

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



Influencia de la adición de nanosílice en las tejas de microconcreto con fibra de Pet

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

AUTOR

Jose Elmer Gastulo Niño

ASESOR

Elmer Rolando Polo Briceno

<https://orcid.org/0000-0002-5831-8818>

Chiclayo, 2026

**Influencia de la adición de nanosílice en las tejas de microconcreto
con fibra de Pet**

PRESENTADA POR
Jose Elmer Gastulo Niño

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Castillo Velarde Roberto Carlos
PRESIDENTE

José Alberto Acero Martínez
SECRETARIO

Elmer Rolando Polo Briceño
VOCAL

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a Dios, por su amor, guía y orientación.

A mi madre querida, Nancy Niño, cuya fe en mí fue inquebrantable

A mi familia, cuyo amor y dedicación fueron fundamentales para mi desarrollo.

Y finalmente, a todos aquellos que comparten la convicción de que la educación y la investigación son pilares para construir un futuro mejor

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento eterno a Dios por su bendición y fortaleza durante mi etapa universitaria.

A mi familia, gracias por su amor, paciencia y apoyo incesante.

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y a todos los profesionales que colaboraron en esta investigación, gracias por su valiosa contribución al avance de la ingeniería.

Influencia de la adición de Nanosílice en las tejas de microconcreto con fibra de Pet

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 3% |
| 2 | dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet | 2% |
| 3 | cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 4 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 7 | vsip.info Fuente de Internet | 1% |
| 8 | kupdf.net Fuente de Internet | <1% |

Índice

| | |
|-------------------------------------|------------|
| RESUMEN..... | 10 |
| ABSTRACT | 11 |
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| REVISIÓN DE LITERATURA | 16 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 44 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 76 |
| CONCLUSIONES | 104 |
| RECOMENDACIONES | 109 |
| REFERENCIAS | 113 |
| ANEXOS | 117 |

Lista de Tablas

| | |
|---|-----------|
| Tabla N° 1. Tamaño de la muestra del agregado fino | 24 |
| Tabla N° 2. Clasificación de la consistencia de fluidez | 31 |
| Tabla N° 3. Resistencia transversal mínima de las tejas (Fmin)..... | 36 |
| Tabla N° 4. Muestreo para el Ensayo de Peso | 46 |
| Tabla N° 5. Muestreo para el ensayo de Resistencia al impacto..... | 47 |
| Tabla N° 6. Muestreo para el ensayo de Durabilidad, Impermeabilidad y Resistencia a la Flexión | 48 |
| Tabla N° 7. Muestreo para el Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 14 días | 48 |
| Tabla N° 8. Muestreo para el Ensayo de Porosidad y Fisuración | 48 |
| Tabla N° 9. Operacionalización de Variables – Variable independiente..... | 50 |
| Tabla N° 10. Operacionalización de Variables – Variable dependiente | 50 |
| Tabla N° 11. Ficha técnica Cemento Portland Pacasmayo Fortimax | 52 |
| Tabla N° 12. Ficha técnica de la fibra de Pet..... | 56 |
| Tabla N° 13. Ficha técnica de Nanosílice | 57 |
| Tabla N° 14. Tabla de Dosificación para la elaboración de las tejas de microconcreto . | 60 |
| Tabla N° 15. Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad del agregado fino | 76 |
| Tabla N° 16. Resultados del Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado fino | 76 |
| Tabla N° 17. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto al agregado fino..... | 77 |
| Tabla N° 18. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado al agregado fino.... | 78 |
| Tabla N° 19. Resultados del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción al agregado fino | 78 |
| Tabla N° 20. Resultados del Ensayo de Fluidez al mortero convencional | 78 |
| Tabla N° 21. Resultados del Ensayo de Fluidez al mortero patrón..... | 79 |
| Tabla N° 22. Resultados del Ensayo de Fluidez al mortero con adición de Nanosílice .. | 80 |
| Tabla N° 23. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión Inicial a los 14 días..... | 81 |
| Tabla N° 24. Resultados del Ensayo de Porosidad y Fisuración a las tejas de microconcreto | 83 |

| | |
|---|-----------|
| Tabla N° 25. Resultados del Ensayo de Peso a las tejas de microconcreto | 84 |
| Tabla N° 26. Evaluación de Resistencia al Impacto a las tejas de microconcreto..... | 85 |
| Tabla N° 27. Resultados del Ensayo de Durabilidad a las tejas de microconcreto | 86 |
| Tabla N° 28. Resultados del Ensayo de Impermeabilidad a las tejas de microconcreto | 87 |
| Tabla N° 29. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días a las tejas de microconcreto | 88 |
| Tabla N° 30. Resultados Comparativos entre cada porcentaje de adición de nanosílice en las tejas de microconcreto..... | 90 |
| Tabla N° 31. Costo Unitario de teja sin adición de nanosílice..... | 91 |
| Tabla N° 32. Costo Unitario de teja con adición de nanosílice | 91 |
| Tabla N° 33. Clasificación de acuerdo a la magnitud | 92 |
| Tabla N° 34. Clasificación de acuerdo a la importancia..... | 93 |
| Tabla N° 35. Matriz de Leopold - Identificación de Impactos Ambientales..... | 93 |
| Tabla N° 36. Matriz de Leopold - Evaluación de Impactos Ambientales de tejas con adición de nanosílice..... | 94 |
| Tabla N° 37. Matriz de Leopold - Evaluación de Impactos Ambientales de tejas sin adición de nanosílice..... | 94 |
| Tabla N° 38. Comparación de Evaluación de Impacto Ambiental entre tejas con y sin adición de Nanosílice..... | 95 |

Lista de Ilustraciones

| | |
|--|-----------|
| Ilustración 1. Fibra de Pet | 37 |
| Ilustración 2. Fotografía electrónica de Nanosílice a 10 nm | 38 |
| Ilustración 3. Estructura de Nanosílice | 39 |
| Ilustración 4. Resistencia y Trabajabilidad de Nanosílice..... | 42 |
| Ilustración 5. Vista isométrica de la teja de microconcreto con fibra de Pet | 49 |
| Ilustración 6. Vista en elevación del arco mayor de la teja de microconcreto con fibra de Pet | 49 |
| Ilustración 7. Vista en elevación del arco menor de la teja de microconcreto con fibra de Pet | 49 |
| Ilustración 8. Cemento Portland Fortimax Pacasmayo MS..... | 51 |
| Ilustración 9. Agregado fino – Cantera Tres Tomas..... | 52 |
| Ilustración 10. Contenido de humedad del agregado fino | 53 |
| Ilustración 11. Análisis Granulométrico del agregado fino..... | 53 |
| Ilustración 12. Peso Unitario Suelto y Compactado del agregado fino | 54 |
| Ilustración 13. Gravedad Específica y Absorción del agregado fino..... | 55 |
| Ilustración 14. Fibra de Pet | 55 |
| Ilustración 15. Aditivo Nanosílice en envase esterilizado | 56 |
| Ilustración 16. Ensayo de Fluidez para mortero convencional..... | 61 |
| Ilustración 17. Ensayo de Fluidez para mortero patrón con fibra de Pet..... | 62 |
| Ilustración 18. Ensayo de Fluidez para mortero con adiciones de Nanosílice..... | 64 |
| Ilustración 19. Vista en planta de la teja de microconcreto con fibra de Pet | 65 |
| Ilustración 20. Ensayo de Resistencia a la Flexión Inicial a los 14 días | 67 |
| Ilustración 21. Adición de materiales a la mezcla para la elaboración de tejas de microconcreto | 68 |
| Ilustración 22. Moldeado de tejas de microconcreto | 69 |
| Ilustración 23. Secado, curado y traslado de las tejas de microconcreto | 69 |
| Ilustración 24. Ensayo de Porosidad y Fisuración a las tejas de microconcreto | 70 |

| | |
|--|-----------|
| Ilustración 25. Ensayo de Peso a las tejas de microconcreto..... | 71 |
| Ilustración 26. Ensayo de Resistencia al Impacto a las tejas de microconcreto | 73 |
| Ilustración 27. Ensayo de Durabilidad a las tejas de microconcreto..... | 73 |
| Ilustración 28. Ensayo de Impermeabilidad a las tejas de microconcreto..... | 74 |
| Ilustración 29. Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días a las tejas de microconcreto | 75 |
| Ilustración 30. Curva Granulométrica del agregado fino | 77 |
| Ilustración 31. Resultados del Ensayo de Fluidéz al mortero convencional..... | 79 |
| Ilustración 32. Resultados del Ensayo de Fluidéz al mortero patrón..... | 79 |
| Ilustración 33. Resultados del Ensayo de Fluidéz al mortero con adición de Nanosílice | 80 |
| Ilustración 34. Gráfico de los resultados del Ensayo de Flexión Inicial a los 14 días | 81 |
| Ilustración 35. Gráfico de Resultados del Ensayo de Porosidad y Fisuración | 84 |
| Ilustración 36. Gráfico de Resultados del Ensayo de Peso | 85 |
| Ilustración 37. Gráfico de Resultados del Ensayo de Resistencia al Impacto | 86 |
| Ilustración 38. Gráfico de Resultados del Ensayo de Durabilidad | 87 |
| Ilustración 39. Gráfico de Resultados del Ensayo de Impermeabilidad | 88 |
| Ilustración 40. Gráfico de Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días | 89 |

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue diseñar y evaluar tejas de microconcreto con fibra de PET y adición de nanosílice, analizando la influencia del contenido de nanosílice en sus propiedades físicas y mecánicas. Se elaboraron 63 especímenes con diferentes porcentajes de nanosílice (0%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3%), siguiendo las normas del Manual para el Control de Calidad Elemento 23S y la Norma UNE 490 y 491, con una relación cemento-arena de 1:1.5 y agua-cemento de 0.47. Los resultados mostraron que el 3% es el porcentaje óptimo, mejorando significativamente el peso, resistencia a la flexión, durabilidad, impermeabilidad, resistencia al impacto y reduciendo la porosidad y fisuración, con un aumento en el costo, pero justificado por los beneficios, y un menor impacto ambiental, favoreciendo el paisaje urbano, la seguridad, la salud y el bienestar de la población.

Palabras clave: Nanosílice, tejas, Fibra de Pet, Propiedades físicas, Propiedades mecánicas

ABSTRACT

The objective of this research was to design and evaluate microconcrete tiles with PET fiber and nanosilica addition, analyzing the influence of nanosilica content on their physical and mechanical properties. A total of 63 specimens were made with different nanosilica percentages (0%, 1.5%, 2%, 2.5%, and 3%), following the standards of the Quality Control Manual Element 23S and UNE 490 and 491 standards, using a cement-sand ratio of 1:1.5 and a water-cement ratio of 0.47. The results showed that 3% nanosilica is the optimal percentage, significantly improving weight, flexural strength, durability, impermeability, impact resistance, and reducing porosity and cracking. Although the cost increased, the benefits justify it, with a lower environmental impact, enhancing urban landscapes, safety, health, and public well-being.

Keywords: Nanosilica, Roof tiles, PET fiber, Physical properties, Mechanical properties

INTRODUCCIÓN

El Perú es una nación propensa a sufrir los efectos adversos de la variabilidad climática, esto se debe a su ubicación geográfica, características demográficas y nivel de desarrollo de la sociedad. [1]. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi) ha emitido un aviso dirigido a 20 regiones del país, alertando sobre la posible ocurrencia de lluvias intensas, nevadas y granizadas en zonas específicas. De acuerdo con el informe publicado en sus canales oficiales, se espera que las precipitaciones oscilen entre moderadas e intensas, impactando en regiones como Lima, Huancavelica, Moquegua, Arequipa, Tacna, Junín, Ica, Apurímac, La Libertad, Puno, Lambayeque, Ayacucho, Amazonas, Cusco, Piura, Pasco, San Martín, Huánuco, Áncash y Cajamarca. [2] La introducción de tejas de microconcreto representó un avance significativo en el sector de la construcción, produciendo un cambio fundamental dentro del mercado de coberturas, mientras que hace apenas tres décadas era del 10%. [3]. La problemática en cuestión es que tanto sus características físico-mecánicas pueden verse afectadas ante diversas situaciones climatológicas. Son más susceptibles al daño, fisuración, al granizo, vientos intensos y el descenso de elementos que pueden impactar su resistencia, lo que implica que necesitan ser reparados o sustituidos con mayor regularidad [4]. Vale la pena mencionar que recientemente nuestro país ha sido afectado por las fuertes precipitaciones del fenómeno del Niño, haciendo que este tipo de teja presente graves filtraciones de agua afectando su impermeabilidad y presentando posibles patologías ocasionadas por hongos (manchas negras). [5] Por último, escasas fábricas implementan supervisión constante en la fabricación, especialmente al alterarse: agua, arena, cemento y aditivos [6], incluso pueden usarse agregados de mala calidad que, por su disparidad de granulometrías, ocasiona inconvenientes como bajas resistencias y porosidad. [7]

Por otro lado, en los últimos años, la nanotecnología ha empezado a extenderse en una extensa variedad de áreas, abarcando la construcción, donde ha habilitado el desarrollo de concreto y microconcreto con una resistencia significativamente elevada; cambiando la visión, expectativas y capacidades para controlar el mundo material. El efecto del Nanosílice en el cemento Portland ha sido investigado ampliamente y se ha descubierto que es un aditivo eficaz para el desarrollo de propiedades mecánicas y microestructurales. No obstante, a pesar de la gran cantidad de estudios de su influencia en diferentes tipos de concretos, no se han reportado estudios donde hayan sido utilizados en tejas de microconcreto. Las nanopartículas poseen características físicas y químicas que tienen el potencial de mejorar sustancialmente las

propiedades de estos. Este material, derivado de la micro sílice, no solo mejora las resistencias, sino que también contribuye a otras propiedades como la impermeabilidad, porosidad y fisuración [8].

En el aspecto teórico, en este estudio es el primero en ser realizado con la finalidad de conocer los efectos sobre el uso del aditivo Nanosílice como un componente integrante de la mezcla en la elaboración de tejas de microconcreto, el cual será añadido en distintas proporciones. El elemento obtendrá propiedades de resistencia, una mayor durabilidad, reducción de porosidad y podrán ser más impermeables. La mayor parte de investigaciones determinan que al aumentar la cantidad de este aditivo en el cemento mejora el incremento de resistencias mejorando sus propiedades, las cuales se ven influidas al potenciar el % de adición de este aditivo acelerando el proceso de hidratación. [8] Se observa también una limitación en cuanto a la normativa específica para tejas de microconcreto en el Perú, ya que no existe una. Esto dificulta la estandarización y evaluación de sus propiedades y desempeño. Ante esta carencia, se ha recurrido a normas internacionales que ofrecen lineamientos y parámetros reconocidos globalmente para la fabricación y ensayo de materiales similares. La adopción de estas normas internacionales permite establecer un marco de referencia sólido y comparable a nivel global, facilitando así la validación y la aplicación de los resultados obtenidos en esta investigación.

En el aspecto social, se realizará para optimizar a la población que usa este tipo de coberturas, ante la necesidad de tener tejas de una mejor calidad. Estos conocimientos no solo se podrían transmitir a otros rincones del país para aplicarlos, sino que también pueden generar empleos con un buen asesoramiento técnico para la población de bajos recursos. Con el propósito de resguardar estructuras habitacionales, considerando su carácter como un producto sostenible, sustentable y respetuoso ambientalmente. El uso de este nuevo material de cobertura también aumentará el grado de protección de los techos, optimizando además su apariencia y comodidad, con un ahorro energético significativo que favorecerá la consecución de un progreso sustentable del desempeño humano.

En el aspecto económico, el tiempo de vida de la nanosílice genera un ahorro debido a que impulsa la hidratación, facilitando así el aumento de la resistencia en las primeras etapas. Además, la producción de este aditivo otorga impermeabilidad y por ende su resistencia, lo que podría representar una reducción de gastos en productos impermeabilizantes. [8]

En el aspecto ambiental, el aditivo de nanosílice fue denominado GAIA, ya que protege la naturaleza, el medio ambiente, el bienestar de los trabajadores y la integridad del concreto.

Gracias a esto aumentará la eficiencia del uso del cemento en la fabricación de tejas de microconcreto, dado que su producción es una fuente significativa de emisiones CO₂. El que sea empleado en menor cantidad contribuye a una menor huella de carbono, lo que es beneficioso para el entorno ambiental al reducir la emisión de gases que generan un efecto invernadero. La teja con nanosílice será más ecológica y eficaz, fabricada con un consumo de energía reducido y una disminución en la liberación de gases.

Teniendo en cuenta la problemática expuesta y la teoría revisada, nos preguntamos: ¿La incorporación de nanosílice mejorará las propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto? Se espera que la teja propuesta sea superior a la teja de microconcreto convencional en lo que se refiere a sus propiedades. En consecuencia, el propósito principal de esta investigación fue diseñar tejas de microconcreto adicionando el aditivo GAIA Nanosílice para optimizar sus propiedades físicas y mecánicas. Este estudio diseñará las tejas de microconcreto con una proporción cemento - arena y una relación A/C de 1:1.5 y 0.47 respectivamente, y se realizará el ensayo de fluidez para verificar esta óptima dosificación. Asimismo, se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los materiales que forman parte en la elaboración de tejas de microconcreto con fibra de PET adicionando Nanosílice.
- Estimar la proporción de Nanosílice que se adicionará al diseño de las tejas de microconcreto con fibra de PET.
- Comparar el Peso entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice.
- Comparar la Porosidad y Fisuración entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice.
- Comparar la Resistencia a la Flexión entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice.
- Comparar la Resistencia al Impacto entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice.
- Comparar la Permeabilidad entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice.
- Comparar la Durabilidad al hielo y deshielo entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice.

- Realizar un análisis económico comparativo entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET adicionando Nanosílice.
- Comparar el impacto ambiental entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET adicionando Nanosílice.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

Empezamos la lista de antecedentes nacionales con el presente trabajo de investigación según Ruiz [9], donde se examinó la ventaja de incorporar materiales de la cantera de Añashuayco en una mezcla óptima que incluía Nanosílice. La incorporación de este en el concreto mejora su resistencia debido a la reacción puzolánica con la portlandita, lo que genera gel C-S-H rápidamente y reduce la porosidad de las estructuras. Las partículas de Nanosílice, por su tamaño nanométrico, rellenan parcialmente los poros capilares, refinando la estructura de la pasta. Esto optimiza las propiedades microestructurales del material, logrando mayor resistencia a la compresión y menor capacidad de absorción de agua. A medida que aumenta la dosis de Nanosílice, el volumen de poros disminuye, lo que incrementa la densidad del concreto. En concreto con aditivo de Nanosílice, la permeabilidad se reduce progresivamente hasta un 50%, impidiendo la penetración de agentes corrosivos y mejorando la durabilidad general del material.

La investigación nacional según Quenta [10], tuvo como objetivo definir la incidencia de las fibras de PET en la resistencia del concreto. Incorporando entre 2 % y 6 % la resistencia a la flexión incrementa del 16 % al 37 % en comparación con el concreto estándar, mientras que con un 8 % comienza a descender, aunque todavía conserva un nivel de resistencia superior al del concreto estándar. El estudio concluye que una adición 4 % de fibras de PET es lo más idóneo, ya que además de reforzarlo, aumenta en 24 %. Concretos con porcentajes de fibra PET que exceden el 4% disminuyen otras de sus propiedades mecánicas. Adicionalmente el uso de esta fibra proporciona una solución efectiva para el reciclaje de desechos plásticos y contribuyendo a la sostenibilidad medioambiental, mitigando el impacto ambiental al darles un uso constructivo y beneficioso.

Otro estudio nacional según Chileno [11], quiso comprobar la conexión entre el nanosílice y la resistencia del concreto. Se realizaron cálculos para cuatro diseños de mezcla: uno de ellos corresponde al diseño patrón y los otros tres incorporaron Nanosílice al 1%, 3% y 5%. De cada diseño, se extrajeron tres probetas para obtener un promedio, lo que totalizó la producción de 12 especímenes que se sometieron a pruebas de rotura a los 28 días. Como conclusión, se determinó que su utilización ejerce una influencia en cada uno de los porcentajes planteados, siendo superior al concreto sin la adición de este aditivo.

El artículo según León [12], tiene como propósito fundamental identificar la cantidad correcta del nanosílice, que impactará la optimización de las características del concreto autocompactante. Se realizaron las dosificaciones adecuadas del aditivo para mejorar cada nivel de resistencia (1%, 1.5%, 2%, 3%, 5%, 7%). El estudio concluye que emplear cantidades elevadas diseñadas con relaciones bajas de A/C, ya que estas muestran una mayor manejabilidad y proporcionan significativas de la $f'c$. También se recomienda una dosis hasta el 2%, ya que demostraron un incremento en las resistencias. En contraste, al incorporar porcentajes del 5% y 7%, las resistencias empezaron a descender por debajo del 1%. Sin embargo, estas continuaron siendo superiores a las resistencias alcanzadas por el patrón.

Continuamos con este estudio específico de las tejas de microconcreto según Chávez [3], donde se constató que en las tejas predomina la fluidez y no la relación agua-cemento. Una mezcla con baja fluidez genera resquebrajamiento o fisuras en el molde, mientras que una mezcla más fluida de lo habitual, deformándose y alterando su configuración original. Se determinó que la dosificación ideal para lograr una adecuada trabajabilidad necesita una fluidez de $100\% \pm 5\%$. En base a este dato, la relación cemento - arena y relación agua - cemento óptima fue de 1:1.5 y de 0.47 respectivamente, ya que garantiza una adecuada trabajabilidad y calidad del producto final al ser evaluada por los ensayos de durabilidad, Impermeabilidad y resistencia a la flexión. Las tejas fabricadas que cumplen con todos los estándares requeridos son más asequibles que las disponibles en el mercado local, así como en comparación con las tejas de arcilla cocida.

Finalizamos los antecedentes nacionales con este estudio específico de las tejas de microconcreto según García [13] cuyo objetivo es analizar la influencia del agregado reciclado en el desempeño mecánico, físico y químico de las tejas de microconcreto. Se emplearon materiales reciclados de escombros de construcción, utilizando dos diseños de mezcla con RA/C de 0.45 y 0.48, según las normas UNE 490 y 491 para fabricación, y las NTP para ensayos de flexión y durabilidad. Las tejas fueron sometidas a ensayos de flexión, impermeabilidad y durabilidad, obteniendo resultados satisfactorios en el diseño de mezcla 1, con resistencias superiores a 140 kg a los 28 días, demostrando que el agregado reciclado es viable para productos como tejas.

Abriendo el listado de antecedentes internacionales nos encontramos con este artículo según Tobón [14], se presenta un estudio que concluyó que, gracias a sus características físicas, el nanoSiO_2 , exhiben una elevada actividad puzolánica, lo que acelera la creación de tobermorita (CHS) y el proceso de hidratación. La gran parte de los estudiosos concuerda en que, al

aumentar la cantidad de nanopartículas en un cemento Portland, se logra una mejora significativa en el crecimiento de las resistencias, además de disminuir la cantidad, el nivel de cristalinidad y la dimensión de los cristales de portlandita. Lo más adecuado parece ser emplear nanopartículas no superiores al 5% en comparación con el peso del cemento, dado que al elevar el porcentaje de esta adición se incrementa la necesidad de agua y de superplastificantes. También se nota una reducción en la trabajabilidad y un notable aumento en los costos de producción.

Este estudio según Li et al. [15], indagó en las propiedades mecánicas de morteros de cemento mezclado con nano-Fe₂O₃ y nano-SiO₂ (nanosílice). Se demostró que las resistencias a la compresión y a la flexión medidas el día 7 y el día 28 fueron mayores que las de un mortero de cemento simple. Por tanto, es factible añadir nanopartículas. También, mostró que la adición de nano-SiO₂ en el mortero llenó los poros y redujeron el compuesto CaOH₂ entre los hidratos. Además, también revelaron que las nanopartículas no solo actuaban como relleno, sino también como activador para promover la hidratación y mejorar la microestructura de la pasta si las nanopartículas se dispersaban uniformemente.

Este artículo según Duarte [16] tiene como finalidad detallar las características de la nanosílice, desde su estructura morfológica hasta los métodos de síntesis comúnmente empleados, abordando su influencia al ser incorporada al cemento Portland. Su adición en pequeñas cantidades tiene diversos efectos en el estado fresco del cemento, como el incremento de la rapidez y el calor de hidratación, la generación de más tobermorita, la reducción de los cristales de la portlandita, la disminución de la reducción de agua y mitigación de la segregación. En el estado endurecido, se observa un incremento en la resistencia al impacto y una mejora en la impermeabilidad.

En este trabajo según Ali [17], se examinó la mezcla de hormigón autocompactante de gran resistencia que incorpora diversas proporciones de nanopartículas de SiO₂. Se obtuvo que la permeabilidad y la resistencia al agua de las muestras se han mejorado añadiendo nanosílice en la pasta de cemento hasta un 4%. Cuando las nanopartículas de SiO₂ aumentan hasta ese porcentaje las resistencias de las muestras del concreto autocompactante se incrementan. Esto se debe a la mayor generación de productos hidratados cuando hay nanopartículas de SiO₂ presentes., las cuales podrían actuar como nano rellenos y mejorar las propiedades previamente mencionadas.

En el siguiente estudio según Stefanidou [18], donde se ha añadido nanosílice en diferentes porcentajes (0%, 0.5%, 1%, 2% y 5%) a pastas de cemento de alta resistencia. Se midieron las propiedades mecánicas de todas las muestras a diferentes edades para registrar la evolución de la resistencia a la flexión, la cual aumenta en las que poseen nanopartículas al 1% y al 2% y es mayor que la de la muestra convencional. Las que tienen un 5% de nanopartículas registran una resistencia menor.

Por último, en la siguiente investigación específica de las tejas de microconcreto según Jaramillo [19], quien estudió la adición de fibra de polipropileno las tejas de microconcreto, la cual mejoraría sus características de calidad. Se diseñaron y fabricaron diversos grupos experimentales, variando la proporción añadida. Se obtuvo que las tejas de microconcreto de 8 mm, con un 0,05% de adición en relación al peso del microconcreto, lograron una mejor resistencia a la flexión sin comprometer propiedades esenciales como impacto, porosidad, fisuración y permeabilidad. Esto no requiere procesos complejos, el aumento en los costos es mínimo, y las tejas presentan un acabado estético. Ante la necesidad del desarrollo de tecnologías económicas que reduzcan los costos de construcción, especialmente para sectores de bajos ingresos, las TMC_FP se presentan como una alternativa prometedora, adecuada para proyectos de autoconstrucción que den preferencia a la participación directa del personal laboral familiar.

Bases teóricas científicas

Generalidades sobre tejas

Definición de teja

La teja se ha concebido como un componente constructivo destinado a establecer una barrera entre el interior de una estructura y los elementos externos. Fabricadas a partir de materiales locales, naturales y reciclables como arcilla, acero, concreto, entre otros. Estas piezas acanaladas se disponen de manera superpuesta e intercalada en la construcción, cubriendo techos y otras superficies con el propósito de proteger los espacios de las inclemencias climáticas, especialmente el agua de las lluvias. Existen diversas opciones de materiales para la fabricación de tejas, y la elección adecuada dependerá del uso previsto y de la ubicación de la construcción, ya que es esencial considerar varios factores para determinar el material más apropiado. [20]

Tipos de tejas

Según su formas y colocación

Según su colocación y forma tenemos las siguientes [21] :

- Tejas planas
- Tejas onduladas o curvas
- Tejas de espiga o de canal
- Tejas romanas

Según su material de fabricación

Según su material de fabricación tenemos las siguientes [21] [22]:

- Tejas de arcilla
- Tejas de hormigón
- Tejas de asfalto o asfálticas
- Tejas metálicas
- Tejas de pizarra
- Tejas de madera
- Tejas de fibrocemento

Tejas comerciales en el Perú

El sector comercial de tejas para techos es diverso, ofreciendo una variedad de opciones que se adaptan a las diferentes requerimientos y gustos de los usuarios. Los tipos de tejas comerciales disponibles incluyen tejas de arcilla, tejas de concreto, tejas de fibrocemento y tejas asfálticas. Cada tipo de teja tiene sus propias características, ventajas y aplicaciones específicas. Entre estas, Las tejas onduladas son una opción popular en la construcción debido a su diseño distintivo y sus múltiples ventajas funcionales y estéticas. En el contexto peruano, estas tejas se utilizan ampliamente tanto en zonas urbanas como rurales, adaptándose a diversas condiciones climáticas y estilos arquitectónicos. [23]

En el Perú, las tejas onduladas comerciales presentan diversas dimensiones según el fabricante y el modelo. Estas medidas son comunes en tejas de materiales como el concreto y el fibrocemento, que son populares en el mercado peruano. Las dimensiones mencionadas están basadas en las especificaciones estándar de la industria y en prácticas comunes observadas en el sector de la construcción. Un ejemplo observado en el mercado incluye las siguientes medidas [24]:

- Longitud: 33 cm.
- Ancho mayor: 14 cm.
- Ancho menor: 11.50 cm.
- Altura de la onda mayor: 5cm.
- Altura de onda menor: 4 cm.
- Espesor: 1.5 cm.

Microconcreto

El término microconcreto o mortero, se refiere a una mezcla convencional de concreto que varía en el tamaño de partículas (malla N° 4 hasta la 200). Esta mezcla incluye arenas y se caracteriza por un diseño que incorpora cemento Portland. El propósito principal del microconcreto es la creación de modelos a escala de estructuras reales, permitiendo evaluar su respuesta ante diversas cargas. La denominación "microconcreto" se deriva del hecho de que, para modelar estructuras, el tamaño de los agregados no debe exceder la escala específica para la cual se diseña el modelo.[25]. Es una mezcla uniforme resultante de la combinación de arena, agua y un aglomerante inorgánico, que puede ser cal, yeso o cemento [26]. Son composiciones

plásticas que, en estado fresco, poseen la capacidad de moldearse, adherirse con facilidad a otros elementos, unirlos, protegerlos, y tras endurecerse, adquirir resistencia[27].

Tejas de Microconcreto

Componente de techado fabricado de manera semiartesanal con arena, agua y cemento; cuyas propiedades térmicas, hidráulicas, acústicas, de durabilidad y resistencia a los impactos son comparables o superiores a otros tipos. [28].

Fabricación de tejas de microconcreto

Equipamiento de producción

Según el manual técnico para tejas de microconcreto hecho por Ecosur, se describen los siguientes equipos para su producción [6]:

- ✓ Mesa de mezclado
- ✓ Balanza
- ✓ Cuchara para dosificación
- ✓ Moldes, marco metálico y láminas de plástico

Materiales o materia prima

Cemento Portland

Según la NTP 334.147 es una sustancia en polvo que, al mezclarse con agua, genera una pasta que fragua y endurece, formando compuestos que dan al material sus características de resistencia y durabilidad. La norma establece los requisitos de composición, propiedades físicas y químicas, y el desempeño del cemento, asegurando su calidad y adecuación para su uso en la construcción. [29] Es por eso que se le llama también cemento hidráulico. [30]

Su comportamiento varía principalmente por diferencias en su composición mineralógica y grado de finura. Está compuesto mineralógicamente por [31]:

- ✓ Silicato tricálcico
- ✓ Silicato dicálcico
- ✓ Aluminato tricálcico
- ✓ Ferroaluminato tetracálcico

Agregado fino

Normalmente es la arena y se incorpora al concreto o mortero para mejorar su plasticidad, y facilitar su acabado. [32].

Requerimientos de calidad

NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino

Este procedimiento es fundamental en la industria de la construcción para establecer la dispersión del tamaño de las partículas, lo cual afecta las propiedades del concreto. [33]

Preparación

- Tamaño: Será de 300 g mínimo.
- Secado: Calentar la muestra en un horno a 110 ± 5 °C. Esto asegura que esté libre de humedad que pueda afectar los resultados del análisis.

Equipo Necesario

- Tamices: Una serie de tamices estandarizados con aberturas decrecientes
- Agitador Mecánico: Un dispositivo que permite el tamizado eficiente de la muestra.
- Balanza: Con una precisión mínima de 0.1 gramos.
- Cepillo y Bandeja de Recogida: Para recolectar las fracciones retenidas en cada tamiz.

Procedimiento de Tamizado

- Pesado Inicial: Pesar la muestra seca (peso inicial).
- Colocación de Tamices: Apilar los tamices en orden decreciente, con el más grueso en la parte superior y una bandeja en la parte inferior para recoger el material más fino.
- Tamizado: Situar la muestra en el tamiz superior y activar el agitador mecánico durante un tiempo adecuado (generalmente entre 10 y 15 minutos) para asegurar la separación completa de las partículas.
- Recolección y Pesado de Fracciones: Pesar el material retenido en cada tamiz y en la bandeja de fondo.

Cálculo de Resultados

$$\text{Porcentaje Retenido Acumulado} = \left(\frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total de la Muestra}} \right) \times 100$$

$$\text{Porcentaje Pasante} = 100\% - \text{Porcentaje Retenido Acumulado}$$

Presentación de Resultados

Se debe presentar una tabla que contenga los pesos retenidos, los porcentajes acumulados de los retenidos y los porcentajes pasantes. Además, se requiere elaborar un gráfico semilogarítmico de la curva granulométrica.

NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

La humedad puede influir de manera considerable en la calidad y las características del concreto. [34]

Preparación de la Muestra

- Tamaño: Mínimo 500 gramos.
- Condición Inicial: La muestra debe estar en su estado natural, sin pretratamiento alguno.

Tabla N° 1. Tamaño de la muestra del agregado fino

| Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg) | Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en Kg |
|--|---|
| 4,75 (0,187) (N° 4) | 0.5 |
| 9,5 (3/8) | 1.5 |
| 12,5 (1/2) | 2.0 |
| 19,0 (3/4) | 3.0 |
| 5,0 (1) | 4.0 |
| 37,5 (2 1/2) | 6.0 |
| 50,0 (2) | 8.0 |
| 63,0 (2 1/2) | 10.0 |
| 75,0 (3) | 13.0 |
| 90,0 (3 1/2) | 16.0 |
| 100 (4) | 25.0 |
| 150 (6) | 50.0 |

Equipo Necesario

- Balanza

- Horno
- Taras

Procedimiento

- Pesado Inicial: Pesar el recipiente vacío y limpio (peso A). Luego, colocar la muestra de agregado fino en el recipiente y pesar nuevamente (peso B).
- Secado: Mantenerlo hasta que la muestra alcance un peso constante. Esto suele requerir entre 24 y 48 horas, dependiendo de la cantidad de humedad inicial y el tamaño de la muestra.
- Enfriamiento y Pesado Final: Después de secar, retirar el recipiente del horno y dejar enfriar en un desecador. Una vez enfriado, pesar (peso C).

Cálculo

$$\text{Humedad (\%)} = \left(\frac{\text{Peso Inicial de la Muestra} - \text{Peso Final de la Muestra}}{\text{Peso Final de la Muestra}} \right) \times 100$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = \left(\frac{B - C}{C - A} \right) \times 100$$

Donde:

- ✓ A = Peso del recipiente vacío
- ✓ B = Peso del recipiente con la muestra antes de secar
- ✓ C = Peso del recipiente con la muestra seca

NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados

Describe como determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y el porcentaje de vacíos en los agregados finos. A continuación, se detalla el proceso [35]:

Preparación

- Tamaño: Aproximadamente de 5 kg de agregado fino.
- Condición: Debe estar seca y limpia, libre de humedad superficial.

Equipo Necesario

- Recipiente Cilíndrico: De volumen conocido, generalmente de 1 litro.
- Balanza: Precisión mínima de 0.1 gramos.
- Varilla Compactadora, cuchara y bandeja

Procedimiento para Peso Unitario Suelto

- Pesado del Recipiente Vacío: Pesar el recipiente de medición vacío y limpio (peso A).
- Verter el agregado fino en el recipiente de manera que caiga desde una pequeña altura, asegurándose de no compactar el material.
- Nivelación y Pesado: Nivelar la superficie del agregado fino utilizando una regla o una cuchara, removiendo el exceso sin compactar el material (peso B).

Cálculo

$$\text{Peso del Agregado} = B - A$$

- Volumen del Recipiente: El volumen del recipiente debe ser conocido y se designa como V.
- Densidad (Peso Unitario Suelto): Calcular la densidad del agregado usando la fórmula:

$$\text{Densidad (Peso Unitario Suelto)} = \frac{\text{Peso del Agregado}}{V}$$

Procedimiento para Peso Unitario Compactado

- Pesado del Recipiente Vacío: Vacío y limpio (peso A).
- Llenado del Recipiente:
- Llenar el recipiente con el agregado fino en tres capas iguales.
- Compactar cada capa uniformemente con 25 golpes de la varilla compactadora, distribuyendo los golpes sobre toda la superficie de la capa.
- Nivelación y Pesado: Nivelar la superficie del agregado fino utilizando una regla o una cuchara, removiendo el exceso sin agregar más compactación. (peso B).

Cálculo de Resultados para Peso Unitario Compactado

$$\text{Peso del Agregado} = B - A$$

- Volumen del Recipiente: El volumen del recipiente debe ser conocido y se designa como V.
- Densidad (Peso Unitario Compactado): Calcular la densidad del agregado usando la fórmula:

$$\text{Densidad (Peso Unitario Compactado)} = \frac{\text{Peso del Agregado}}{V}$$

Cálculo de Vacíos en los Agregados Finos

- Densidad Real del Agregado: Debe conocerse o determinarse la densidad real del agregado.
- Porcentaje de Vacíos: Los vacíos se calculan comparando la densidad del agregado con la real utilizando:

$$\text{Porcentaje de Vacíos} = \left(1 - \frac{\text{Densidad del Agregado}}{\text{Densidad Real}} \right) \times 100$$

NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino

Estas propiedades afectan la proporción y características del concreto. [36]

Preparación

- Tamaño: De aproximadamente 1 kg.
- Secado Inicial: Dejar enfriar a temperatura ambiente antes de proceder.

Equipo Necesario

- Balanza
- Picnómetro o Frasco Volumétrico
- Horno: 110 ± 5 °C.
- Cucharón y Bandeja
- Recipiente para Sumersión

Procedimiento de Ensayo

- Saturación de la Muestra: Por 24 ± 4 horas para permitir la saturación.

- Secado Superficial: Después de la saturación, drenar y secar superficialmente con toallas absorbentes hasta que no quede agua visible. Esto se conoce como estado saturado con superficie seca (SSS).

Determinación del Peso Específico

- Pesado del Picnómetro Vacío (A): Llenar el picnómetro con agua destilada a aproximadamente 20 °C hasta la marca y pesar (peso A).
- Pesado del Agregado SSS (B): Pesar una porción en el estado SSS (peso B).
- Peso del Picnómetro con Agregado (C): Introducir la muestra SSS en el picnómetro, agregar agua destilada cubriendo totalmente y pesar el conjunto (peso C).
- Pesado del Picnómetro Lleno (D): Llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca, eliminar las burbujas de aire, ajustar la tapa, secar el exterior y pesar (peso DD).

Cálculo del Peso Específico

- Peso Específico Aparente (G_a):

$$G_a = \frac{B}{B - (D - A)}$$

- Peso Específico Saturado con Superficie Seca (G_{sss}):

$$G_{sss} = \frac{B}{(B + A) - C}$$

- Peso Específico Seco (G_s):

$$G_s = \frac{B}{(B - (C - D))}$$

Determinación de la Absorción

- Peso SSS (B): Ya obtenido anteriormente.
- Peso de la Muestra Seca (E): Secar a 110 ± 5 °C y pesar (peso E).
- Calculando la Absorción:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - E}{E} \times 100$$

Agua

Se presentan algunas consideraciones [6]:

- ✓ La calidad del agua utilizada en la mezcla es crucial para el desempeño de las tejas, ya que agua con impurezas puede afectar el fraguado y la dureza del mortero.
- ✓ Se recomienda emplear agua limpia, fresca, y preferiblemente potable para mantener un entorno libre de contaminantes que comprometa el resultado final.
- ✓ Es esencial contar con depósitos separados para el agua de mezcla, evitando el uso de agua previamente utilizada en los procesos de curado.
- ✓ Si hay sospechas sobre la calidad del agua, es importante realizar ensayos para detectar variaciones en el fraguado y la resistencia del material producido con agua potable frente al agua en cuestión.

Diseño de mezcla en tejas de microconcreto

Proporción cemento – arena

La proporción cemento-arena se refiere a la relación en volumen o peso de estos dos componentes en una mezcla de mortero o concreto. Esta proporción es crucial para determinar las propiedades finales del material, como resistencia, durabilidad y trabajabilidad. La proporción correcta es crucial para obtener un mortero de calidad y resistente. [37]

Relación agua – cemento

Cociente entre el peso del agua empleada en una mezcla de concreto y el peso del cemento. [6]

Fluidez

La fluidez es la capacidad del mortero para fluir y llenar los espacios entre los agregados y dentro de los moldes o encofrados sin segregarse, lo cual es crucial para asegurar una buena adhesión y acabado de las superficies construidas. [38]

NTP 334.057: Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland

La fluidez del mortero afecta directamente su capacidad para ser trabajado y su comportamiento en estado fresco. Una fluidez adecuada garantiza una mejor adhesión, menos porosidad y mayor durabilidad en la estructura construida. [38]

Aparatos

- Mesa de Fluidez
- Molde Cónico
- Mezcladora
- Pisón o compactador
- Espátula
- Regla

Materiales

- Agua
- Arena
- Cemento Portland

Procedimiento

- Mezclar cemento y arena en seco hasta lograr una mezcla uniforme.
- Añadir agua gradualmente mientras se mezcla continuamente hasta lograr la consistencia deseada.
- Colocar el molde troncocónico al medio de la mesa de fluidez.
- Compactar cada capa (2) con 20 golpes de la varilla.
- Nivelar el mortero con una varilla en la parte superior.
- Levantar el molde verticalmente para permitir que el mortero fluya sobre la mesa.
- Caer la mesa 25 veces en un lapso de 15 segundos.
- Tomar la medida del diámetro extendido en direcciones perpendiculares entre sí y calcular el promedio de los cuatro diámetros.

Cálculo de Fluidez

$$\% \text{ de Fluidez (F)} = \frac{\text{Diámetro Promedio} - A}{A} \times 100$$

Tabla N° 2. Clasificación de la consistencia de fluidez

| Comparación de los resultados | | | | |
|-------------------------------|------------------|---|-----------------------------|---|
| %Fluidez (mesa de Flujo) | Consistencia | Tipo de Estructura | Condiciones de Colocación | Sistema de colocación |
| 80-100 | Dura (seca) | Reparaciones, recubrimiento de tuneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos | Sección sujetas a vibración | Proyección neumática, con vibradores de formaleta |
| 100-120 | Media (plástica) | Pega de mampostería, baldosas y revestimientos | Sin vibración | Manual con paletas |
| 120-150 | Fluida (húmeda) | Rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos | Sin vibración | Manual, bombeo, inyección |

Procedimiento de fabricación

El proceso es el siguiente: [39]

- ✓ Durante el proceso, es crucial prestar atención a la dosificación y trabajabilidad para asegurar una mezcla uniforme y que la resistencia final cumpla con las normas establecidas. Una vez que se ha conseguido la proporción correcta, se mezcla manualmente la arena con el cemento y se añade el agua de forma gradual. Con el mortero preparado, se procede a la mesa de moldeo.
- ✓ Se pone una lámina plástica sobre el marco metálico, distribuyendo y alisando la mezcla.
- ✓ El tiempo de secado en el molde es de 24 horas.
- ✓ Se curan por 28 días, seguido de un secado final de 7 días.

Normativa para ensayos en tejas de microconcreto

Actualmente no hay norma establecida que especifique un control de calidad de las tejas de microconcreto, por lo cual el presente estudio tomara como base teórica para estos el Manual de Control de Calidad para tejas de microconcreto del CECAT (Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical) – Elemento 23S y la norma española UNE EN 490 y 491 desarrolladas por el Comité Europeo de Normalización (CEN), por sus siglas en inglés). Adicionalmente para el ensayo de Durabilidad de las tejas se usará la norma 400.016:

Determinación De La Inalterabilidad De Los Agregados Por Medio De Sulfato De Sodio O Sulfato De Magnesio.

- ✓ Norma UNE EN 490:2011
- ✓ Norma UNE EN 491:2011
- ✓ Manual de Control de Calidad para tejas de microconcreto del CECAT

NTP 400.016: Determinación De La Inalterabilidad De Los Agregados Por Medio De Sulfato De Sodio O Sulfato De Magnesio

Este procedimiento evalúa la resistencia de los agregados a la desintegración cuando se someten a ciclos de inmersión en estas soluciones y secado posterior. Es crucial, ya que simula condiciones ambientales adversas. [40]

Ensayos de Calidad para tejas de microconcreto

Ensayo de Porosidad y Fisuración

Normativa: Ensayo F.4.1.10 (CECAT) [41].

Muestra

Chequeados visualmente a cada teja

Procedimiento

- ✓ Superficie: Verificar si la teja presenta poros superficiales con más de 2 mm de profundidad o un diámetro superior a 5 mm. También, revisar si hay más de 6 poros en la superficie con un diámetro mayor a 2 mm.
- ✓ Huecos: Los huecos son considerados inaceptables.
- ✓ Fisuras: Inspeccionar si las tejas presentan fisuras visibles que superen los 5 mm de longitud.

Resultados

Se rechazarán las tejas que tengan:

- ✓ Poros excesivamente profundos.
- ✓ Poros con diámetro superficial a 5 mm.

- ✓ Más de 6 poros con diámetros superior a 2 mm.
- ✓ Fisuras visibles de más de 5 mm de longitud.

Ensayo de Peso

Normativa: Ensayo F.4.6.20 (CECAT) [41].

Muestra:

Se toman cuatro tejas al azar.

Procedimiento:

Se mantienen en un lugar seco durante 24 horas antes de ser pesadas. Una buena balanza es fundamental.

Resultados:

No debe variar más del 10% respecto previsto, sino debe revisarse el proceso de moldeo.

Ensayo de Resistencia al Impacto

Normativa: Ensayo F.4.7.20 (CECAT) [41].

Muestra:

Se ensayará una teja de la producción diaria.

Procedimiento:

- ✓ La teja se coloca sobre dos listones que están a una distancia de 350 mm entre sí.
- ✓ Se deja caer una esfera de metal con un peso de 220 gramos en el centro de la teja, desde una altura 400 mm

Resultados:

Las tejas tienen que soportar el impacto de la caída de la esfera.

Ensayo de Durabilidad

Normativa: UNE EN 491[42].

Normativa: NTP 400.016 [40].

Muestra

Según la norma UNE EN 490 [42] se deben tomar como muestra la cantidad de 3 tejas.

Procedimiento

El proceso es el siguiente [40]:

- ✓ Disolver sulfato de sodio en agua a 25-30°C hasta que haya cristales en exceso
- ✓ Mantener la solución cubierta para reducir evaporación y contaminación.
- ✓ Enfriar a 21°C ± 1°C y mantener así durante al menos 48 horas.
- ✓ Se introducen en una solución de sulfato de sodio o de magnesio durante un tiempo determinado, que generalmente oscila entre 16 y 18 h.
- ✓ Luego de la inmersión, los agregados se retiran y se secan en 105-110°C.
- ✓ El proceso se repite durante cinco ciclos, para simular condiciones de intemperismo acelerado.

Evaluación

- ✓ La NTP 400.016 [40] nos dice que después de los ciclos, se miden las pérdidas de masa de los agregados debido a la desintegración (%).
- ✓ La norma UNE EN 491 [42], nos dice que para que superen la prueba de durabilidad, no deben agrietarse ni mostrar fisuras.

Ensayo de Impermeabilidad

Normativa: UNE EN 491 [42].

Normativa: Ensayo F.4.5.10 (CECAT) [41].

Muestra:

Según la norma UNE EN 490 [42] se deben tomar como muestra la 3 tejas que fueron sometidas a durabilidad

Procedimiento:

CECAT nos detalla el siguiente proceso [41]:

- ✓ Se posicionan dos bloques de mortero en el canal central de la teja, creando un pequeño recipiente.

- ✓ Luego, se apoya la teja sobre dos soportes ubicados en sus extremos y se llena con agua con precaución.

Evaluación:

Este ensayo se evaluará de dos maneras:

- ✓ Según la NORMA UNE EN 491 [42]: Se registra si se producen goteos o no en la parte inferior de la teja durante 20 horas \pm 5 minutos.
- ✓ Según CECAT [41]: Es posible que aparezcan indicios de humedad, pero la zona afectada no debe superar el 50% del área total.

Ensayo de Resistencia la Flexión

Normativa: UNE EN 491. El ensayo a flexión es una prueba para medir la resistencia del material al doblarse bajo carga, evaluando así su capacidad estructural. [42]

Muestra:

Se deben tomar como muestra las 3 tejas que fueron sometidas a durabilidad e impermeabilidad.

Procedimiento:

- ✓ Se requiere un equipo de ensayo con dos soportes metálicos redondeados en la parte inferior, ubicados a una distancia entre ejes de $2/3$ de la longitud de colgado de las tejas a evaluar, además de un soporte superior metálico centrado. La anchura mínima de los apoyos debe ser de 20 mm.
- ✓ La longitud de los soportes debe ser igual o superior a la anchura de la teja evaluada.
- ✓ Colocar la teja sobre los soportes inferiores con la cara visible hacia arriba, asegurando equidistancia de la línea central de la longitud.
- ✓ Se pueden utilizar piezas de ajuste según sea necesario. Para tejas onduladas, usar una pieza contorneada con almohadilla de elastómero entre ella y la teja.
- ✓ Aplicar carga mediante el soporte superior a una velocidad de 1500-6500 N/min hasta la fractura.
- ✓ Para calcular la carga total, se suma el peso de las piezas sobre la teja si este supera 5 N.

Evaluación:

- ✓ Se registra la carga máxima de cada teja, redondeándola a los 10 N cercanos.
- ✓ Las tejas sometidas a prueba antes de los 28 días de su fabricación se consideran aceptables si logran alcanzar valores iguales o superiores al 80% de los especificados la tabla 3.

Tabla N° 3. Resistencia transversal mínima de las tejas (Fmin)

| PROPIEDAD | TIPO DE TEJA | | |
|-------------------|--------------|------------------|----------|
| | ONDULADAS | | PLANAS |
| ALTURA DE LA ONDA | h > 20 mm | 20 mm > h > 5 mm | h < 5 mm |
| Fmin (N) | 2000 | 1400 | 1200 |
| Fmin (kg) | 200 | 140 | 120 |

- ✓ Cálculo de Esfuerzo de rotura:

$$\sigma = \frac{(3FL)}{(2bh^2)}$$

- σ : Esfuerzo de rotura
- F: Carga de Rotura
- L: Distancia entre apoyos
- b: Ancho de teja
- h: Altura de teja

Fibra de Polietileno de Tereftalato**Generalidades sobre fibra de PET**

Forma parte de la categoría de materiales de condensación conocidos como poliésteres, ampliamente utilizado en envases para bebidas y en la industria textil.[43]

El PET se destaca como una de las fibras más significativas, gracias a su destacado rendimiento y costos bajos. En lo que respecta al reciclaje, es una opción altamente atractiva para la producción de fibras de gran resistencia. Aunque se han investigado diversas aplicaciones, su principal utilización en la actualidad se centra en los contenedores, siendo las botellas de bebidas su aplicación líder. De esta manera, el PET destaca como la estrella en el reciclaje de plásticos.[44]

Considerando las características del PET, resulta apropiado examinar cómo se comporta en la matriz de concreto, ya que las fibras de este material, al ser poliméricas, presentan una baja corrosión y ofrecen una mayor resistencia a la tracción. Es importante destacar que estas fibras pueden clasificarse como micro o macro fibras según sus dimensiones, lo que conduce a resultados positivos en términos de retracción, resistencia al impacto y ductilidad. [45]

Ventajas

Según Z aditivos [46] presenta las siguientes ventajas:

- Aumenta la impermeabilidad.
- Minimiza la contracción y mejora la resistencia al impacto y la ductilidad.
- Impide las fisuras, quedando como microgrietas.
- No es corrosivo.
- Tiene alta resistencia a la abrasión.

Envases de fibra de Pet

Según Z aditivos [46], las características de los envases son las siguientes:

- Bolsa 1.6Kg.
- Medidas de 2" y 2 ¼".

Cuidados

Z aditivos [46], recomienda el uso de guantes, lentes y mascarilla.

Ilustración 1. Fibra de Pet

Ilustración 2. Fotografía electrónica de Nanosílice a 10 nm

Ilustración 3. Fibra de Pet



Aditivo Nanosílice

Generalidades sobre Nanosílice

Según Riva [47] es un material en estado líquido con fácil manipulación y almacenamiento. Posee una alta pureza y un tamaño de partículas en el rango de los nanómetros. Esta característica le otorga una superficie específica considerablemente mayor, lo que incrementa su capacidad de reacción en diversas aplicaciones, especialmente en la mejora de las propiedades de materiales como el concreto.

Se compone de partículas ultrafinas de sílice amorfa, las cuales pueden presentarse en forma de polvo o en suspensión. Este material tiene una función fundamental en el proceso de hidratación del cemento, mejorando las características y el rendimiento del concreto al aumentar la formación de productos hidratados, mejorando sus propiedades [48].

Descripción de Nanosílice

Según la ficha técnica elaborada por Industrias Ulmen S.A.[49], se describe de la siguiente manera:

- Es un nano aditivo en estado líquido, a base de sílice con partículas de tamaño manométrico.
- Gran reductor de agua.
- Aditivo tipos A y F

Ilustración 4. Fotografía electrónica de Nanosílice a 10 nm

Ilustración 5. Estructura de Nanosílice Ilustración 6. Fotografía electrónica de Nanosílice a 10 nm

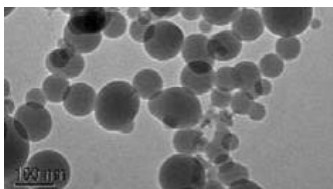
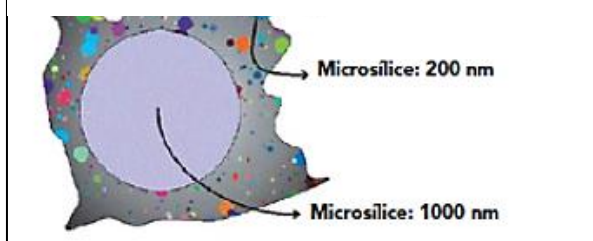


Ilustración 7. Estructura de Nanosílice

Ilustración 8. Resistencia y Trabajabilidad de Nanosílice
Ilustración 9. Estructura de Nanosílice



Proceso de obtención del Nanosílice

El método más conocido para la obtención de nanosílice es el Método de Precipitación, el cual consiste en la formación de nanosílice a partir de una solución, mediante un proceso de precipitación que se lleva a cabo a temperaturas que oscilan entre 55 y 100 °C [50]. El precursor más investigado en la actualidad son las cenizas de cáscaras de arroz, que contienen más de 90% sílice en masa, junto con una pequeña cantidad de elementos metálicos, lo que la convierte en la opción más económica.

Preparación inicial de la cáscara de arroz

- Recolección y limpieza: La cáscara de arroz se recolecta y se limpia para eliminar impurezas orgánicas y minerales.
- Secado: Se seca a temperaturas bajas para facilitar su posterior combustión.

Producción de cenizas de cáscara de arroz

- Combustión controlada: La cáscara seca se quema en hornos o reactores a temperaturas entre 500 °C y 700 °C, en condiciones de flujo de aire controlado para evitar la formación excesiva de carbón. Este proceso produce cenizas ricas en sílice amorfa, que es clave para obtener nanosílice.

Lixiviación ácida

- Propósito: Este paso elimina impurezas metálicas presentes en las cenizas.
- Procedimiento: Las cenizas se tratan con ácidos (generalmente HCl o H₂SO₄) en concentraciones específicas. La mezcla se calienta y se agita para disolver impurezas como óxidos metálicos.
- Lavado: El material resultante se lava con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro.

Extracción y purificación de la sílice

- La obtención de sílice se lleva a cabo calentando las cenizas con ácido clorhídrico (HCl) durante un período prolongado. Posteriormente, el producto se lava con agua desionizada para eliminar el ácido. Luego, se disuelve en hidróxido de sodio, y se añade ácido sulfúrico para ajustar el pH a 2, lo que facilita la precipitación de sílice. Finalmente, este material precipitado se lava nuevamente y se seca a 50 °C durante 48 horas. [51].

Producción de nanosílice

- Calcinación: Para obtener nanosílice, el gel seco se calcina a temperaturas controladas (800 °C - 1000 °C). Este paso elimina restos orgánicos y consolida la estructura nanométrica de la sílice.

Caracterización

- Se utilizan técnicas como microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD) y fluorescencia de rayos X (XRF) para evaluar la pureza y las propiedades nanométricas del material final.

Aspectos técnicos de Nanosílice

Gaia Nanosílice presenta los siguientes aspectos técnicos [49]:

- Minimiza la necesidad de aditivos plastificantes.
- Libre de cloruros y de cualquier componente que promueva la corrosión, por lo que es adecuado tanto para concreto armado como para concreto pretensado.
- Incrementa la resistencia a la flexotracción en más del 50%.

Características generales de Nanosílice

Algunos aspectos generales [49]:

- Se presenta en un cilindro de plástico de 220 kg y en un dispensador retornable de 1100 kg.
- Se trata de un líquido que es respetuoso con el medio ambiente y seguro para la salud de los trabajadores.
- El GAIA Nanosílice, una vez abierto, debe ser utilizado dentro de los tres meses a temperatura ambiente

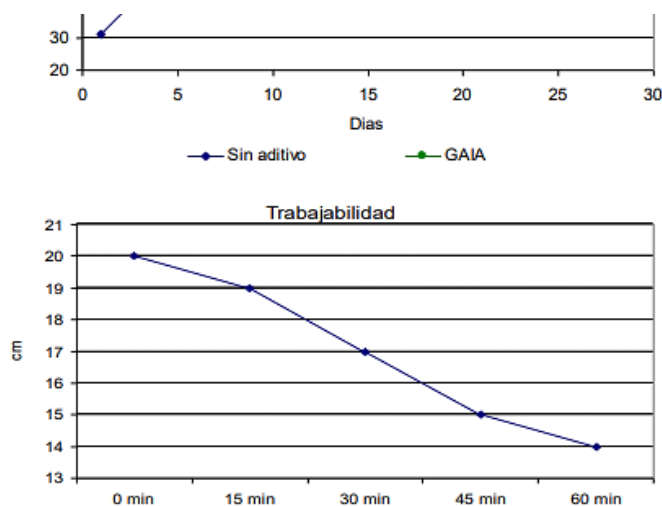
Propiedades Físicas y Químicas de Gaia Nanosílice

A continuación se nos muestran las propiedades físicas y químicas presentes en este aditivo [49]:

- Posee un excelente poder plastificante y capacidad de reducción de agua.
- Promueve un aumento significativo en el desarrollo de alta resistencia tanto inicial como final.
- Presenta una permeabilidad nula o casi nula, lo que contribuye a una mayor durabilidad del concreto
- No genera retrasos en el proceso de fraguado.
- Previene la segregación y la excesiva exudación.
- Mejora el acabado y la textura de la superficie del concreto.

Ilustración 10. Resistencia y Trabajabilidad de Nanosílice

Tabla N° 4. Muestreo para el Ensayo de
Peso Ilustración 11. Resistencia y Trabajabilidad de
Nanosílice



Método de aplicación de Gaia Nanosílice

Para aplicar la dosis de este aditivo se deben tener ciertas consideraciones [49]:

- Se emplea en dosis que varían entre el 1% y el 3% en relación con el peso total del cemento.
- Es importante añadirlo solo después de mezclar los áridos con el cemento y de haber incorporado el agua; luego, debe amasarse por aproximadamente 10 a 12 minutos. Evitar añadir el producto sobre la mezcla seca de cemento y áridos.
- En la preparación, colocación y curado del concreto, es fundamental seguir las prácticas de calidad y técnica comúnmente aplicadas en la industria.

Beneficios del uso Nanosílice

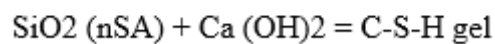
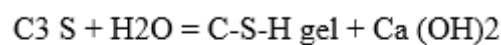
La página de Construcción, Tecnología y Concreto nos muestra los siguientes beneficios del Nanosílice [52]:

- Elimina la contaminación generada por partículas sólidas de microsílice.
- Representa una alternativa de menor costo.
- Proporciona concreto con resistencias elevadas tanto en etapas iniciales como finales.

- Ofrece concreto con excelente manejabilidad.
- Permite eliminar el uso de superplastificantes.
- Reduce el riesgo de enfermedades como la silicosis.
- Asegura alta impermeabilidad en el concreto.

Influencia del Nanosílice en la pasta de cemento

Las nanopartículas de sílice coloidal, en teoría, interactúan con los iones de calcio generados durante los procesos de hidratación del cemento, dando lugar a la formación de un gel de silicato de calcio (C-S-H). [53]



Gaia Nanosílice actúa como una productora de cemento por sí misma. La sílice genera partículas de CSH, que funcionan como el adhesivo del concreto, manteniendo unidas todas sus partículas. Al ser de tamaño nanométrico, produce partículas de CSH que oscilan entre 5 nm y 250 nm, lo que refuerza la estructura del concreto a una escala mil veces más pequeña que la convencional, otorgándole así sus propiedades innovadoras. [54]

Efecto en las propiedades del concreto

A continuación, se muestran los efectos que causa el nanosílice en los dos estados del concreto. [16]

En estado fresco

La nanosílice actúa como un acelerador en la hidratación del cemento debido a su alta reactividad superficial y naturaleza puzolánica, aumentando la velocidad de este proceso. Al aumentar su porcentaje de adición, también se eleva el calor de hidratación de la mezcla, gracias a la finura de sus nanopartículas. Su incorporación resulta en mezclas más cohesivas, con menor pérdida de agua y tendencia a la segregación, pero puede disminuir la trabajabilidad de la pasta debido a la fricción entre partículas, lo que requiere un aumento en la cantidad de agua. Asimismo, tiende a absorber iones en medios acuosos, lo que puede provocar aglomeraciones, por lo que es recomendable utilizar un dispersante o plastificante.

En estado endurecido

Al aumentar la nanosílice en el cemento Portland, la resistencia a la compresión mejora considerablemente. Las partículas en nanoescala ocupan los poros, resultando en texturas más densas y compactas, lo cual incrementa también la impermeabilidad del concreto. Este proceso promueve además la formación de tobermorita secundaria, reforzando aún más la resistencia estructural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

Se destaca por ser de naturaleza aplicada, dado que se hizo uso de investigaciones previas para abordar un problema concreto. Se aprovecharon conocimientos relacionados con las tejas de microconcreto, fibra de PET, nanosílice, resistencia a la flexión, resistencia al impacto, peso,

impermeabilidad, durabilidad, porosidad y fisuración. Asimismo, se tomaron en consideración el Manual para el Control de Calidad Elemento 23 S para tejas de microconcreto y la norma UNE EN 490 Y 491.

Nivel de investigación

La presente investigación posee un nivel correlacional, relacionando la variable del Nanosílíce con las propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto con fibra de Pet.

Diseño de investigación

La investigación presenta un diseño experimental que crea varios casos de análisis representados por las proporciones de adición para determinar el impacto de la incorporación de nanosílíce en las propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto con fibra de PET. Además, se compararon los parámetros de diseño de una teja de microconcreto con adición de nanosílíce y una convencional.

Población

La población está compuesta por el número de muestras utilizando tejas de microconcreto con fibra convencional y con adición de nanosílíce en porcentajes, cuyas propiedades mecánicas y físicas serán evaluadas por medio de los ensayos de laboratorio propuestos.

Muestra

Para esta investigación la muestra fue seleccionada por conveniencia o no probabilística, ya que, la elección de especímenes se basó en el criterio del investigador y no de la probabilidad. Esta selección está basada en las dosificaciones y la interrelación de las variables que serán medidas mediante ensayos de laboratorio.

Muestreo

Considerando un total de 63 tejas, el plan de muestreo se realizó de la siguiente manera:

Para el rango de aplicación se hizo uso de los antecedentes y bases teóricas mencionados en la literatura. Se sugiere que no es recomendable utilizar porcentajes superiores al 5% en relación con el peso del cemento, ya que aumentar esta proporción genera mayor demanda de agua, superplastificante, más liberación de calor y una mayor aparición de microfisuras [14]. Además, en muestras con 5% de nanopartículas registran una resistencia menor [18]. Las propiedades

mecánicas, como lo es la resistencia a la flexión aumentan en las muestras que contienen nanopartículas de 1% y 2%, siendo superiores a la muestra de control. También los estudios concluyen que a medida que el contenido de nanosílice aumenta hasta un 4%, las resistencias se incrementan. Esto se debe a la mayor formación de productos hidratados en presencia de nanopartículas de sílice. [17]. Adicional a esto, la ficha técnica realizada por Ulmen indica que el porcentaje de Nanosílice recomendado es del 1 al 3% con respecto al peso del cemento.

Tomando en cuenta lo previamente dicho, los porcentajes de adición de nanosílice escogidos fueron: 1.5%, 2%, 2.5% y 3%.

Se aplicó el siguiente criterio de selección para cada uno de los ensayos de calidad a las tejas de microconcreto:

Ensayo de Peso

De acuerdo con la norma se deben ensayar 4 tejas al azar de la producción diaria. Se decidió evaluar el peso de 4 tejas por porcentaje de adición, considerando la muestra patrón (0%; 1.5%, 2%, 2.5% y 3%). [41]

Tabla N° 5. Muestreo para el Ensayo de Peso

Tabla N° 6. Muestreo para el ensayo de Resistencia al impacto *Tabla N° 7. Muestreo para el Ensayo de Peso*

Ensayo de Resistencia al Impacto

De acuerdo con la norma se debe ensayar 1 sola teja de producción diaria. En esta investigación se siguió un cronograma para asegurar la consistencia y la precisión, por lo que se realizó un procedimiento en el cual se producía un grupo de adiciones cada día. Por lo tanto, se evaluará la resistencia al impacto de 1 teja por cada porcentaje de adición, considerando la muestra patrón (0%; 1.5%, 2%, 2.5% y 3%). Posterior a que las tejas superaran la altura requerida, se decidió elegir otro grupo de tejas para comparar si hubo una mejora en la resistencia al impacto,

por lo que se aumentó la altura de caída. El proceso se repitió hasta que la teja más resistente Teniendo un total de 25 tejas que serán sometidas a este ensayo. [41]

| ENSAYO | GRUPO SEGÚN ALTURA DE | PORCENTAJES | |
|--------|-----------------------|----------------|---------------------------------------|
| | | Muestra Patrón | Muestra con porcentajes de Nanosilice |

Tabla N° 8. Muestreo para el ensayo de Resistencia al impacto

Tabla N° 9. Muestreo para el ensayo de Durabilidad, Impermeabilidad y Resistencia a la Flexión
Tabla N° 10. Muestreo para el ensayo de Resistencia al impacto

Ensayo de Durabilidad

Para el muestreo de este ensayo se ha hecho uso de la norma europea UNE EN 490 y según lo especificado en esta, son 3 tejas las que se someterán a la evaluación de Durabilidad. Por cada grupo de adición escogeremos este tamaño de muestra (0%; 1.5%, 2%, 2.5% y 3%), teniendo un total de 15 tejas que se someterán en este ensayo. [42]

Ensayo de Impermeabilidad

Se comienza con este ensayo finalizando el ensayo de durabilidad. Según indicaciones de la norma UNE EN 490, las mismas 3 tejas por adición (0%; 1.5%, 2%, 2.5% y 3%) que ensayamos a durabilidad, serán las que se someterán a este ensayo. [42]

Ensayo de Resistencia a la flexión

De acuerdo con la norma, las tejas que han aprobado los ensayos de durabilidad e impermeabilidad deben ser sometidas también a pruebas de flexión, es decir las mismas 3 tejas por adición serán las utilizadas (0%; 1.5%, 2%, 2.5% y 3%). Además de esto se ha tomado una muestra de 3 tejas solamente de la muestra patrón para ser evaluadas a flexión a los 14 días de curado antes de la fabricación de las tejas principales y sus ensayos de calidad. Esto se hizo con el fin de ir evaluando el desarrollo de la resistencia, asegurando que la mezcla esté alcanzando los niveles esperados de resistencia en su fase inicial. [42]

Tabla N° 14. Muestreo para el Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 14 días

Tabla N° 15. Muestreo para el Ensayo de Porosidad y Fisuración
Tabla N° 16. Muestreo para el Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 14 días

Tabla N° 11. Muestreo para el ensayo de Durabilidad, Impermeabilidad y Resistencia a la Flexión

Tabla N° 12. Muestreo para el Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 14 días
Tabla N° 13. Muestreo para el ensayo de Durabilidad, Impermeabilidad y Resistencia a la Flexión

| | | | | | |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ensayo de Impermeabilidad | 3 tejas | 3 tejas | 3 tejas | 3 tejas | 3 tejas |
| Ensayo de Resistencia a la flexión | | | | | |

Ensayo de Porosidad y Fisuración

La norma nos dice que los poros y fisuras deben ser chequeados visualmente a cada una de las tejas. Hasta el momento en los ensayos anteriormente mencionados, (excluyendo las tejas 3 de muestra patrón ensayadas a flexión a los 14 días), se han tomado 12 tejas en total por porcentaje de adición (0%; 1.5%, 2%, 2.5% y 3%). Así que antes de realizar dichos ensayos se deberá pasar por un control de calidad visual a 60 tejas. [41]

Tabla N° 17. Muestreo para el Ensayo de Porosidad y Fisuración

Ilustración 12. Vista isométrica de la teja de microconcreto con fibra de Pet
Tabla N° 18. Muestreo para el Ensayo de Porosidad y Fisuración

Variables

Variable independiente

La influencia de la adición del Nanosílice

Variable dependiente

Propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto con fibra de PET

Variable interviniente

- ✓ Tipo de teja según su forma: Teja curva [21]

- ✓ Espesor de la teja: 1.5 mm [5]
- ✓ Dimensiones de la teja [24]:

Ilustración 13. Vista isométrica de la teja de microconcreto con fibra de Pet

Ilustración 14. Vista en elevación del arco mayor de la teja de microconcreto con fibra de Pet
Ilustración 15. Vista isométrica de la teja de microconcreto con fibra de Pet

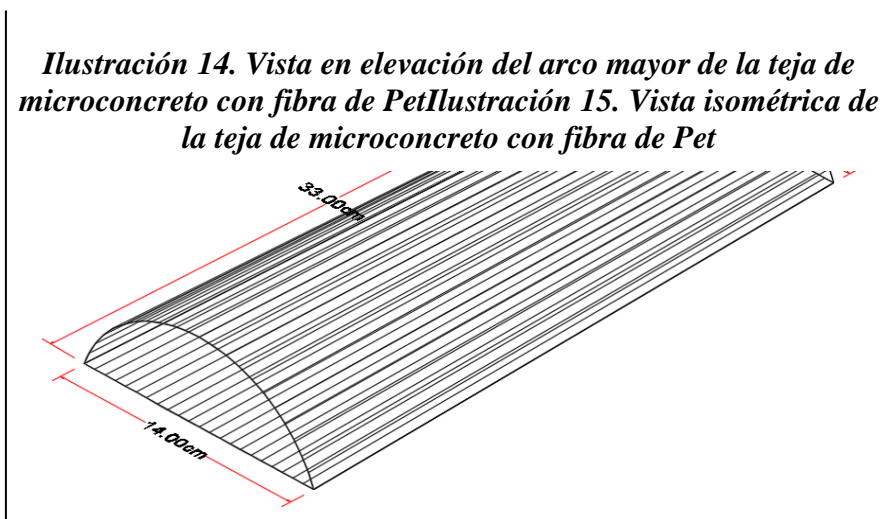
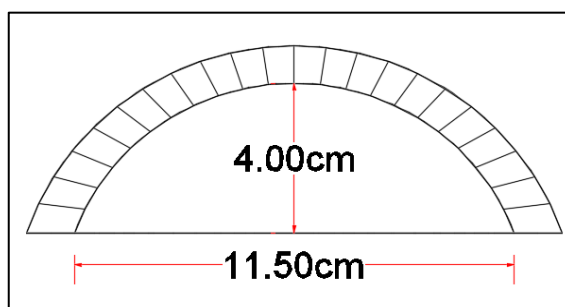


Ilustración 16. Vista en elevación del arco mayor de la teja de microconcreto con fibra de Pet

Ilustración 17. Vista en elevación del arco menor de la teja de microconcreto con fibra de Pet
Ilustración 18. Vista en elevación del arco mayor de la teja de microconcreto con fibra de Pet



Ilustración 19. Vista en elevación del arco menor de la teja de microconcreto con fibra de Pet



- ✓ Proporción cemento-arena: 1:1.5 [3]

- ✓ Relación agua-cemento: 0.47 [3]
- ✓ Porcentaje de fluidez: 100% +-5% [3]
- ✓ Porcentaje de fibra de PET: 4% en relación al peso del cemento. [10]

Operacionalización de variables

Tabla N° 20. Operacionalización de Variables – Variable independiente

Tabla N° 21. Operacionalización de Variables – Variable dependiente

Tabla N° 22. Operacionalización de Variables – Variable independiente

Tabla N° 23. Operacionalización de Variables – Variable dependiente

Ilustración 21. Cemento Portland Fortimax Pacasmayo M

Tabla N° 24. Operacionalización de Variables – Variable dependiente

| VARIABLE DEPENDIENTE | | UNIDAD | | MÉTODO DE MEDICIÓN | |
|--|---------------------|------------------------|------|---|---|
| Propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto con fibra de PET | Propiedades físicas | Peso | Kg | Ensayo de Peso Manual para el Control de Calidad, Ensayo F. 4.6.20. | |
| | | Durabilidad | C°/h | Evaluación de Durabilidad (Ensayo de hielo y deshielo) NORMA UNE EN 490 y 491 | Norma Técnica Peruana 400.016: Determinación de la Inalterabilidad por medio de Sulfato de Magnesio |
| | | Impermeabilidad | %/h | Ensayo de Impermeabilidad NORMA UNE EN 490 Y 491 | Ensayo de Permeabilidad Manual para el Control de Calidad, Ensayo F. 4.5.10. |
| | | Porosidad y fisuración | mm | Ensayo de Porosidad y Fisuración Manual para el Control de Calidad, Ensayo F. 4.1.10. | |

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Observación directa

Las dimensiones de la variable independiente: La influencia de la adición del Nanosílice y la variable dependiente: Propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto con fibra de PET, fueron medidas utilizando métodos de medición directa mediante pruebas de laboratorio sin modificar las características de las subvariables de estudio.

Fichas técnicas

Se utilizaron fichas técnicas para registrar los datos realizados a cada uno de los ensayos hechos a las tejas de microconcreto, al agregado fino y al diseño de mezcla realizado con la incorporación del nanosílice.

Instrumentos

Los instrumentos utilizados en la investigación principalmente incluyeron los requisitos establecidos por el Manual para el Control de Calidad Elemento 23 S de tejas de microconcreto y la Norma UNE EN 490 Y 491 Estos requerimientos se emplearon en la realización de los ensayos de laboratorio especificados.

Materiales

Para el cumplimiento del primer objetivo se plantea una caracterización de la materia prima utilizada para la elaboración de tejas de microconcreto con fibra de Pet, la cual es la siguiente:

Cemento Portland

Se empleó de cemento Portland Fortimax Pacasmayo tipo MS de 42.5 kg, el cual fue adquirido en una tienda comercial. Este fue el más ideal para realizar la investigación y cumple con lo especificado norma NTP 334.082 / ASTM C1157.

*Ilustración 22. Cemento Portland Fortimax
Pacasmayo MS*



A continuación, se nos muestran los requisitos físicos de este tipo de cemento según la ficha técnica de Pacasmayo [55]:

Tabla N° 26. Ficha técnica Cemento Portland Pacasmayo Fortimax

Ilustración 24. Agregado fino – Cantera Tres Tomas

| | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| Contenido de aire | Máximo | 12 | % | NTP 334.048 | 5 |
| Expansión autoclave | Máximo | 0.8 | % | NTP 334.004 | 0.03 |
| Resistencia a la compresión | | | | | |
| 3 días | Mínimo | 11.0 (1600) | Mpa (psi) | NTP 334.051 | 21.7 (3150) |
| 7 días | Mínimo | 18.0 (2610) | Mpa (psi) | NTP 334.051 | 29.7 (4310) |
| 28 días | Mínimo | 28.0 (4060) | Mpa (psi) | NTP 334.051 | 41.4 (6010) |
| Tiempo de fraguado Vicat | | | | | |
| Fraguado inicial | Mínimo | 45 | Minutos | NTP 334.006 | 181 |
| Fraguado final | Mínimo | 420 | Minutos | NTP 334.006 | 292 |
| Expansión barra de mortero a 14 días | Máximo | 0.020 | % | NTP 334.093 | 0.005 |
| Expansión por sulfatos a 6 meses | Máximo | 0.10 | % | NTP 334.094 | 0.03 |
| Calor de hidratación a 3 días | Máximo | 335 | KJ/kg | NTP 334.171 | 252 |

Agregado Fino

Este material se obtiene de esta cantera Tres Tomas, ubicada en el distrito Mesones Muro de la provincia de Ferreñafe del departamento de Lambayeque. Esta arena fue trasladada de la cantera a la planta de fabricación de las tejas

Ilustración 25. Agregado fino – Cantera Tres Tomas

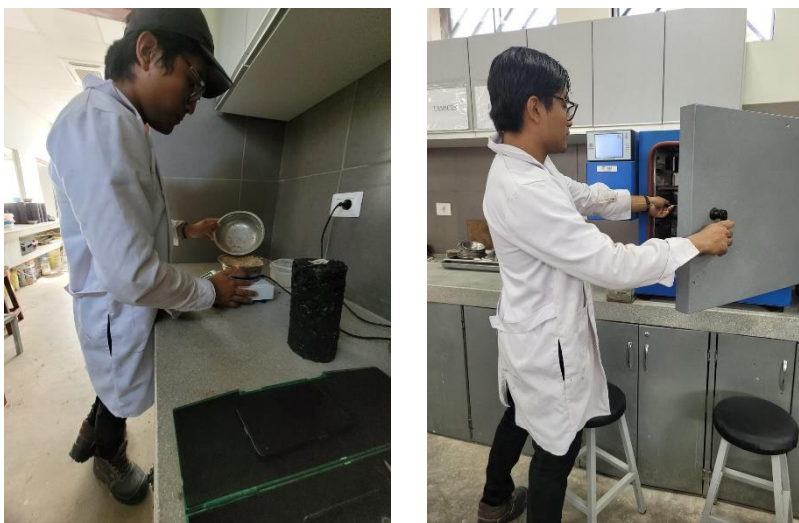


Ensayos de Laboratorio para el agregado fino

Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado

Se llevó al horno 1323.7 gramos de arena y permaneció dentro por un periodo de 24 horas. Una vez que la masa este completamente seca se determina la masa final.

Ilustración 28. Contenido de humedad del agregado fino



Análisis granulométrico de agregados finos

Se tomó una muestra de 1000 gramos de arena, la cual se lavó y pesó por un periodo de 24 horas. De esta muestra lavada se seleccionaron 700 gramos, luego se tamiza y se pesa.

Ilustración 31. Análisis Granulométrico del agregado fino



Peso unitario y vacíos de los agregados

El objetivo es calcular el peso unitario suelto y compactado, así como el porcentaje de vacíos en los agregados finos. Para determinar el primero, se llenó un recipiente hasta que el material rebosara, luego se retiró el excedente con una varilla y se registraron el peso total del recipiente con el contenido y el peso del recipiente vacío. Este procedimiento se repitió tres veces para obtener un promedio. Para el segundo, se llenó un tercio del recipiente con el agregado y se compactó aplicando 25 golpes uniformes con una varilla. A continuación, se dieron 15 golpes en el costado del recipiente con un mazo. Se llenaron $2/3$, compactando y golpeando nuevamente como se describió anteriormente. Finalmente, se completó el llenado del recipiente, se alisó la superficie con la varilla y se registraron los pesos del recipiente lleno y vacío. Se repitió el proceso 3 veces y se sacó un promedio de lo obtenido.

Ilustración 34. Peso Unitario Suelto y Compactado del agregado fino



Gravedad específica y absorción de agregados finos

La arena se introdujo en un molde cónico para evaluar su secado. Luego, se colocaron 100 gramos del material en una fiola con 500 ml de agua destilada y se agitó 20 minutos para eliminar las burbujas de aire. Posteriormente, se determinó el peso total del frasco con el agregado y el agua, y se dejó reposar el recipiente. Finalmente, se retiró el agregado fino, se secó en horno, se enfrió a temperatura ambiente por una hora y se pesó nuevamente para obtener su peso final.

Ilustración 37. Gravedad Específica y Absorción del agregado fino



Fibra de PET

Fue obtenida de la distribuidora Z aditivos ubicada en la Avenida Lora y Lora Cuadra 6, en el distrito de Chiclayo, de la provincia de Chiclayo, del departamento de Lambayeque.

Ilustración 40. Fibra de Pet



Según la Z aditivos [46], es descrita de la siguiente manera:

Tabla N° 29. Ficha técnica de la fibra de Pet

Ilustración 42. Aditivo Nanosíllice en envase esterilizado

Tabla N° 30. Ficha técnica de la fibra de Pet

| | |
|--------------------------------------|--|
| Temperatura de encendido | 290°C |
| Conductividad térmica | Menor de 1 BTU-in/hr-ft ² -°F |
| Conductividad eléctrica | Mayor de 1e + 10 ohm-cm |
| Resistencia a ácidos y sales | |
| Ácido acético al 10% durante 28 días | Resistente |
| Salmuera durante 28 días | Resistente |
| Punto de fusión | 160 – 170°C |
| Resistencia antialcalina | 100% resistente |
| Módulo de elasticidad | 15,000 Kg./cm ² |
| Alargamiento a la rotura | 20 – 30% |
| Resistencia a la tracción | 560 – 765 MPA. |

Aditivo Nanosíllice

El aditivo fue entregado por la misma Universidad Santo Toribio de Mogrovejo (USAT) para poder realizar esta investigación. El Nanosíllice se vertió en un envase esterilizado para su conservación.

Ilustración 43. Aditivo Nanosíllice en envase esterilizado



La ficha técnica de Nanosílce realizada por ULMEN [49], nos brinda las siguientes características:

Tabla N° 32. Ficha técnica de Nanosílce

Tabla N° 33. Tabla de Dosificación para la elaboración de las tejas de microconcreto

| | |
|-----------------------|--|
| Densidad, 20° C | 1.030 ± 0.02 gr/ml. |
| Viscosidad 20° C | 13 ± 2 sec. (C. Ford No. 4) |
| Contenido en cloruros | < 0,01% |
| Almacenamiento | Puede almacenarse durante 6 meses en su envase original cerrado, en lugar y protegido del sol, a temperaturas entre 5° y 35° |
| Presentación | Bidón Plástico de 200 Kgs. Contenedor pallet de 1.000 Kg. |

Diseño de mezcla y propiedades del mortero para las tejas de microconcreto

En base a la investigación de Chávez [3] , se concluyó que las dosificaciones óptimas de relación cemento - arena y relación agua - cemento fueron de 1:1.5 y de 0.47 para las respectivamente, ya que garantiza una adecuada trabajabilidad y calidad del producto final al ser evaluada por los ensayos de durabilidad, Impermeabilidad y resistencia a la flexión

1° Paso: Cálculo cantidad de material inicial

Para una dosificación de mortero de 1:1.5

Cemento: 1 pie³ = 42.5 kg

Arena: 1.5 pie³

Usamos la siguiente fórmula para hallar la cantidad de arena

$$\text{Cantidad de arena} = 1.5 \text{ pie}^3 * \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pie}^3} * \text{PUS}$$

$$\text{Cantidad de arena} = 1.5 \text{ pie}^3 * \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pie}^3} * 1518 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de arena} = 64.49 \text{ kg}$$

Usamos la siguiente fórmula para hallar la cantidad de agua, en función a la relación agua - cemento de 0.47:

$$\text{Cantidad de agua} = 0.47 * 42.5$$

$$\text{Cantidad de agua} = 19.98 \text{ Lt}$$

2° Paso: Cálculo de volumen de material

Calculamos el volumen del cemento:

$$\text{Volumen del cemento} = \frac{\text{Peso de bolsa cemento}}{\text{Peso específico del cemento}}$$

$$\text{Volumen del cemento} = \frac{42.5 \text{ kg}}{2930 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen del cemento} = 0.0145 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen de la arena:

$$\text{Volumen de la arena} = \frac{\text{Peso de arena fina}}{\text{Peso específico de la arena fina}}$$

$$\text{Volumen de la arena} = \frac{64.49 \text{ kg}}{2599.48 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de la arena} = 0.0248 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen de agua:

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{Peso de bolsa de cemento} \times \text{Relación A/C}}{\text{Peso específico del agua}}$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{42.5 \text{ kg} * 0.47}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de agua} = 0.0199 \text{ m}^3$$

Calculamos el rendimiento, que será la suma total de los volúmenes obtenidos:

$$\text{Total de Rendimiento} = 0.0145 \text{ m}^3 + 0.0248 \text{ m}^3 + 0.0199 \text{ m}^3 = 0.0593 \text{ m}^3$$

3° Paso: Cálculo de material según rendimiento

$$\text{Cemento (bolsa)} = \frac{1}{\text{Rendimiento}}$$

$$\text{Cemento (bolsa)} = \frac{1}{0.0593 \text{ m}^3}$$

$$\text{Cemento (bolsa)} = 16.87 \text{ bolsas}$$

$$\text{Cemento (kg)} = 716.83 \text{ kg}$$

$$\text{Arena Fina} = \text{Cemento (bolsas)} \times \text{Peso de arena fina}$$

$$\text{Arena (kg)} = 1087.73 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = \text{Cemento (kg)} \times \text{Relación A/C}$$

$$\text{Agua (Lt)} = 336.91 \text{ Litros}$$

4° Paso: Cálculo de la cantidad de agua y arena

$$\text{Arena Fina Húmeda} = \text{Arena seca} \times \left(1 + \frac{w\%}{100}\right)$$

$$\text{Arena Fina Húmeda} = \text{Arena seca} \times \left(1 + \frac{0.69\%}{100}\right)$$

$$\text{Arena Fina Húmeda} = 1095.3 \text{ kg}$$

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Agua} - \left(\frac{w\% - \text{Abs}\%}{100}\right) \times \text{Arena fina}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 332.76 \text{ Litros}$$

Dosificación por cada material:

Cemento = 1 kg

$$\text{Arena} = \frac{\text{Arena fina húmeda}}{\text{Peso del cemento por m}^3} = 1.528 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Agua Efectiva}}{\text{Peso del cemento por m}^3} = 0.464 \text{ Lt}$$

Peso de cada material por m³:

Cemento = N° bolsas * Peso de bolsa de cemento (kg) = 16.87 x 42.5 kg = 716.83 kg

Arena = *Dosificación de arena x Cemento por m³(kg)* = 1.528 x 716.83 kg
= 1095.26 kg

Agua = *Dosificación de agua x Cemento por m³(kg)* = 0.464 x 716.83 k
= 332.76 Litros

Tabla N° 35. Tabla de Dosificación para la elaboración de las tejas de microconcreto

Ilustración 45. Ensayo de Fluidez para mortero convencional **Tabla N° 36. Tabla de Dosificación para la elaboración de las tejas de microconcreto**

| | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P-02(R/C-0.47+ 4% de F.P + 2.5% NANO) | 0.47 | 1.000 | 1.528 | 0.464 | 0.040 | 0.025 |
| P-02(R/C-0.47+ 4% de F.P + 3% NANO) | 0.47 | 1.000 | 1.528 | 0.464 | 0.040 | 0.030 |

Ensayo de Fluidez para el mortero utilizado en tejas de microconcreto

Como se mencionó anteriormente en los antecedentes, el estudio según Chávez [3] encontró que la óptima dosificación para una buena trabajabilidad requiere una fluidez del 100% ± 5%.

Según la norma NTP 334.057 [38] según el tipo de estructura clasificamos a la teja de microconcreto como un revestimiento (100% – 120%).

Considerando lo previamente mencionado, establecimos como un rango óptimo de fluidez desde 100% hasta 105%. Si está fuera de estos parámetros habría que realizar una corrección por fluidez.

El ensayo de fluidez se realizó tomando en cuenta las dosificaciones de la Tabla 11. Para que la cantidad de material sea precisa para cada mortero se multiplicó por un factor de 0.35 cada proporción.

Ensayo de Fluidez para mortero convencional

Se pesaron las cantidades necesarias para elaborar el mortero convencional

- ✓ 350 gramos de cemento
- ✓ 535 gramos de arena
- ✓ 162 ml de agua

Combinamos el material en la mezcladora para luego trasladarlo al molde cónico ubicado sobre la mesa de flujo, donde lo colocaremos en dos capas

Los cuatro diámetros obtenidos son los siguientes, obteniéndose una fluidez de 104.17%:

- ✓ 17.9 cm
- ✓ 18.7 cm
- ✓ 18.6 cm
- ✓ 18.3 cm

Ilustración 46. Ensayo de Fluidez para mortero convencional



Ensayo de Fluidez para mortero patrón

Se pesaron las cantidades necesarias para elaborar el mortero patrón, esta vez adicionando la fibra de pet.

- ✓ 350 gramos de cemento
- ✓ 535 gramos de arena
- ✓ 162 ml de agua
- ✓ 14 gramos de fibra de pet

Combinamos el material en la mezcladora para luego trasladarlo al molde cónico ubicado sobre la mesa de flujo, donde lo colocaremos en dos capas.

Los cuatro diámetros obtenidos son los siguientes, obteniéndose una fluidez de 101.67%:

- ✓ 17.9 cm
- ✓ 18.4 cm
- ✓ 18.3 cm
- ✓ 18 cm

Ilustración 49. Ensayo de Fluidez para mortero patrón con fibra de Pet



Ensayo de Fluidez para mortero con adiciones de nanosílice

Se pesaron las cantidades necesarias para elaborar el mortero con las 4 adiciones de nanosílice (1.5%, 2%, 2.5% y 3%)

- ✓ 350 gramos de cemento
- ✓ 535 gramos de arena
- ✓ 162 ml de agua
- ✓ 14 gramos de fibra de pet

- ✓ 5.25 ml de nanosílice para la adición de 1.5%, 7 ml de nanosílice para la adición de 2%, 8.75 ml de nanosílice para la adición de 2.5% y 10.5 ml de nanosílice para la adición de 3%

Combinamos el material en la mezcladora y con ayuda de una jeringa medimos la cantidad de nanosílice. Luego, trasladamos el molde cónico ubicado sobre la mesa de flujo, donde lo colocaremos en dos capas.

Los cuatro diámetros obtenidos con la primera adición (1.5%) son los siguientes, obteniéndose una fluidez de 103.33%:

- ✓ 18.6 cm
- ✓ 17.5 cm
- ✓ 18.5 cm
- ✓ 18.6 cm

Los cuatro diámetros obtenidos con la segunda adición (2%) son los siguientes, obteniéndose una fluidez de 103.89%:

- ✓ 18.7 cm
- ✓ 17.5 cm
- ✓ 18.6 cm
- ✓ 18.6 cm

Los cuatro diámetros obtenidos con la tercera adición (2.5%) son los siguientes, obteniéndose una fluidez de 104.44%:

- ✓ 18.8 cm
- ✓ 17.6 cm
- ✓ 18.6 cm
- ✓ 18.6 cm

Los cuatro diámetros obtenidos con la cuarta adición (3%) son los siguientes, obteniéndose una fluidez de 104.72%:

- ✓ 18.8 cm
- ✓ 17.6 cm
- ✓ 18.6 cm

✓ 18.7 cm

Ilustración 52. Ensayo de Fluidez para mortero con adiciones de Nanosílice



Elaboración de las tejas de microconcreto

De acuerdo con la dosificación especificada en la Tabla 11, se procede a fabricar las tejas utilizando una proporción de cemento y arena de 1:1.5, con una relación agua/cemento (R A/C) de 0.47.

Según nuestro diseño de mezcla este es el rendimiento por m³ de cada material:

Cemento: 716.826539 kg

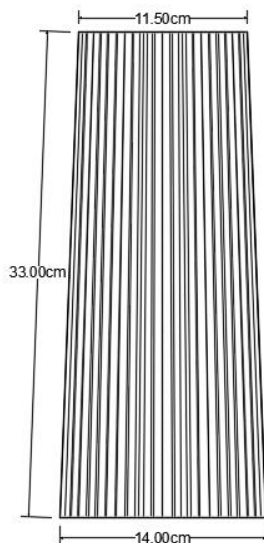
Arena: 1095.25747 kg

Agua: 332.761383 lt

Para estimar la cantidad de material que necesitaremos por cada teja debemos hallar volumen de estas tomando en cuenta las dimensiones de la teja comercial propuesta en las bases teóricas [24]:

- Longitud: 33 cm.
- Ancho mayor: 14 cm.
- Ancho menor: 11.50 cm.
- Espesor: 1.5 cm.

Ilustración 55. Vista en planta de la teja de microconcreto con fibra de Pet



Sacamos primero el área del trapecio que se forma en una vista en planta de la teja. Para ello necesitamos la altura del trapecio, la cual se halla aplicando el teorema de Pitágoras:

$$x^2 + 1.25^2 = 33^2$$

$$x = 32.9763172595 \text{ cm}$$

Con este dato podemos sacar el área del trapecio:

$$A = \left(\frac{B + b}{2} \right) h$$

$$A = \left(\frac{14 \text{ cm} + 11.5 \text{ cm}}{2} \right) 32.98 \text{ cm}$$

$$A = 420.448 \text{ cm}^2$$

Hallamos el volumen multiplicando el valor del área por el espesor:

$$V = 420.448 \text{ cm}^2 \times 1.5 \text{ cm}$$

$$V = 630.672 \text{ cm}^3$$

Ahora hallaremos la cantidad de cemento que necesita este volumen tomando en cuenta el rendimiento por m³. Para ello usaremos una regla de 3:

$$719.781152 \text{ kg} \quad 1000000 \text{ cm}^3$$

$$X \quad 630.672 \text{ cm}^3$$

$$x = 0.4539458187 \text{ kg}$$

Para los demás materiales de la mezcla multiplicaremos los factores de la tabla 14 por el peso calculado del cemento. Por lo tanto, la cantidad de cada material que necesitaremos por teja es el siguiente:

Teja patrón:

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos

Teja con adición 1.5%:

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos
- ✓ Nanosílice: 6.809 ml

Teja con adición 2%:

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos
- ✓ Nanosílice: 9.079 ml

Teja con adición 2.5%:

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos

- ✓ Nanosílice: 11.349 ml

Teja con adición 3%:

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos
- ✓ Nanosílice: 13.618 ml

Ensayo de Flexión Inicial

Según la norma europea, deben someterse primero al ensayo de durabilidad, seguido del ensayo de impermeabilidad y, finalmente, al ensayo de flexión. En este último ensayo, la resistencia obtenida debe ser igual o superior a lo establecido en la norma. Se seguirá el proceso establecido, pero también se ensayará a flexión a los 14 días antes de los ensayos principales, con el fin de ir evaluando la resistencia de las tejas y comprobar si nuestro diseño de mezcla fue el correcto.

De acuerdo a nuestro muestreo, tenemos una población de 63 tejas. 3 de ellas se ensayaron a flexión a los 14 días para evaluar su resistencia. Si las tejas resisten lo especificado por la norma UNE EN 490 [42], es decir el 80% de la carga final de 200 kg, entonces procederemos a la elaboración de las 60 tejas restantes que serán sometidas a los ensayos de calidad.

Ilustración 58. Ensayo de Resistencia a la Flexión Inicial a los 14 días



Elaboración de las tejas de microconcreto con fibra de Pet y sus adiciones

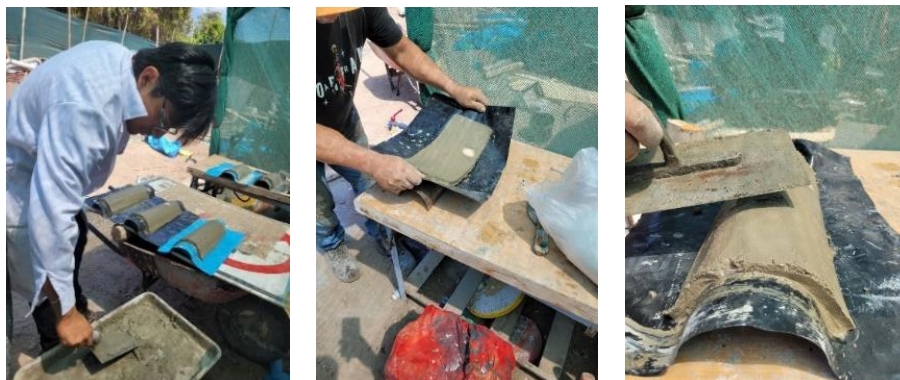
Se adquirieron quince moldes y un marco, ambos de metal y láminas plásticas. Los materiales y equipos necesarios se consiguieron con recursos propios y con el apoyo de colaboradores del laboratorio J.M.LL. J del Grupo Geohesa. La mezcla se realizó manualmente, siguiendo la dosificación planteada anteriormente para cada teja. Primero humedecemos la bandeja de mezclado, luego agregamos el agregado fino, posteriormente el cemento, mezclamos y agregamos agua poco a poco. Se coloca la fibra de Pet con la adición planteada del 4%, ya que fue la proporción más óptima. [10]. Para las tejas con adición de nanosílice nos ayudamos con una jeringa plástica medimos la cantidad de Nanosílice que agregaremos a la mezcla, dependiendo del porcentaje. (1.5%, 2%, 2.5%, 3%)

Ilustración 61. Adición de materiales a la mezcla para la elaboración de tejas de microconcreto



Utilizando una mesa de madera, se procedió al moldeado del mortero. Se coloca una lámina plástica bajo el marco metálico, se vierte el mortero y, tras mezclar, se traslada al molde curvo para darle forma a la teja. Las tejas se dejan secar en el molde por al menos 24 horas a temperatura ambiente, ya que desmoldarlas antes puede causar que se resquebrajen.

Ilustración 64. Moldeado de tejas de microconcreto



Tras 24 horas de secado, se desmoldan y se colocan en cubetas para curado, trasladándose un máximo de tres tejas por viaje para evitar daños. La planta tiene áreas específicas para la fabricación, curado y almacenamiento. Las tejas se curan por 28 días y luego se secan a temperatura ambiente durante al menos 7 días. Al finalizar este proceso, las tejas están listas para ser ensayadas en el laboratorio.

Ilustración 67. Secado, curado y traslado de las tejas de microconcreto



Ensayos de calidad para las tejas de microconcreto

Los siguientes ensayos se realizaron posterior al curado de las tejas:

Ensayo de Porosidad y Fisuración

Según el Manual para el Control de Calidad, Ensayo L 4.1.10. [41], en donde se verificó que las 60 tejas fabricadas no presentaran una cantidad excesiva de poros grandes. Este ensayo se llevó a cabo después de que las tejas completaron el proceso de curado.

Ilustración 70. Ensayo de Porosidad y Fisuración a las tejas de microconcreto



Ensayo de Peso

Según el Manual para el Control de Calidad de tejas TMC, Ensayo L 4.6.20. [41] se pesaron 4 tejas de cada uno de los grupos experimentales y se comprobó que la variación de peso no supere el 10% del peso estimado y se llevó una estadística de las tejas ensayadas.

De acuerdo la Tabla 11 por cada tipo de teja según su adición podemos sacar un peso estimado, que no varíe del 10% del peso esperado:

Teja patrón: 1.239 kg (-10%) - 1.376 kg - 1.514 kg (+10%)

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos

Teja con adición 1.5%: 1.245 kg (-10%) - 1.383 kg - 1.522 kg (+10%)

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos
- ✓ Nanosílice: 6.809 ml

Teja con adición 2%: 1.247 kg (-10%) - 1.385 kg - 1.524 kg (+10%)

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos
- ✓ Nanosílice: 9.079 ml

Teja con adición 2.5%: 1.249 kg (-10%) - 1.388 kg - 1.527 kg (+10%)

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos
- ✓ Nanosílice: 11.349 ml

Teja con adición 3%: 1.251 kg (-10%) - 1.390 kg - 1.529 kg (+10%)

- ✓ Cemento: 453.946 gramos
- ✓ Arena: 693.629 gramos
- ✓ Agua: 210.630 ml
- ✓ Fibra de Pet: 18.158 gramos
- ✓ Nanosílice: 13.618 ml

Ilustración 73. Ensayo de Peso a las tejas de microconcreto



Ensayo de Resistencia al Impacto

Se realizó de acuerdo al Manual para el Control de Calidad de tejas TMC, Ensayo L 4.7.20. [41].

Estuvo formado por los siguientes componentes:

- ✓ Una tabla de madera de 1m de longitud en la que se marcaron las alturas utilizadas
- ✓ El manual nos dice que la carga de impacto debe ser de 8800 g x cm (Esfera de 220 g y a una altura de 40 cm). Nuestra esfera metálica pesa 435.73g por lo que dividiremos la carga de impacto entre el peso de la esfera para calcular la distancia necesaria. Este valor es de 20.196 cm.

Se colocaron las tejas sobre una base con dos soportes de madera, y se situó una tabla de madera verticalmente en el centro de la sección plana de la teja, exactamente en la mitad de la distancia entre los soportes. Después se dejó caer una bola de metal desde una altura de 20.196 cm. Si la teja resistía el impacto, se repetía el ensayo incrementando la altura de caída.

Si en caso estas resisten la carga se repite aumentando la altura. De acuerdo a nuestro muestreo este sería la carga para cada grupo de impacto, en el que cada uno se fue elevando la altura:

- ✓ Carga de impacto G1 = 8800 g x cm (Altura de impacto = 20.196 cm x Peso de la bola = 435.73 gramos)
- ✓ Carga de impacto G2 = 13071.9 g x cm (Altura de impacto = 30 cm x Peso de la bola = 435.73 gramos)
- ✓ Carga de impacto G3 = 17429.2 g x cm (Altura de impacto = 40 cm x Peso de la bola = 435.73 gramos)
- ✓ Carga de impacto G4 = 21786.5 g x cm (Altura de impacto = 50 cm x Peso de la bola = 435.73 gramos)
- ✓ Carga de impacto G5 = 26143.8 g x cm (Altura de impacto = 60 cm x Peso de la bola = 435.73 gramos)

Ilustración 76. Ensayo de Resistencia al Impacto a las tejas de microconcreto



Ensayo de Durabilidad

Según la NTP 400.016 [40], el procedimiento se utiliza para evaluar la durabilidad de las tejas de microconcreto frente a la acción de los sulfatos de sodio y las condiciones climáticas mediante cinco ciclos. Se inicia pesando las tejas antes del primer ciclo. Luego, se pesa y diluye 2 kg de sulfato en 5 litros de agua, dejando reposar la mezcla durante al menos 48 horas para evitar contaminación. Cada ciclo de inmersión dura 16 horas, seguido de un escurrido de 5 a 15 minutos y un secado en horno a 105-115 °C durante 2 horas. Este proceso se repite durante cinco ciclos, y al finalizar, las muestras se lavan con agua destilada, se secan nuevamente y se registran los pesos para evaluar la desintegración e inalterabilidad. Adicionalmente se verifican si las tejas presentan fisuras según dice la norma UNE EN 491 [42].

Ilustración 79. Ensayo de Durabilidad a las tejas de microconcreto



Ensayo de Impermeabilidad

De acuerdo al Manual para el Control de Calidad de tejas TMC, Ensayo L 4.5.10 [41], consistió en llenar el canal de la teja con agua, creando un recipiente mediante la colocación de dos tapas de mortero que se ajustan a la forma de la sección de la teja para contener el agua. Se observó si las tejas de cada grupo experimental después de las 24 horas de ensayo, no presentaban gotas en la cara inferior como indica la norma UNE EN 491 [42] o si el área humedecida no excedía el 50% del área total de la teja.

Ilustración 82. Ensayo de Impermeabilidad a las tejas de microconcreto



Ensayo de Resistencia a la Flexión

Según la norma UNE 491[42], se aplica una carga para determinar su resistencia, especificando una carga mínima es de 200 kg. Para llevar a cabo este ensayo, se usó una máquina de ensayo equipada con dos apoyos en la parte inferior y un apoyo redondeado, fabricado en madera de caoba, colocado en posición centrada sobre los dos apoyos inferiores. El peso de este no se consideró en la carga ya que la norma dice que el peso de este se omite si pesa menos de 5kg.

Ilustración 85. Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días a las tejas de microconcreto



Ilustración 87. Croquis de Ensayo de Resistencia a Flexión



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados y análisis de ensayos para control de calidad del agregado fino

Ensayo de Contenido de humedad

Tabla N° 38. Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad del agregado fino

Tabla N° 39. Resultados del Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado fino
Tabla N° 40. Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad del agregado fino

| | | |
|-----------------------------|---|------|
| CONTENIDO DE HUMEDAD | % | 0.69 |
|-----------------------------|---|------|

El resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado fino es de 0.69%

Ensayo de Análisis Granulométrico

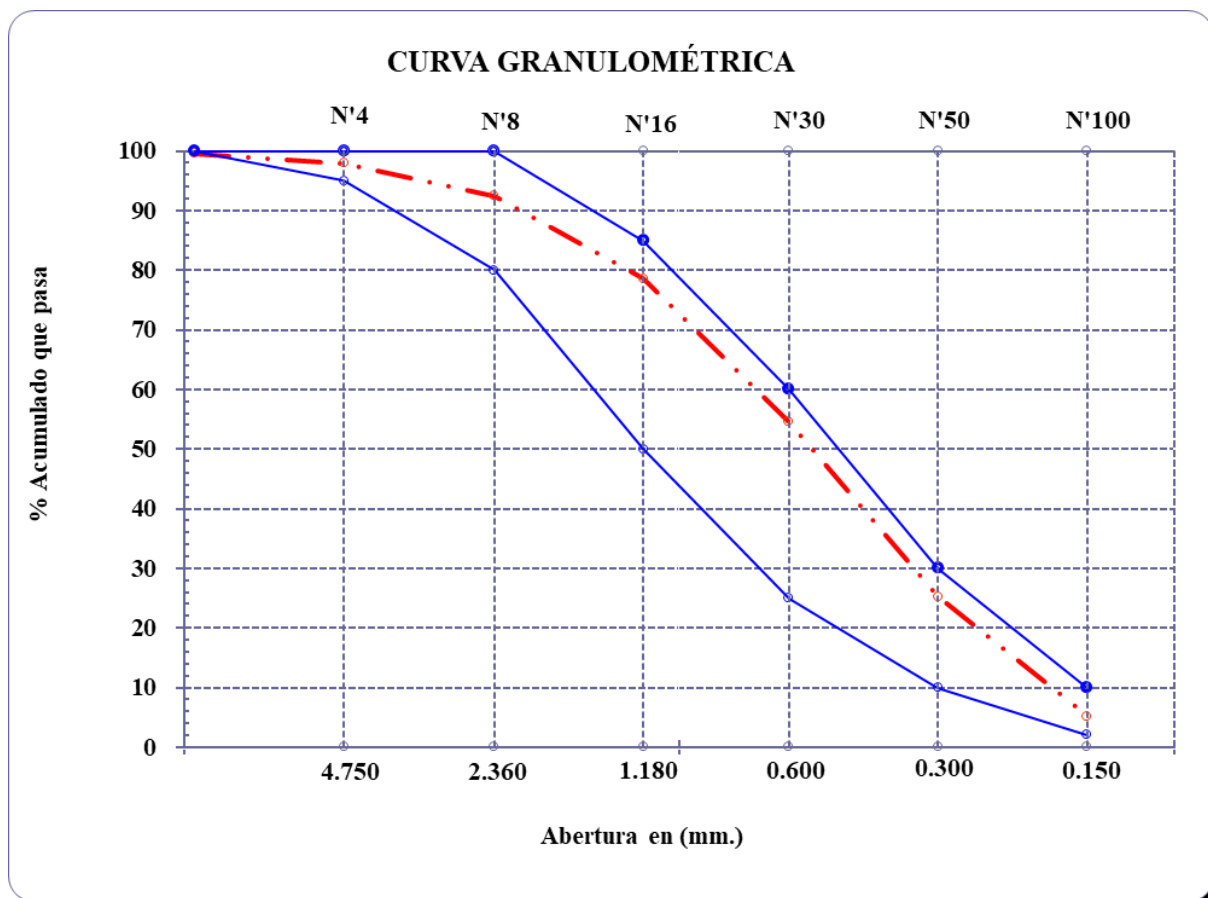
Tabla N° 41. Resultados del Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado fino

Ilustración 88. Curva Granulométrica del agregado fino
Tabla N° 42. Resultados del Ensayo de Análisis Granulométrico del agregado fino

| N° M | 4.75 | 11.75 | 1.0 | 4.1 | 75.0 | 90 | 100 |
|-------------------------|--------------|--------|------|-------|------|----|-----|
| N° 08 | 2.360 | 38.56 | 5.5 | 7.6 | 92.4 | 80 | 100 |
| N° 16 | 1.180 | 96.90 | 13.8 | 21.4 | 78.6 | 50 | 85 |
| N° 30 | 0.600 | 168.32 | 24.0 | 45.5 | 54.5 | 25 | 60 |
| N° 50 | 0.300 | 205.28 | 29.3 | 74.8 | 25.2 | 10 | 30 |
| N° 100 | 0.150 | 139.99 | 20.0 | 94.8 | 5.2 | 2 | 10 |
| Fondo | | 36.6 | 5.2 | 100.0 | 0.00 | | |
| MÓDULO DE FINEZA | 2.465 | | | | | | |

En la siguiente tabla, se muestra los resultados granulométricos del agregado fino donde se puede observar que el resultado del módulo de fineza es 2.465.

Ilustración 89. Curva Granulométrica del agregado fino



Ensayo de Peso unitario Suelto

Tabla N° 44. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto al agregado fino

Tabla N° 45. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado al agregado fino
Tabla N° 46. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto al agregado fino

| PESO UNITARIO SUELTO (PROMEDIO) | kg/m ³ | 1518 |
|---------------------------------|-------------------|------|
|---------------------------------|-------------------|------|

El resultado del ensayo de peso unitario suelto del agregado fino es de 1518 kg/m³

Ensayo de Peso Unitario Compactado

Tabla N° 47. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado al agregado fino

Tabla N° 48. Resultados del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción al agregado fino
Tabla N° 49. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado al agregado fino

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|

El resultado del ensayo de peso unitario compactado del agregado fino es de 1697 kg/m³

Ensayo de Gravedad Específica y Absorción

Tabla N° 50. Resultados del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción al agregado fino

Tabla N° 51. Resultados del Ensayo de Fluides al mortero convencional
Tabla N° 52. Resultados del Ensayo de Gravedad Específica y Absorción al agregado fino

El resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino es de 2.599 g/cm³ y 0.31% respectivamente

Resultados y análisis del Ensayo de Fluides

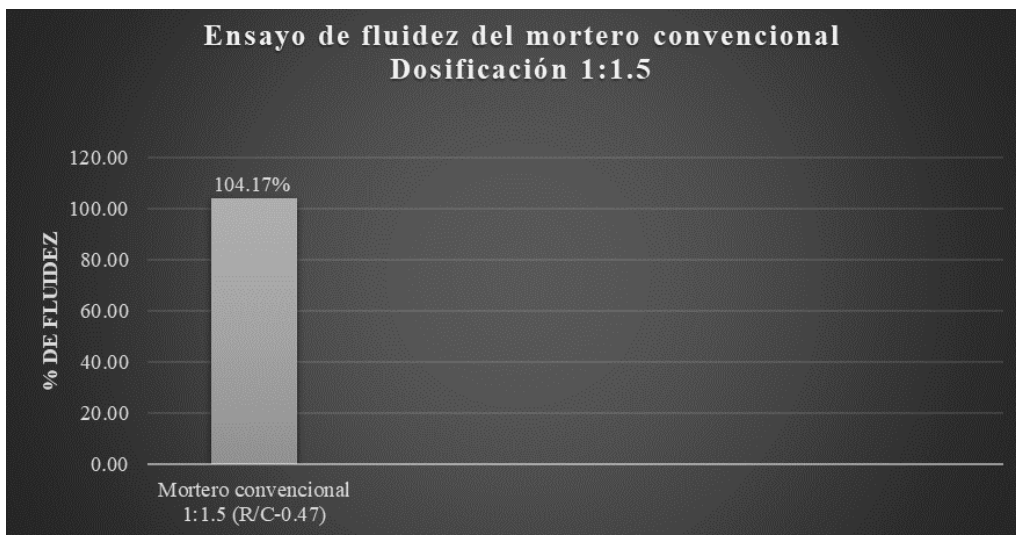
Resultados del Ensayo de Fluides del mortero convencional

Tabla N° 53. Resultados del Ensayo de Fluides al mortero convencional

Ilustración 91. Resultados del Ensayo de Fluides al mortero convencional
Tabla N° 54. Resultados del Ensayo de Fluides al mortero convencional

| | | | | |
|------------------|-----|------|-------|-------|
| 1:1.5 (R/C-0.47) | --- | 18.6 | ----- | ----- |
| | | 18.3 | | |

Ilustración 92. Resultados del Ensayo de Fluidiez al mortero convencional



El resultado del ensayo de fluidiez al mortero convencional es de 104.17 %.

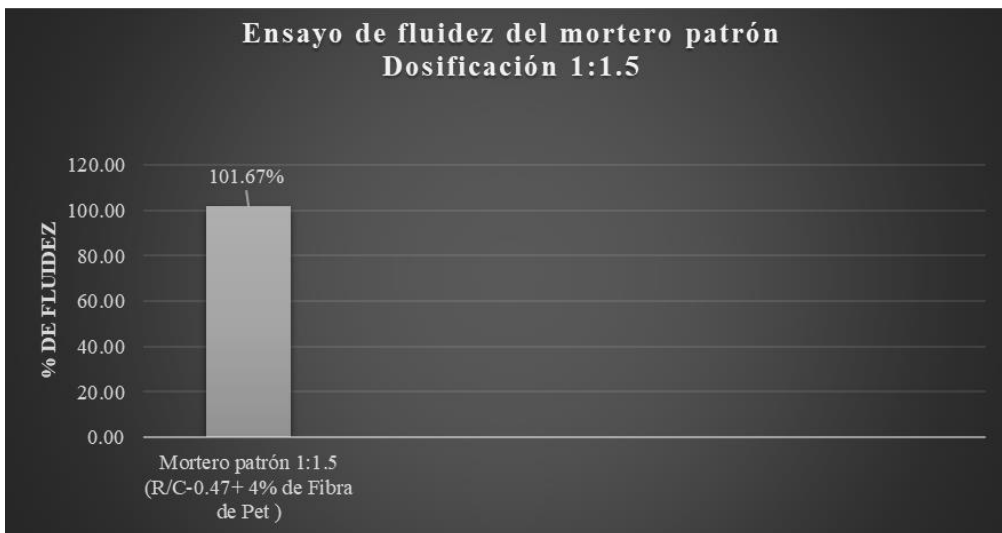
Resultados del Ensayo de Fluidiez del mortero patrón con fibra de Pet

Tabla N° 56. Resultados del Ensayo de Fluidiez al mortero patrón

Ilustración 94. Resultados del Ensayo de Fluidiez al mortero patrón
Tabla N° 57. Resultados del Ensayo de Fluidiez al mortero patrón

| | | | |
|----------|------|--|--|
| de Pet) | 18.3 | | |
| | 18.0 | | |

Ilustración 95. Resultados del Ensayo de Fluidiez al mortero patrón



El resultado del ensayo de fluidez al mortero convencional es de 101.67 %

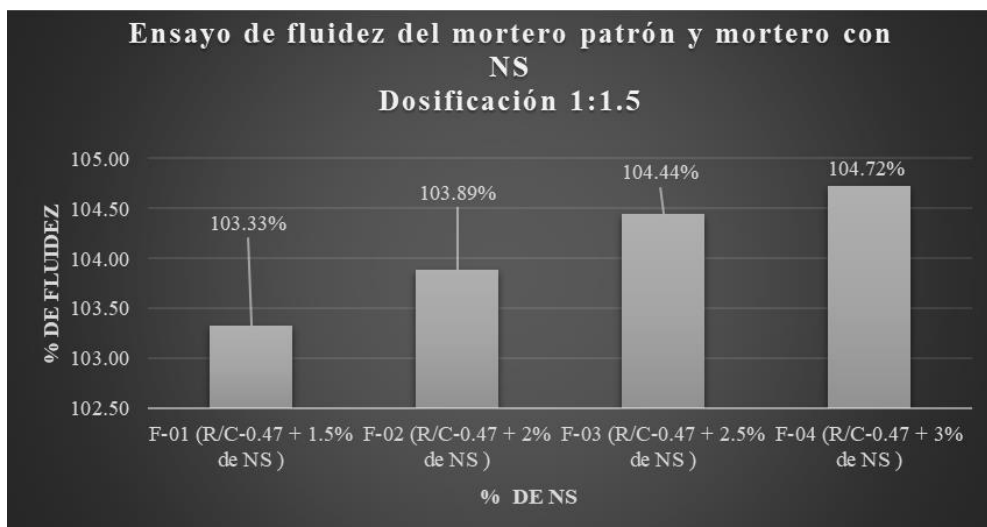
Resultados del Ensayo de Fluidez del mortero con adiciones de Nanosílice

Tabla N° 59. Resultados del Ensayo de Fluidez al mortero con adición de Nanosílice

Ilustración 97. Resultados del Ensayo de Fluidez al mortero con adición de Nanosílice
Tabla N° 60. Resultados del Ensayo de Fluidez al mortero con adición de Nanosílice

| | | | |
|-------------------------------|----|--------|--------|
| F-03 (R/C-0.47 + 2.5% de NS) | 90 | 184.00 | 104.44 |
| F-04 (R/C-0.47 + 3% de NS) | 90 | 184.25 | 104.72 |

Ilustración 98. Resultados del Ensayo de Fluidez al mortero con adición de Nanosílice



Los resultados del ensayo de fluidez al mortero por cada adición de Nanosílice son los siguientes:

- ✓ Para el 1.5% de adición es 103.33%
- ✓ Para el 2% de adición es 103.89%
- ✓ Para el 2.5% de adición es 104.44%
- ✓ Para el 3% de adición es 104.72%

Resultados y análisis de los ensayos de calidad de las tejas de microconcreto

Ensayo de Resistencia a la Flexión Inicial a los 14 días

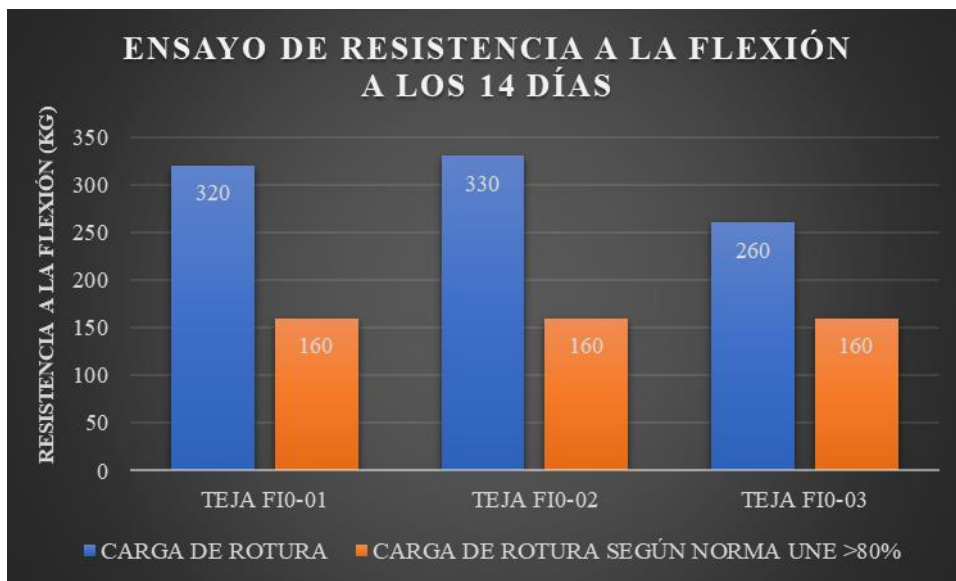
Tabla N° 62. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión Inicial a los 14 días

Ilustración 100. Gráfico de los resultados del Ensayo de Flexión Inicial a los 14 días
Tabla N° 63. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión Inicial a los 14 días

| | | | | | | |
|--------|------------|-----------|---------|-----|-----|------|
| FI0-03 | 11/04/2024 | 3/05/2024 | 14 días | 260 | 200 | >160 |
|--------|------------|-----------|---------|-----|-----|------|

Los resultados del ensayo de flexión a los 14 días realizado a las tejas del grupo patrón demuestran que las resistencias de las tejas sobrepasan los valores requeridos por la norma europea hasta antes de los 28 días, que es un 80% de la resistencia final, incluso superan los valores mínimos de resistencia a los 28 días.

Ilustración 101. Gráfico de los resultados del Ensayo de Flexión Inicial a los 14



Este gráfico muestra los resultados del Ensayo a Flexión a los 14 días donde se puede observar, que las resistencias de las tejas planas y onduladas sobrepasan los valores requeridos por la norma europea. Los valores de carga de rotura son de 260, 320 y 330 kg. Estos valores superan los 160 kg (80% de la resistencia final) establecidos en la norma para una resistencia antes de los 28 días.

Ensayo de Porosidad y Fisuración

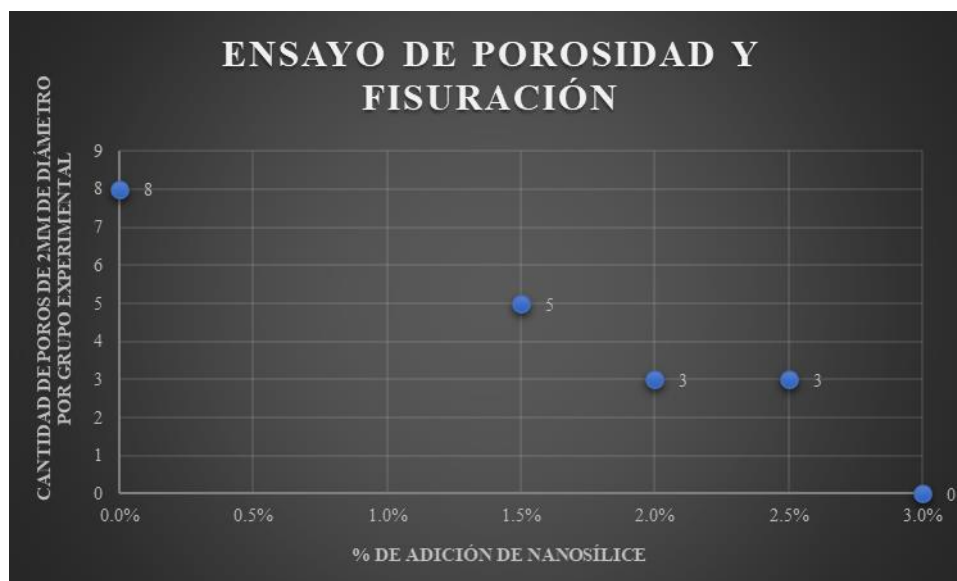
Tabla N° 65. Resultados del Ensayo de Porosidad y Fisuración a las tejas de microconcreto

Ilustración 103. Gráfico de Resultados del Ensayo de Porosidad y Fisuración **Tabla N° 66. Resultados del Ensayo de Porosidad y Fisuración a las tejas de microconcreto**

| | | | | | | | | |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| PF0-04 | 0% | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-05 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-06 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-07 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-08 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-09 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-10 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-11 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF0-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-01 | | 1.5% | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-02 | | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-03 | | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-04 | Inexistentes | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-05 | Inexistentes | | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-06 | Inexistentes | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-07 | Inexistentes | | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-08 | Inexistentes | | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-09 | Inexistentes | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-10 | Inexistentes | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-11 | Inexistentes | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF1.5-12 | Inexistentes | | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-01 | 2% | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-02 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-03 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-05 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-06 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-07 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-08 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-09 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-10 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-11 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-01 | 2.5% | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-02 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-03 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-05 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-06 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-07 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-08 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-09 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-10 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-11 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF2.5-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-01 | 3% | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-02 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-03 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-05 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-06 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-07 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-08 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-09 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-10 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-11 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |
| PF3-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE | |

Los resultados del ensayo de porosidad y fisuración demuestran que las tejas con de nanosílice son superiores, ya que ha medido que el porcentaje de adición aumenta, estas presentan menos poros.

Ilustración 104. Gráfico de Resultados del Ensayo de Porosidad y Fisuración



Ensayo de Peso

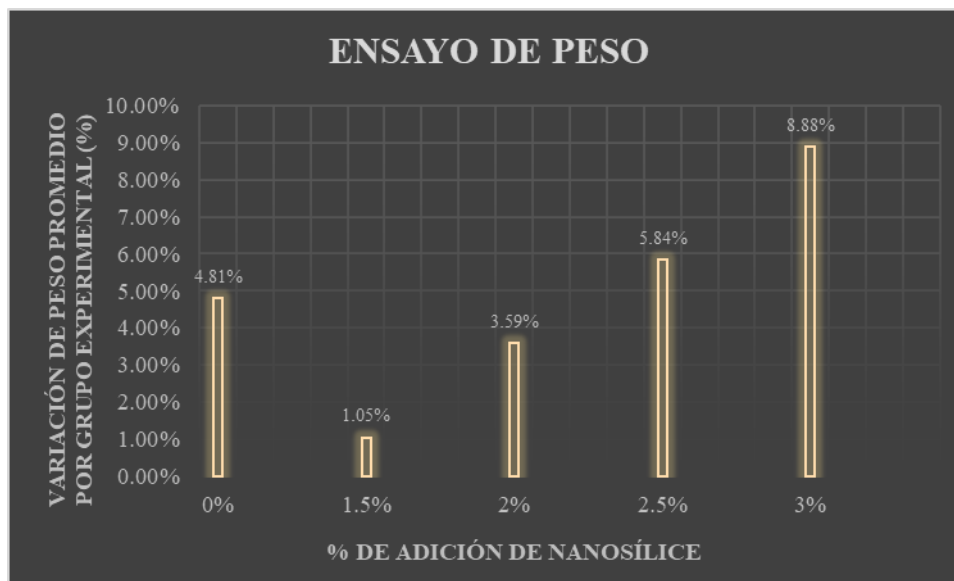
Tabla N° 68. Resultados del Ensayo de Peso a las tejas de microconcreto

Ilustración 106. Gráfico de Resultados del Ensayo de Peso **Tabla N° 69. Resultados del Ensayo de Peso a las tejas de microconcreto**

| GRUPO | ADICIÓN DE NANOSÍLICE (%) | PESO (kg) | ADICIÓN DE NANOSÍLICE (%) | ADICIÓN DE NANOSÍLICE (%) | ADICIÓN DE NANOSÍLICE (%) |
|---------|---------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| P0-04 | | | 1.280 | 6.98% | ACEPTABLE |
| P1.5-01 | 1.5% | 1.383 | 1.392 | 0.65% | ACEPTABLE |
| P1.5-02 | | | 1.390 | 0.51% | ACEPTABLE |
| P1.5-03 | | | 1.394 | 0.80% | ACEPTABLE |
| P1.5-04 | | | 1.414 | 2.24% | ACEPTABLE |
| P2-01 | | | 2% | 1.385 | 1.414 |
| P2-02 | 1.433 | 3.47% | | | ACEPTABLE |
| P2-03 | 1.437 | 3.75% | | | ACEPTABLE |
| P2-04 | 1.455 | 5.05% | | | ACEPTABLE |
| P2.5-01 | 2.5% | 1.388 | 1.442 | 3.89% | ACEPTABLE |
| P2.5-02 | | | 1.474 | 6.20% | ACEPTABLE |
| P2.5-03 | | | 1.455 | 4.83% | ACEPTABLE |
| P2.5-04 | | | 1.505 | 8.43% | ACEPTABLE |
| P3-01 | 3% | 1.390 | 1.499 | 7.84% | ACEPTABLE |
| P3-02 | | | 1.522 | 9.50% | ACEPTABLE |
| P3-03 | | | 1.512 | 8.78% | ACEPTABLE |
| P3-04 | | | 1.521 | 9.42% | ACEPTABLE |

Los resultados del ensayo de peso demuestran que todas las tejas están en el rango de peso esperado.

Ilustración 107. Gráfico de Resultados del Ensayo de Peso



Ensayo de Resistencia al Impacto

Tabla N° 71. Evaluación de Resistencia al Impacto a las tejas de microconcreto

Ilustración 109. Gráfico de Resultados del Ensayo de Resistencia al Impacto
Tabla N° 72. Evaluación de Resistencia al Impacto a las tejas de microconcreto

| Grupos | Subgrupos | % de Adición de Nanosílice | Resistencia al Impacto (kg) | Resistencia al Impacto (kg) | Resistencia al Impacto (kg) | Resultado |
|--------|-----------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|
| G1 | IG1-04 | 2.5% | 435.730 | 30 | 13072 | RESISTIÓ |
| | IG1-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G2 | IG2-01 | 0.0% | 435.730 | 30 | 13072 | ROTURA |
| | IG2-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG2-03 | 2.0% | | | | RESISTIÓ |
| | IG2-04 | 2.5% | | | | RESISTIÓ |
| | IG2-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G3 | IG3-01 | 0.0% | 435.730 | 40 | 17429 | ROTURA |
| | IG3-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG3-03 | 2.0% | | | | ROTURA |
| | IG3-04 | 2.5% | | | | ROTURA |
| | IG3-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G4 | IG4-01 | 0.0% | 435.730 | 50 | 21787 | ROTURA |
| | IG4-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG4-03 | 2.0% | | | | ROTURA |
| | IG4-04 | 2.5% | | | | ROTURA |
| | IG4-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G5 | IG5-01 | 0.0% | 435.730 | 60 | 26144 | ROTURA |
| | IG5-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG5-03 | 2.0% | | | | ROTURA |
| | IG5-04 | 2.5% | | | | ROTURA |
| | IG5-05 | 3.0% | | | | ROTURA |

Los resultados del ensayo de Resistencia al impacto muestran que todas las tejas cumplen con la resistencia especificada en el manual. Asimismo, se puede observar que la teja con adición de 3% de nanosílice es superior a las demás, resistiendo una distancia de caída de 60 cm.

Ilustración 110. Gráfico de Resultados del Ensayo de Resistencia al



Ensayo de Durabilidad

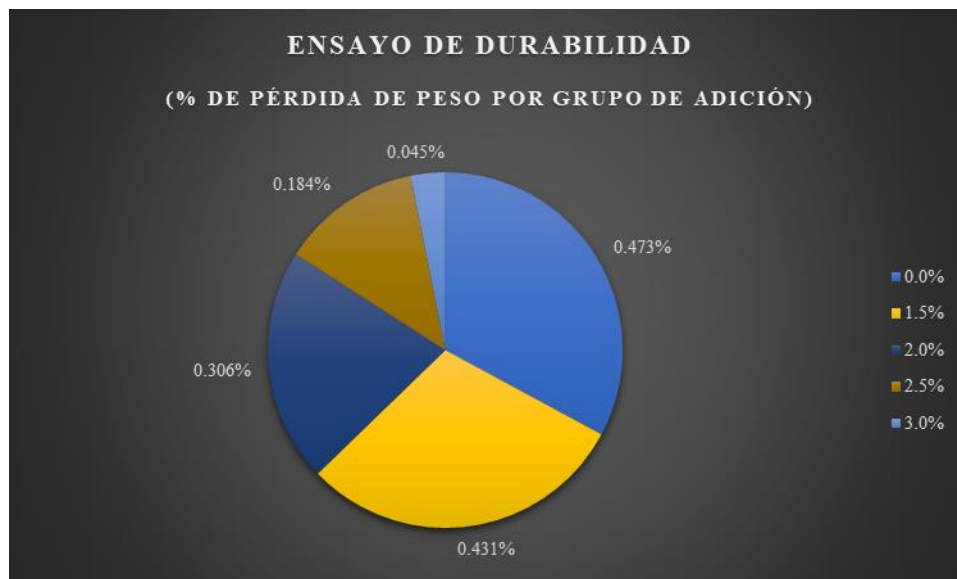
Tabla N° 74. Resultados del Ensayo de Durabilidad a las tejas de microconcreto

Ilustración 112. Gráfico de Resultados del Ensayo de Durabilidad
Tabla N° 75. Resultados del Ensayo de Durabilidad a las tejas de microconcreto

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------|-----------|--------------|-----------|-------|-------|--------|
| DIF1.5-02 | 1.5% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.399 | 1.393 | 0.429% |
| DIF1.5-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.384 | 1.379 | 0.361% |
| DIF2-01 | 2.0% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.411 | 1.407 | 0.283% |
| DIF2-02 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.401 | 1.397 | 0.286% |
| DIF2-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.430 | 1.425 | 0.350% |
| DIF2.5-01 | 2.5% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.426 | 1.423 | 0.210% |
| DIF2.5-02 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.435 | 1.432 | 0.209% |
| DIF2.5-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.501 | 1.499 | 0.133% |
| DIF3-01 | 3.0% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.436 | 1.435 | 0.070% |
| DIF3-02 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.502 | 1.502 | 0.000% |
| DIF3-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.511 | 1.510 | 0.066% |

Los resultados del ensayo de Durabilidad demuestran que conforme la adición de nanosílice aumenta, la variación de peso va disminuyendo, destacando el 3% de Nanosílice, teniendo una ínfima pérdida de peso.

Ilustración 113. Gráfico de Resultados del Ensayo de Durabilidad



Ensayo de Impermeabilidad

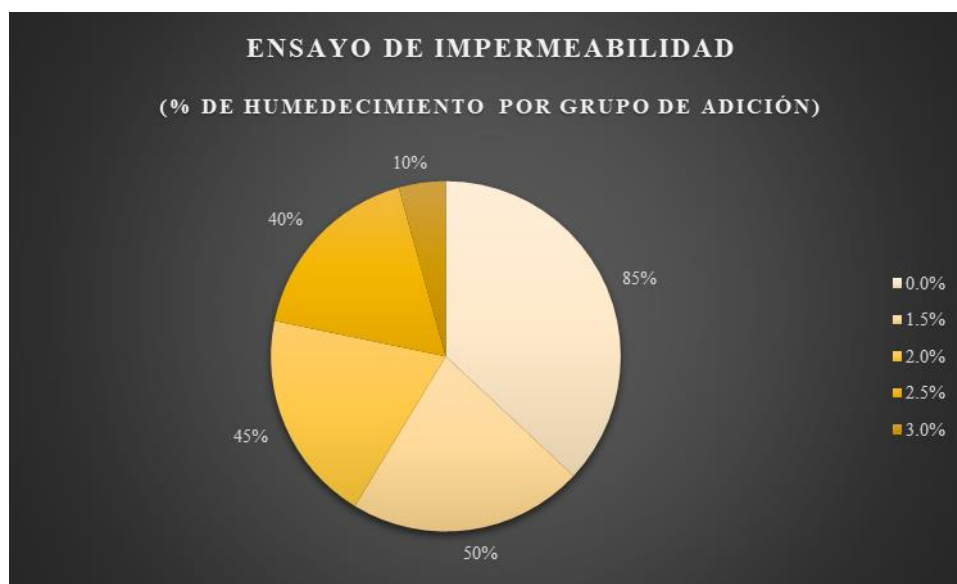
Tabla N° 77. Resultados del Ensayo de Impermeabilidad a las tejas de microconcreto

Ilustración 115. Gráfico de Resultados del Ensayo de Impermeabilidad
Tabla N° 78. Resultados del Ensayo de Impermeabilidad a las tejas de microconcreto

| DIF0-05 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 85% | ACEPTABLE |
|-----------|------|------------|------------|--------------|-----|-----------|
| DIF1.5-01 | 1.5% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 50% | ACEPTABLE |
| DIF1.5-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 50% | ACEPTABLE |
| DIF1.5-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 50% | ACEPTABLE |
| DIF2-01 | 2.0% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 45% | ACEPTABLE |
| DIF2-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 45% | ACEPTABLE |
| DIF2-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 45% | ACEPTABLE |
| DIF2.5-01 | 2.5% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 40% | ACEPTABLE |
| DIF2.5-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 40% | ACEPTABLE |
| DIF2.5-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 40% | ACEPTABLE |
| DIF3-01 | 3.0% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 10% | ACEPTABLE |
| DIF3-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 10% | ACEPTABLE |
| DIF3-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 10% | ACEPTABLE |

Los resultados del ensayo de Impermeabilidad nos muestran que ninguna de las tejas presenta signos de goteo. Además, demuestran que conforme la adición de nanosílice incrementa, el humedecimiento disminuye, destacando el 3% de Nanosílice, las cuales presentan un humedecimiento aproximadamente de un 10%.

Ilustración 116. Gráfico de Resultados del Ensayo de Impermeabilidad



Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días

Tabla N° 80. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días a las tejas de microconcreto

Ilustración 118. Gráfico de Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días
Tabla N° 81. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días a las tejas de microconcreto

| | | | | | | |
|-----------|-----------|------------|---------|------------|------------|------------|
| DIF1.5-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 320 | 337 | 200 |
| DIF1.5-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 340 | | 200 |
| DIF1.5-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 350 | | 200 |
| DIF2-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 380 | 387 | 200 |
| DIF2-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 390 | | 200 |
| DIF2-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 390 | | 200 |
| DIF2.5-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 440 | 437 | 200 |
| DIF2.5-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 420 | | 200 |
| DIF2.5-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 450 | | 200 |
| DIF3-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 510 | 507 | 200 |
| DIF3-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 530 | | 200 |
| DIF3-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 480 | | 200 |

Los resultados del ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días presentan resultados óptimos, ya que todos superan por mucho la resistencia requerida. Es más, conforme la adición del aditivo aumenta, su resistencia igual, siendo la adición de 3% superior a las demás.

Ilustración 119. Gráfico de Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión a los 28 días

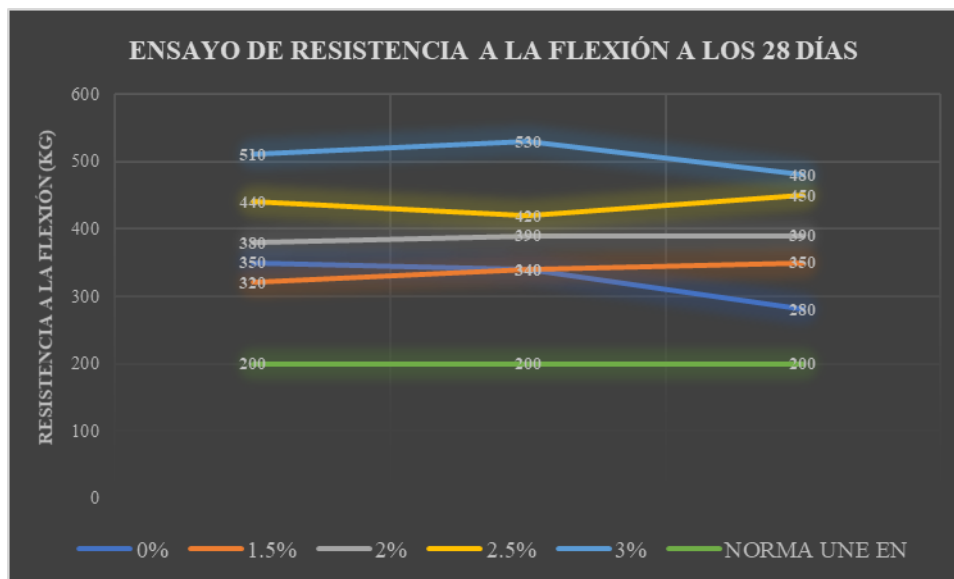


Tabla N° 30. Cálculo de Esfuerzo de Rotura de los grupos promedio de las tejas sometidas al ensayo de Resistencia a la Flexión

| TEJA | CARGA DE ROTURA | LUZ | ANCHO | ALTURA | CARGA DE ROTURA (KG/CM2) | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|-----|-------|--------|--------------------------|----|---|-------|----|---|-------|----|---|-------|----|---|-------|
| DIF0-01 | 323 | 33 | 14 | 5 | 45.68 | | | | | | | | | | | | |
| DIF0-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF0-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF1.5-01 | 327 | | | | 33 | 14 | 5 | 46.25 | | | | | | | | | |
| DIF1.5-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF1.5-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF2-01 | 387 | | | | | | | 33 | 14 | 5 | 54.73 | | | | | | |
| DIF2-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF2-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF2.5-01 | 437 | | | | | | | | | | 33 | 14 | 5 | 61.80 | | | |
| DIF2.5-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF2.5-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF3-01 | 507 | | | | | | | | | | | | | 33 | 14 | 5 | 71.70 |
| DIF3-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIF3-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Resultados Comparativos entre cada porcentaje de adición de nanosílice en las tejas de microconcreto

Tabla N° 83. Resultados Comparativos entre cada porcentaje de adición de nanosílice en las tejas de microconcreto

Tabla N° 84. Costo Unitario de teja sin adición de nanosílice *Tabla N° 85. Resultados Comparativos entre cada porcentaje de adición de nanosílice en las tejas de microconcreto*

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ensayo de Peso (% Variación de Peso) | 4.81 | 1.05 | 3.59 | 5.84 | 8.88 |
| Ensayo de Resistencia al impacto (g/cm) | 8800 | 13072 | 17429 | 21787 | 26144 |
| Ensayo de Durabilidad (% Pérdida de Peso) | 0.473 | 0.431 | 0.306 | 0.184 | 0.045 |
| Ensayo de Impermeabilidad (% Humedecimiento) | 85% | 50% | 45% | 40% | 10% |
| Ensayo de Resistencia a la flexión (kg) | 323 | 337 | 387 | 437 | 507 |
| Ensayo de Porosidad y Fisuración (N° Poros) | 8 | 5 | 3 | 3 | 0 |

Los resultados obtenidos del estudio de investigación, demuestran que el porcentaje óptimo de adición es el 3% de Nanosílice.

Comparación de costos unitarios entre tejas de microconcreto convencionales y tejas de microconcreto con adición de Nanosílice

La comparación se decidió realizar con el porcentaje de 3%, ya que fue el óptimo. Se hizo esta comparación de costos teniendo como referencia las cuadrillas del libro CAPECO [56]. El precio de los agregados, fibra de Pet y Nanosílice se calculó en cuanto a la experiencia propia, tomando los precios actuales del mercado.

Tabla N° 86. Costo Unitario de teja sin adición de nanosílice

| | | | Subtotal | 0.63 |
|-----------------------------------|---------------|------------|-----------------|------------|
| Materiales | | | | |
| Arena | m3 | 0.00069363 | 15 | 0.01040445 |
| Agua | m3 | 0.00021063 | 1.03 | 0.00021695 |
| Cemento Portland Tipo MS | bol | 0.00045395 | 34 | 0.0154343 |
| Fibra de Pet | m3 | 0.00018158 | 50 | 0.009079 |
| | | | Subtotal | 0.0351347 |
| Equipos | | | | |
| Molde para teja + lámina plástica | Und | 1 | 0.0005 | 0.0005 |
| Herramientas Manuales | % Mo | 3 | 0.63 | 0.0189 |
| | | | Subtotal | 0.0194 |
| Transporte a zona de colocación | | 0.00714286 | 20 | 0.14285714 |
| Costo total por unidad | 0.8224 | | | |

Tabla N° 89. Costo Unitario de teja con adición de nanosílice

Tabla N° 90. Clasificación de acuerdo a la magnitud
91. Costo Unitario de teja con adición de nanosílice

| | | | | | |
|--|---------------|---|-----------------|------------|------------|
| Operario | hh | 1 | 0.10000 | 6.25 | 0.6250 |
| | | | Subtotal | 0.63 | |
| Materiales | | | | | |
| Arena | m3 | | 0.00069363 | 15 | 0.01040445 |
| Agua | m3 | | 0.00021063 | 1.03 | 0.00021695 |
| Cemento Portland Tipo MS | bol | | 0.00045395 | 34 | 0.0154343 |
| Fibra de Pet | m3 | | 0.00018158 | 50 | 0.009079 |
| Nanosílice | lt | | 0.00013618 | 6.25 | 0.00085113 |
| | | | Subtotal | 0.03598582 | |
| Equipos | | | | | |
| Molde para teja + lámina plástica | Und | | 1 | 0.0005 | 0.0005 |
| Herramientas Manuales | % Mo | | 3 | 0.63 | 0.0189 |
| | | | Subtotal | 0.0194 | |
| Transporte a zona de colocación | | | 0.00714286 | 20 | 0.14285714 |
| Costo total por unidad | 0.8232 | | | | |

El análisis de costos unitarios para una teja sin adición de nanosílice y otra con su inclusión con el porcentaje óptimo del 3% revela un costo total de S/0.8224 y S/0.8232 por unidad,

respectivamente. Esta comparación muestra una diferencia de S/0.008, con la teja que incorpora nanosílice resultando ligeramente más costosa.

Comparación del impacto ambiental entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y con adición de Nanosílice.

Se utilizará la metodología de la "Matriz de Leopold", que es una de las varias metodologías disponibles

Matriz de Leopold

Considera todas las actividades del proyecto y los factores ambientales que podrían verse afectados. Al completar cada acción, se analizan los impactos significativos, marcando una diagonal en las celdas donde se cruza la acción con los factores ambientales. En cada intersección, se asignan dos valores numéricos: uno que representa la magnitud del impacto y otro que refleja su importancia. [57].

Magnitud

El nivel de modificación de la calidad ambiental de cada factor evaluado se indica en la parte superior izquierda de la matriz. Este se califica en una escala del 1 al 10, donde 1 representa el menor impacto y 10 el mayor. Se utilizan símbolos "+" para indicar efectos positivos y "-" para los negativos [57].

Tabla N° 92. Clasificación de acuerdo a la magnitud

Tabla N° 93. Clasificación de acuerdo a la importancia
Tabla N° 94. Clasificación de acuerdo a la magnitud

| | | |
|----|----------|-------|
| 3 | | Alta |
| 4 | Media | Baja |
| 5 | | Media |
| 6 | | Alta |
| 7 | Alta | Baja |
| 8 | | Media |
| 9 | | Alta |
| 10 | Muy Alta | Alta |

Tabla N° 101. Matriz de Leopold - Evaluación de Impactos Ambientales de tejas con adición de nanosílice

Tabla N° 102. Matriz de Leopold - Evaluación de Impactos Ambientales de tejas sin adición de nanosílice
Tabla N° 103. Matriz de Leopold - Evaluación de Impactos Ambientales de tejas con adición de nanosílice

| FACTORES | | MAGNITUD | | | | | | | | | | | | | | | | A | |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------|-----|-----|----|---|----|----|---|---|----|----|----|----|----|-----|-----|----|-----|
| | | IMPORTANCIA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | -8 | -11 | -6 | -2 | 4 | 1 | -2 | 4 | 4 | 0 | -2 | -1 | -3 | -3 | 20 | | | |
| | | 9 | 10 | 10 | 6 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | 5 | 7 | 7 | 7 | 15 | 42 | | | |
| PROMEDIO | | -13 | -22 | -10 | -8 | 8 | -1 | -2 | 8 | 8 | 1 | -3 | -1 | -3 | -6 | 122 | 78 | | |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Nivel de partículas en suspensión | -3 | -4 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -3 | -2 | -1 | -19 | 18 | -32 |
| | Emisión de gases | -3 | -5 | -4 | 0 | 0 | 0 | -4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | -17 | 8 | -30 |
| | Nivel de ruidos | -4 | -5 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -3 | 0 | 0 | -4 | -3 | -1 | -23 | 6 | -45 |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Uso de agua potable | 0 | 0 | -3 | -5 | 0 | -3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3 | -2 | 0 | 0 | 0 | -16 | 0 | -40 |
| | Arboles, arbustos y follaje | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4 | -6 | 5 | -30 |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Aves e insectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4 | -7 | -11 | 6 | -58 |
| | Animales terrestres | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | -2 | 1 | -2 |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Paisaje urbano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 9 | 6 | 54 |
| | Empleo | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 67 | 5 | 158 |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Calidad de vida y bienestar | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 9 | 6 | 54 |
| | Salud y Seguridad | -2 | -2 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | -2 | 0 | 5 | 9 | 4 | 6 | 49 |
| MAGNITUD | | -8 | -11 | -6 | -2 | 4 | 1 | -2 | 4 | 4 | 0 | -2 | -1 | -3 | -3 | 20 | | | |
| IMPORTANCIA | | 9 | 10 | 10 | 6 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | 5 | 7 | 7 | 7 | 15 | 42 | | | |
| PROMEDIO | | -13 | -22 | -10 | -8 | 8 | -1 | -2 | 8 | 8 | 1 | -3 | -1 | -3 | -6 | 122 | 78 | | |

Tabla N° 104. Matriz de Leopold - Evaluación de Impactos Ambientales de tejas sin adición de nanosílice

Tabla N° 105. Comparación de Evaluación de Impacto Ambiental entre tejas con y sin adición de Nanosílice
Tabla N° 106. Matriz de Leopold - Evaluación de Impactos Ambientales de tejas sin adición de nanosílice

| FACTORES | | MAGNITUD | | | | | | | | | | | | | | | | P | |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------|-----|---|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|
| | | IMPORTANCIA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | -8 | -11 | -6 | -2 | 4 | 1 | -2 | 4 | 4 | 0 | -2 | -1 | -3 | -3 | 14 | | | |
| | | 9 | 10 | 10 | 6 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | 5 | 7 | 7 | 7 | 15 | 39 | | | |
| PROMEDIO | | -13 | -22 | -8 | 8 | -1 | -2 | 8 | 8 | 1 | -3 | -1 | -3 | -6 | 65 | 31 | | | |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Nivel de partículas en suspensión | -3 | -4 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -3 | -2 | -1 | -18 | 17 | -31 | |
| | Emisión de gases | -3 | -5 | 0 | 0 | 0 | -4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | -19 | 6 | -22 | |
| | Nivel de ruidos | -4 | -5 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -3 | 0 | 0 | -4 | -3 | -1 | -22 | 16 | -44 | |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Uso de agua potable | 0 | 0 | -5 | 0 | -3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3 | -2 | 0 | 0 | 0 | -19 | 0 | -34 | |
| | Arboles, arbustos y follaje | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6 | -6 | 5 | -30 | |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Aves e insectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4 | -7 | -11 | 6 | -58 | |
| | Animales terrestres | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | -2 | 1 | -2 | |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Paisaje urbano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 5 | 35 | |
| | Empleo | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 62 | 5 | 148 | |
| FACTOR RES SOCIO VISUAL | Calidad de vida y bienestar | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 5 | 35 | |
| | Salud y Seguridad | -2 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | -2 | 0 | 5 | 9 | 4 | 6 | 34 |
| MAGNITUD | | -8 | -11 | -6 <td>-2</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>-2</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>0</td> <td>-2</td> <td>-1</td> <td>-3</td> <td>-3</td> <td>14</td> <td></td> <td></td> | -2 | 4 | 1 | -2 | 4 | 4 | 0 | -2 | -1 | -3 | -3 | 14 | | | |
| IMPORTANCIA | | 9 | 10 | 10 | 6 | 2 | 5 | 4 | 2 | 2 | 5 | 7 | 7 | 7 | 15 | 39 | | | |
| PROMEDIO | | -13 | -22 | -8 | 8 | -1 | -2 | 8 | 8 | 1 | -3 | -1 | -3 | -6 | 65 | 31 | | | |

En lo que corresponde a las tejas con adición de nanosílice, pudimos observar que la acción más agresiva fue “Obtención de fibra de Pet” con un valor de -22 y el componente ambiental más frágil fue el “Aves e insectos”, con un valor de -58. Así como también el impacto más negativo fue la “Colocación de las tejas” con respecto al componente ambiental “Aves e insectos”, y el impacto más positivo fue “Colocación de las tejas” con respecto a dos componentes ambientales “Calidad de vida y bienestar” y “Seguridad y Salud”.

En lo que corresponde a las tejas sin adición de nanosílice, pudimos observar que la acción más agresiva fue “Obtención de fibra de Pet” con un valor de -22 y el componente ambiental más frágil fue el “Aves e insectos”, con un valor de -58. Así como también el impacto más negativo fue la “Colocación de las tejas” con respecto al componente ambiental “Aves e insectos”, y el impacto más positivo fue “Colocación de las tejas” con respecto al componente ambiental de “Empleo”.

Tabla N° 107. Comparación de Evaluación de Impacto Ambiental entre tejas con y sin adición de Nanosílice

Tabla N° 108. Comparación de Evaluación de Impacto Ambiental entre tejas con y sin adición de Nanosílice

| | | | | |
|-----------------------------|--|----|---|----|
| Impacto más negativo | Colocación de las tejas con respecto al componente ambiental Aves e Insectos | -7 | Colocación de las tejas con respecto al combate ambiental Aves e Insectos | -7 |
| Impacto más positivo | Colocación de las tejas con respecto a dos componentes ambientales "Paisaje Urbano", "Calidad de vida y bienestar" y "Seguridad y Salud" | