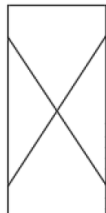
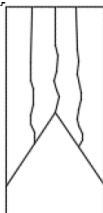
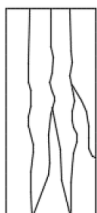
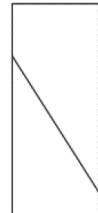
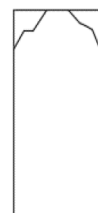
Nº DE TESTIGO	9	10	11	12	
IDENTIFICACIÓN	P109	P110	P111	P112	
FECHA DE MUESTREO	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	
EDAD (días)	28	28	28	28	
FECHA DE ROTURA	21/02/2025	21/02/2025	21/02/2025	21/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	14.95	14.95	15	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	12392.50	12866.57	12655.03	12799.09	
VOLUMEN (cm³)	5266.15	5266.15	5301.44	5301.44	
ESBELTEZ	2.01	2.01	2.00	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	2	1	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.353	2.443	2.387	2.414	
CARGA (Tn)	49.5	49	49.5	49.5	
CARGA (Kg)	49500	49000	49500	49500	
AREA (cm²)	175.538	175.538	176.715	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	281.989	279.141	280.113	280.113	
PROMEDIO (kg/cm²)	280.339				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	134.28%	132.92%	133.39%	133.39%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	1.032168131				
VARIANZA (σ²)	1.065371051				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.37%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 5 y 3 probetas de fractura tipo 1					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E7

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de pirita, 7 días

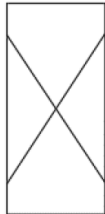
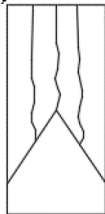
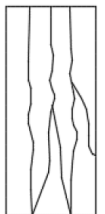
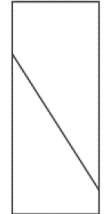
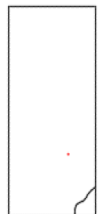
Nº DE TESTIGO	13	14	15	16
IDENTIFICACIÓN	P301	P302	P303	P304
FECHA DE MUESTREO	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025
EDAD (días)	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	5/02/2025	5/02/2025	5/02/2025	5/02/2025
DIÁMETRO (cm)	15	15	15	15
ALTURA (cm)	30	30	30	30
PESO (g)	13058.77	13158.21	12985.93	13011.50
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5301.44	5301.44	5301.44
ESBELTEZ	2.00	2.00	2.00	2.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	2	2	4	1
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.463	2.482	2.450	2.454
CARGA (Tn)	38	38.5	38.5	38
CARGA (Kg)	38000	38500	38500	38000
AREA (cm²)	176.715	176.715	176.715	176.715
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	215.036	217.865	217.865	215.036
PROMEDIO (kg/cm²)	216.451			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	102.40%	103.75%	103.75%	102.40%
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	1.414710605			
VARIANZA (σ²)	2.001406097			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.65%			
OBSERVACIONES:				
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1, 1 probeta de fractura tipo 4 y 2 probetas de fractura tipo 2				
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:				
				
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.
				
				Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E8

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de pirita, 14 días

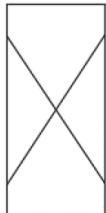
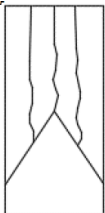
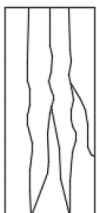
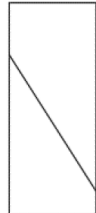
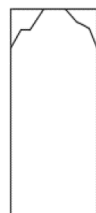
Nº DE TESTIGO	17	18	19	20	
IDENTIFICACIÓN	P305	P306	P307	P308	
FECHA DE MUESTREO	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	
EDAD (días)	14	14	14	14	
FECHA DE ROTURA	12/02/2025	12/02/2025	12/02/2025	12/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	14.95	15.05	14.95	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13099.86	13167.87	12926.34	13018.71	
VOLUMEN (cm³)	5266.15	5336.84	5266.15	5301.44	
ESBELTEZ	2.01	1.99	2.01	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	3	3	3	2	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.488	2.467	2.455	2.456	
CARGA (Tn)	43	43.5	43	43	
CARGA (Kg)	43000	43500	43000	43000	
AREA (cm²)	175.538	177.895	175.538	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	244.961	244.527	244.961	243.330	
PROMEDIO (kg/cm²)	244.445				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	116.65%	116.44%	116.65%	115.87%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.6672777				
VARIANZA (σ²)	0.445259529				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.27%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 2 y 3 probetas de fractura tipo 3					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E9

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de pirita, 28 días

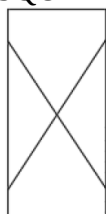
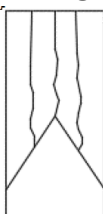
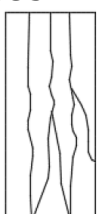
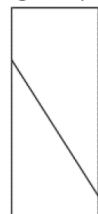
N° DE TESTIGO	21	22	23	24	
IDENTIFICACIÓN	P309	P310	P311	P312	
FECHA DE MUESTREO	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	
EDAD (días)	28	28	28	28	
FECHA DE ROTURA	26/02/2025	26/02/2025	26/02/2025	26/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15.05	15	14.85	15.15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13122.69	13040.31	12985.83	13063.99	
VOLUMEN (cm³)	5336.84	5301.44	5195.94	5408.00	
ESBELTEZ	1.99	2.00	2.02	1.98	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	2	1	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.459	2.460	2.499	2.416	
CARGA (Tn)	54.5	54	53	55	
CARGA (Kg)	54500	54000	53000	55000	
AREA (cm²)	177.895	176.715	173.198	180.267	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	306.361	305.577	306.008	305.104	
PROMEDIO (kg/cm²)	305.763				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	145.89%	145.51%	145.72%	145.29%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.470871455				
VARIANZA (σ²)	0.221719927				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.15%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1 y 3 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E10

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de pirita, 7 días

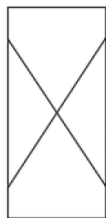
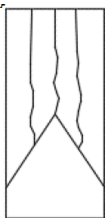
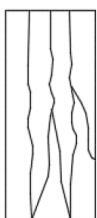
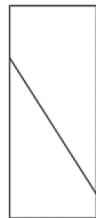
Nº DE TESTIGO	25	26	27	28
IDENTIFICACIÓN	P501	P502	P503	P504
FECHA DE MUESTREO	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025
EDAD (días)	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	6/02/2025	6/02/2025	6/02/2025	6/02/2025
DIÁMETRO (cm)	15.1	15	15.1	14.9
ALTURA (cm)	30	30	30	30
PESO (g)	13472.49	13439.55	13185.96	13184.41
VOLUMEN (cm³)	5372.36	5301.44	5372.36	5230.99
ESBELTEZ	1.99	2.00	1.99	2.01
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	1	2	3	3
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.508	2.535	2.454	2.520
CARGA (Tn)	40.5	40	40.5	39.5
CARGA (Kg)	40500	40000	40500	39500
AREA (cm²)	179.079	176.715	179.079	174.366
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	226.158	226.354	226.158	226.535
PROMEDIO (kg/cm²)	226.301			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	107.69%	107.79%	107.69%	107.87%
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.156913583			
VARIANZA (σ²)	0.024621872			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.07%			
OBSERVACIONES:				
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1, 1 probeta de fractura tipo 2 y 2 probetas de fractura tipo 3				
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:				
				
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.
Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.				

Tabla E11

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de pirita, 14 días

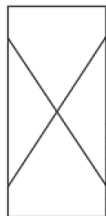
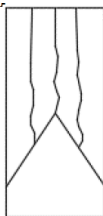
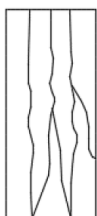
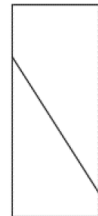
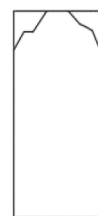
N° DE TESTIGO	29	30	31	32	
IDENTIFICACIÓN	P505	P506	P507	P508	
FECHA DE MUESTREO	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	
EDAD (días)	14	14	14	14	
FECHA DE ROTURA	13/02/2025	13/02/2025	13/02/2025	13/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15	15	15	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13363.02	13363.96	13295.12	13344.57	
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5301.44	5301.44	5301.44	
ESBELTEZ	2.00	2.00	2.00	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	2	2	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.521	2.521	2.508	2.517	
CARGA (Tn)	48.5	48.5	48.5	48.5	
CARGA (Kg)	48500	48500	48500	48500	
AREA (cm²)	176.715	176.715	176.715	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	274.454	274.454	274.454	274.454	
PROMEDIO (kg/cm²)	274.454				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	130.69%	130.69%	130.69%	130.69%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0				
VARIANZA (σ²)	0				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.00%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 4 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E12

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de pirita, 28 días

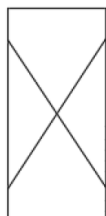
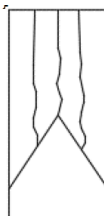
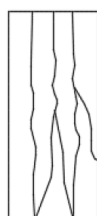
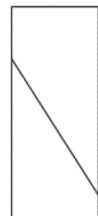
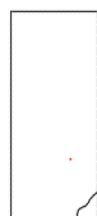
N° DE TESTIGO	33	34	35	36	
IDENTIFICACIÓN	P509	P510	P511	P512	
FECHA DE MUESTREO	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	
EDAD (días)	28	28	28	28	
FECHA DE ROTURA	27/02/2025	27/02/2025	27/02/2025	27/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15.05	15	15.05	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13310.08	13262.38	13273.85	13339.03	
VOLUMEN (cm³)	5336.84	5301.44	5336.84	5301.44	
ESBELTEZ	1.99	2.00	1.99	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	1	2	2	1	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.494	2.502	2.487	2.516	
CARGA (Tn)	55.5	55	55.5	55	
CARGA (Kg)	55500	55000	55500	55000	
AREA (cm²)	177.895	176.715	177.895	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	311.982	311.236	311.982	311.236	
PROMEDIO (kg/cm²)	311.609				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	148.56%	148.21%	148.56%	148.21%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.373036019				
VARIANZA (σ²)	0.139155871				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.12%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 2 probetas de fractura tipo 1 y 2 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E13

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de pirita, 7 días

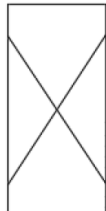
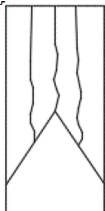
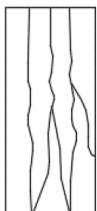
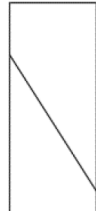
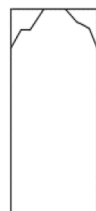
Nº DE TESTIGO	37	38	39	40	
IDENTIFICACIÓN	P701	P702	P703	P704	
FECHA DE MUESTREO	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	
EDAD (días)	7	7	7	7	
FECHA DE ROTURA	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15	15.1	15	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13747.32	13750.76	13776.95	13797.88	
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5372.36	5301.44	5301.44	
ESBELTEZ	2.00	1.99	2.00	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	1	3	1	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.593	2.560	2.599	2.603	
CARGA (Tn)	41.5	42	40	42.5	
CARGA (Kg)	41500	42000	40000	42500	
AREA (cm²)	176.715	179.079	176.715	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	234.842	234.534	226.354	240.501	
PROMEDIO (kg/cm²)	234.058				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	111.83%	111.68%	107.79%	114.52%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	5.042494754				
VARIANZA (σ²)	25.42675335				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	2.15%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 2 probetas de fractura tipo 1, 1 probeta de fractura tipo 2 y 1 probeta de fractura tipo 3					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E13

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de pirita, 14 días

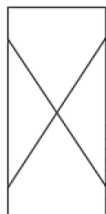
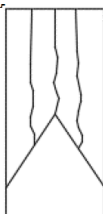
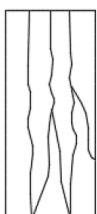
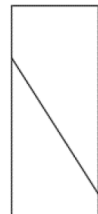
N° DE TESTIGO	41	42	43	44	
IDENTIFICACIÓN	P705	P706	P707	P708	
FECHA DE MUESTREO	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	
EDAD (días)	14	14	14	14	
FECHA DE ROTURA	14/02/2025	14/02/2025	14/02/2025	14/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	14.9	15	15.1	15.1	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13678.31	13845.10	13608.02	13655.52	
VOLUMEN (cm³)	5230.99	5301.44	5372.36	5372.36	
ESBELTEZ	2.01	2.00	1.99	1.99	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	3	3	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.615	2.612	2.533	2.542	
CARGA (Tn)	38	38.5	39	39	
CARGA (Kg)	38000	38500	39000	39000	
AREA (cm²)	174.366	176.715	179.079	179.079	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	217.932	217.865	217.781	217.781	
PROMEDIO (kg/cm²)	217.840				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	103.78%	103.75%	103.71%	103.71%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.063224655				
VARIANZA (σ²)	0.003997357				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.03%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 2 probetas de fractura tipo 2 y 3 probetas de fractura tipo 3					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E14

Resultados a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de pirita, 28 días

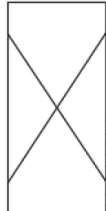
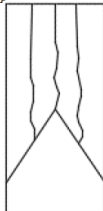
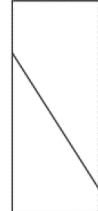
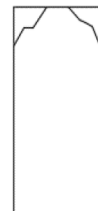
N° DE TESTIGO	45	46	47	48	
IDENTIFICACIÓN	P709	P710	P711	P712	
FECHA DE MUESTREO	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	
EDAD (días)	28	28	28	28	
FECHA DE ROTURA	28/02/2025	28/02/2025	28/02/2025	28/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15.1	15	15	14.9	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13749.39	13702.47	13803.98	13685.00	
VOLUMEN (cm³)	5372.36	5301.44	5301.44	5230.99	
ESBELTEZ	1.99	2.00	2.00	2.01	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	1	1	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.559	2.585	2.604	2.616	
CARGA (Tn)	37	36.5	36.5	36	
CARGA (Kg)	37000	36500	36500	36000	
AREA (cm²)	179.079	176.715	176.715	174.366	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	210.00	210.00	210.00	210.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	206.613	206.548	206.548	206.462	
PROMEDIO (kg/cm²)	206.543				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	98.39%	98.36%	98.36%	98.32%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.053687922				
VARIANZA (σ²)	0.002882393				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.03%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 2 probetas de fractura tipo 1 y 2 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E15

Resultados a compresión de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 0% de pirita, 7 días

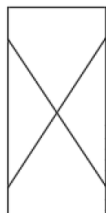
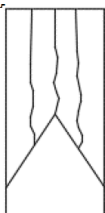
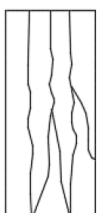
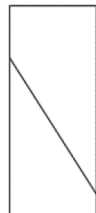
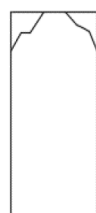
Nº DE TESTIGO	49	50	51	52	
IDENTIFICACIÓN	P201	P202	P203	P204	
FECHA DE MUESTREO	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	
EDAD (días)	7	7	7	7	
FECHA DE ROTURA	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	
DIÁMETRO (cm)	14.95	15.05	14.95	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	12888.66	12851.02	12445.92	12687.50	
VOLUMEN (cm³)	5266.15	5336.84	5266.15	5301.44	
ESBELTEZ	2.01	1.99	2.01	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	1	2	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.447	2.408	2.363	2.393	
CARGA (Tn)	35	35.5	35	35.5	
CARGA (Kg)	35000	35500	35000	35500	
AREA (cm²)	175.538	177.895	175.538	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	199.387	199.556	199.387	200.889	
PROMEDIO (kg/cm²)	199.805				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	83.08%	83.15%	83.08%	83.70%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.629872923				
VARIANZA (σ²)	0.3967399				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.32%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1 y 3 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E16

Resultados a compresión de concreto $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 0% de pirita, 14 día

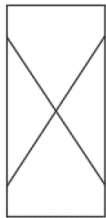
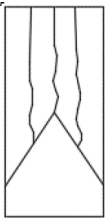
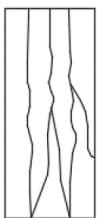
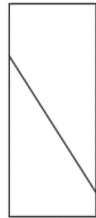
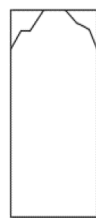
Nº DE TESTIGO	53	54	55	56	
IDENTIFICACIÓN	P205	P206	P207	P208	
FECHA DE MUESTREO	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	
EDAD (días)	14	14	14	14	
FECHA DE ROTURA	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15	15.05	14.95	14.9	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	12867.42	12871.49	12728.12	12738.29	
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5336.84	5266.15	5230.99	
ESBELTEZ	2.00	1.99	2.01	2.01	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	1	2	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.427	2.412	2.417	2.435	
CARGA (Tn)	42.5	42.5	42	42	
CARGA (Kg)	42500	42500	42000	42000	
AREA (cm²)	176.715	177.895	175.538	174.366	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	240.501	238.905	239.264	240.872	
PROMEDIO (kg/cm²)	239.886				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	100.21%	99.54%	99.69%	100.36%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.821490191				
VARIANZA (σ²)	0.674846134				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.34%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1 y 3 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E17

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 0% de pirita, 28 día

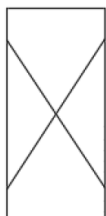
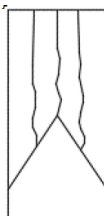
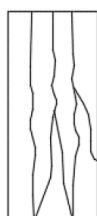
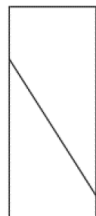
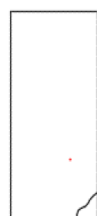
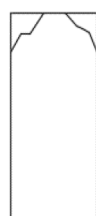
N° DE TESTIGO	57	58	59	60	
IDENTIFICACIÓN	P209	P210	P211	P212	
FECHA DE MUESTREO	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	24/01/2025	
EDAD (días)	28	28	28	28	
FECHA DE ROTURA	21/02/2025	21/02/2025	21/02/2025	21/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15	14.95	14.95	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	12513.96	12991.04	12771.40	12925.93	
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5266.15	5266.15	5301.44	
ESBELTEZ	2.00	2.01	2.01	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	3	1	6	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.360	2.467	2.425	2.438	
CARGA (Tn)	51	50.5	50.5	51	
CARGA (Kg)	51000	50500	50500	51000	
AREA (cm²)	176.715	175.538	175.538	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	288.601	287.686	287.686	288.601	
PROMEDIO (kg/cm²)	288.144				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	120.25%	119.87%	119.87%	120.25%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.457354682				
VARIANZA (σ²)	0.209173305				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.16%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1, 1 probeta de fractura tipo 2, una probeta de fractura tipo 3 y 1 probetas de fractura tipo 6					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E18

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de pirita, 7 días

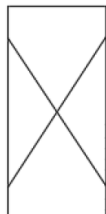
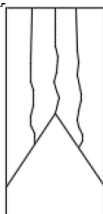
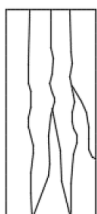
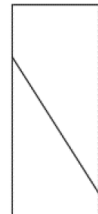
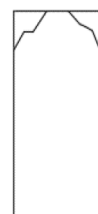
N° DE TESTIGO	61	62	63	64	
IDENTIFICACIÓN	P401	P402	P403	P404	
FECHA DE MUESTREO	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	
EDAD (días)	7	7	7	7	
FECHA DE ROTURA	5/02/2025	5/02/2025	5/02/2025	5/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15	15.15	15	15.1	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13182.05	13274.75	13103.88	13129.70	
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5408.00	5301.44	5372.36	
ESBELTEZ	2.00	1.98	2.00	1.99	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	1	2	2	2	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.487	2.455	2.472	2.444	
CARGA (Tn)	47	48	47	47.5	
CARGA (Kg)	47000	48000	47000	47500	
AREA (cm²)	176.715	180.267	176.715	179.079	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	265.966	266.272	265.966	265.247	
PROMEDIO (kg/cm²)	265.863				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	110.82%	110.95%	110.82%	110.52%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.377017943				
VARIANZA (σ²)	0.142142529				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.14%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1 y 3 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E19

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de pirita, 14 días

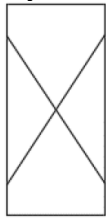
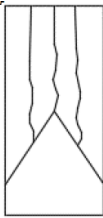
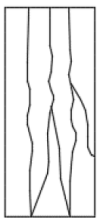
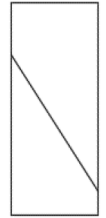
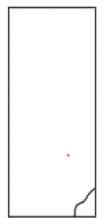
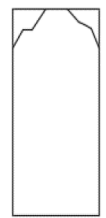
Nº DE TESTIGO	65	66	67	68
IDENTIFICACIÓN	P405	P406	P407	P408
FECHA DE MUESTREO	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025
EDAD (días)	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	12/02/2025	12/02/2025	12/02/2025	12/02/2025
DIÁMETRO (cm)	15.05	15	15.15	15.05
ALTURA (cm)	30	30	30	30
PESO (g)	13225.33	13278.57	13039.34	13136.73
VOLUMEN (cm³)	5336.84	5301.44	5408.00	5336.84
ESBELTEZ	1.99	2.00	1.98	1.99
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	3	2	1	6
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.478	2.505	2.411	2.462
CARGA (Tn)	51.5	51	52	51.5
CARGA (Kg)	51500	51000	52000	51500
AREA (cm²)	177.895	176.715	180.267	177.895
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	289.497	288.601	288.462	289.497
PROMEDIO (kg/cm²)	289.014			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	120.62%	120.25%	120.19%	120.62%
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.485423861			
VARIANZA (σ²)	0.235636325			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.17%			
OBSERVACIONES:				
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1, 1 probeta de fractura tipo 2, 1 probeta de fractura tipo 3 y 1 probetas de fractura tipo 6				
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:				
				
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.
				
				Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E20

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 5% de pirita, 28 días

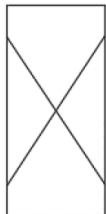
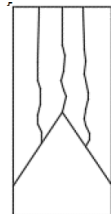
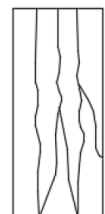
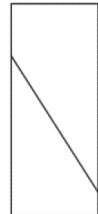
N° DE TESTIGO	69	70	71	72	
IDENTIFICACIÓN	P409	P410	P411	P412	
FECHA DE MUESTREO	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	29/01/2025	
EDAD (días)	28	28	28	28	
FECHA DE ROTURA	26/02/2025	26/02/2025	26/02/2025	26/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15	15.15	15.1	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13248.61	13164.45	13098.82	13173.94	
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5408.00	5372.36	5301.44	
ESBELTEZ	2.00	1.98	1.99	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	2	2	1	2	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.499	2.434	2.438	2.485	
CARGA (Tn)	54	55	54.5	54	
CARGA (Kg)	54000	55000	54500	54000	
AREA (cm²)	176.715	180.267	179.079	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	305.577	305.104	304.336	305.577	
PROMEDIO (kg/cm²)	305.149				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	127.32%	127.13%	126.81%	127.32%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.507668856				
VARIANZA (σ²)	0.257727668				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.17%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1 y 3 probetas de fractura tipo 2					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E21

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de pirita, 7 días

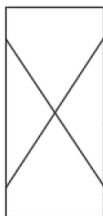
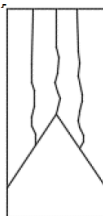
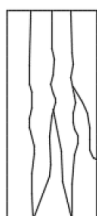
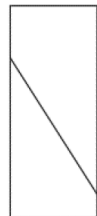
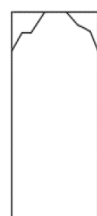
N° DE TESTIGO	73	74	75	76	
IDENTIFICACIÓN	P601	P602	P603	P604	
FECHA DE MUESTREO	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	
EDAD (días)	7	7	7	7	
FECHA DE ROTURA	6/02/2025	6/02/2025	6/02/2025	6/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	14.9	15	15.05	14.85	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13597.47	13564.52	13310.53	13305.02	
VOLUMEN (cm³)	5230.99	5301.44	5336.84	5195.94	
ESBELTEZ	2.01	2.00	1.99	2.02	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	3	3	2	3	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.599	2.559	2.494	2.561	
CARGA (Tn)	50.5	51	51.5	50	
CARGA (Kg)	50500	51000	51500	50000	
AREA (cm²)	174.366	176.715	177.895	173.198	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	289.620	288.601	289.497	288.687	
PROMEDIO (kg/cm²)	289.101				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	120.68%	120.25%	120.62%	120.29%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.460447569				
VARIANZA (σ²)	0.212011964				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.16%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 2 y 3 probetas de fractura tipo 3					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E22

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de pirita, 14 días

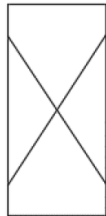
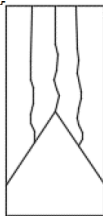
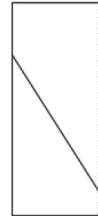
Nº DE TESTIGO	77	78	79	80
IDENTIFICACIÓN	P605	P606	P607	P608
FECHA DE MUESTREO	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025
EDAD (días)	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	13/02/2025	13/02/2025	13/02/2025	13/02/2025
DIÁMETRO (cm)	15	14.85	14.95	15
ALTURA (cm)	30	30	30	30
PESO (g)	13485.54	13488.70	13414.68	13466.58
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5195.94	5266.15	5301.44
ESBELTEZ	2.00	2.02	2.01	2.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	4	3	3	3
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.544	2.596	2.547	2.540
CARGA (Tn)	55	54	54.5	55
CARGA (Kg)	55000	54000	54500	55000
AREA (cm²)	176.715	173.198	175.538	176.715
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	311.236	311.782	310.473	311.236
PROMEDIO (kg/cm²)	311.182			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	129.68%	129.91%	129.36%	129.68%
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.465865926			
VARIANZA (σ²)	0.217031061			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.15%			
OBSERVACIONES:				
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 4 y 3 probetas de fractura tipo 3				
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:				
				
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.
Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.				

Tabla E23

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 10% de pirita, 28 días

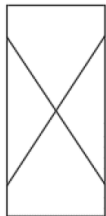
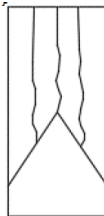
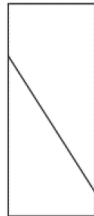
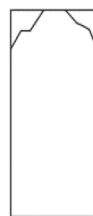
Nº DE TESTIGO	81	82	83	84
IDENTIFICACIÓN	P609	P610	P611	P612
FECHA DE MUESTREO	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025	30/01/2025
EDAD (días)	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	27/02/2025	27/02/2025	27/02/2025	27/02/2025
DIÁMETRO (cm)	15	14.9	15	14.95
ALTURA (cm)	30	30	30	30
PESO (g)	13440.51	13383.94	13389.53	13453.02
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5230.99	5301.44	5266.15
ESBELTEZ	2.00	2.01	2.00	2.01
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	2	2	1	2
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.535	2.559	2.526	2.555
CARGA (Tn)	55.5	55	55.5	55
CARGA (Kg)	55500	55000	55500	55000
AREA (cm²)	176.715	174.366	176.715	175.538
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	314.066	315.428	314.066	313.322
PROMEDIO (kg/cm²)	314.220			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	130.86%	131.43%	130.86%	130.55%
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.760576684			
VARIANZA (σ²)	0.578476892			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.24%			
OBSERVACIONES:				
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 1 y 3 probetas de fractura tipo 2				
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:				
				
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.
				
				Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E24

Resultados a compresión del concreto $f'c=240$ kg/cm² con 15% de pirita, 7 días

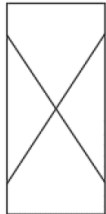
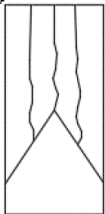
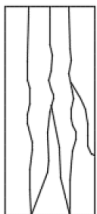
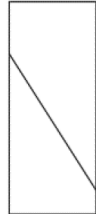
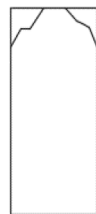
Nº DE TESTIGO	85	86	87	88	
IDENTIFICACIÓN	P801	P802	P803	P804	
FECHA DE MUESTREO	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	
EDAD (días)	7	7	7	7	
FECHA DE ROTURA	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	7/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	14.95	15	15	14.95	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13872.17	13880.63	13907.13	13925.24	
VOLUMEN (cm³)	5266.15	5301.44	5301.44	5266.15	
ESBELTEZ	2.01	2.00	2.00	2.01	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	4	1	1	1	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.634	2.618	2.623	2.644	
CARGA (Tn)	52	52.5	52.5	52	
CARGA (Kg)	52000	52500	52500	52000	
AREA (cm²)	175.538	176.715	176.715	175.538	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	296.231	297.089	297.089	296.231	
PROMEDIO (kg/cm²)	296.660				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	123.43%	123.79%	123.79%	123.43%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.428918367				
VARIANZA (σ²)	0.183970966				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.14%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 4 y 3 probetas de fractura tipo 1					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E25

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de pirita, 14 días

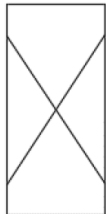
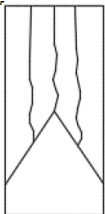
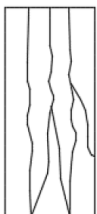
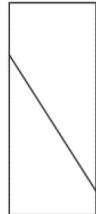
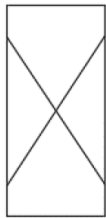
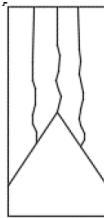
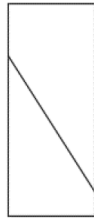
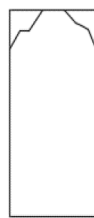
Nº DE TESTIGO	89	90	91	92	
IDENTIFICACIÓN	P805	P806	P807	P808	
FECHA DE MUESTREO	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	
EDAD (días)	14	14	14	14	
FECHA DE ROTURA	14/02/2025	14/02/2025	14/02/2025	14/02/2025	
DIÁMETRO (cm)	15	15.05	15.05	15	
ALTURA (cm)	30	30	30	30	
PESO (g)	13802.57	13971.18	13732.56	13776.59	
VOLUMEN (cm³)	5301.44	5336.84	5336.84	5301.44	
ESBELTEZ	2.00	1.99	1.99	2.00	
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	
TIPO DE ROTURA	3	3	2	3	
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.604	2.618	2.573	2.599	
CARGA (Tn)	45	45.5	45.5	45	
CARGA (Kg)	45000	45500	45500	45000	
AREA (cm²)	176.715	177.895	177.895	176.715	
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00	
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	254.648	255.769	255.769	254.648	
PROMEDIO (kg/cm²)	255.209				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	106.10%	106.57%	106.57%	106.10%	
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.560725134				
VARIANZA (σ²)	0.314412676				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.22%				
OBSERVACIONES:					
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 1 probeta de fractura tipo 2 y 3 probetas de fractura tipo 3					
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:					
					
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.	Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

Tabla E26

Resultados a compresión del concreto $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con 15% de pirita, 28 días

Nº DE TESTIGO	93	94	95	96
IDENTIFICACIÓN	P809	P810	P811	P812
FECHA DE MUESTREO	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025	31/01/2025
EDAD (días)	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	28/02/2025	28/02/2025	28/02/2025	28/02/2025
DIÁMETRO (cm)	14.95	15	15.1	15
ALTURA (cm)	30	30	30	30
PESO (g)	13887.26	13838.50	13930.44	13812.14
VOLUMEN (cm³)	5266.15	5301.44	5372.36	5301.44
ESBELTEZ	2.01	2.00	1.99	2.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	3	3	6	6
PESO ESPECÍFICO (g/cm³)	2.637	2.610	2.593	2.605
CARGA (Tn)	39	39.5	40	39.5
CARGA (Kg)	39000	39500	40000	39500
AREA (cm²)	175.538	176.715	179.079	176.715
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm²)	240.00	240.00	240.00	240.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm²)	222.174	223.524	223.366	223.524
PROMEDIO (kg/cm²)	223.147			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	92.57%	93.14%	93.07%	93.14%
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)	0.565699143			
VARIANZA (σ²)	0.32001552			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	0.25%			
OBSERVACIONES:				
En el momento del ensayo a la compresión de estas 4 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 2 probetas de fractura tipo 3 y 2 probetas de fractura tipo 6				
ESQUEMA DE PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA:				
				
Tipo 1 Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.	Tipo 2 Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.	Tipo 3 Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.	Tipo 4 Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.	Tipo 5 Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.
				
				Tipo 6 Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

APENDICE F: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura F1

Vista general del agregado grueso de la cantera “Aguilar”



Figura F2

Vista general del agregado fino de la cantera “Aguilar”



Figura F3

Vista general a la obtención de la pirita en La Cruz de Algamarca

**Figura F4**

Ensayo de granulometría del agregado grueso



Figura F5

Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso

**Figura F6**

Ensayo de abrasión del agregado grueso



Figura F7

Ensayo para calcular el asentamiento de la mezcla de prueba.

**Figura F8**

Dimensionamiento del asentamiento de la mezcla de prueba.



Figura F9

Ensayo de especímenes de concreto para el cálculo de la resistencia a compresión

**Figura F10**

Medición de diámetro de base las probetas de previo a su ensayo a compresión



Figura F11

Medición de altura las probetas de concreto previo a su ensayo a compresión

**Figura F12**

Resultado del ensayo de resistencia a compresión de una probeta de 7 días de curado con adición de pirita al 5%



Figura F13

Ensayo de resistencia a compresión de una probeta con adición de pirita al 10%

**Figura F14**

Ensayo de resistencia a compresión de una probeta con adición de pirita al 15%



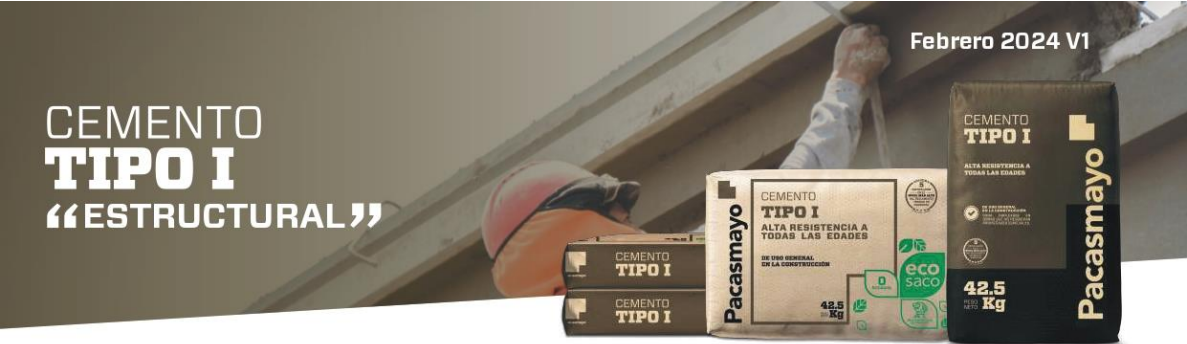
Figura F16

*Ensayo de resistencia a compresión de probetas de concreto con adición de pirita al 15%,
acompañado del asesor de tesis*



ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACASMAYO PORTLAND TIPO



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES

Saco regular
42.5 kg

Ecosaco
42.5 kg

A granel

Big Bag
(1 tonelada)

*En cumplimiento de la Norma Metrológica Peruana (NMP 002:2018)

RECOMENDACIONES DE USO

Utilizar agregados y materiales de buena calidad.

A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.

2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.

3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.

4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.

5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.

6 Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.

7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.



¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.

BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco genera cero desperdicios, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

- 1. AGREGA** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.
- 2. AÑADE** el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.
- 3. AJUSTA** la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegura que toda la bolsa esté incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.
- 4. MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Clinker	Emisiones
Bajo	hasta 70%	500 a 700 Kg CO ₂ eq
Medio	71% a 88%	701 a 800 Kg CO ₂ eq
Alto	89% a 100%	801 Kg CO ₂ eq a más

***Tipo I** se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el **cumplimiento del Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Empresa Certificadora:

ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



NTP 334.009
ASTM C 150
Cemento Portland



DS 001-2022-PRODUCE
Cemento Hidráulico
Utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.



*Tipos de esquema de certificación

Esquema Tipo 5: Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbc**^{pe}



Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	1.8
SO ₃	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	2.72
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	2.7
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Contenido de aire en mortero	Máximo	12	%	NTP 334.048	8
Finura					
Superficie específica	Mínimo	260	m ² /kg	NTP 334.002	389
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.08
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	27.5 (3980)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	33.0 (4790)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	40.1 (5810)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	129
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	250
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.007

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 / ASTM C150



ANEXO 2: CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

CONSTANCIA

A nombre del Bach. SEBASTIÁN ALEXANDER VALENCIA PINEDO, Exalumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la cual se da constancia que se han realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo contenido de humedad
02	Ensayo análisis granulométrico
03	Ensayo peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Ensayo de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto
07	Ensayo material más fino que pasa el tamiz N° 200
08	Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto
09	Ensayo a compresión en muestras cilíndricas

Para la Tesis Titulada: **"INFLUENCIA DE LA PIRITA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO $F'C=210$ KG/CM² Y $F'C=240$ KG/CM² EN CAJAMARCA - 2024"**. Las actividades se desarrollaron del 01 de noviembre del 2024 al 28 de febrero de 2025.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 26 de mayo de 2025.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Mauro Ceballos Vargas
JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES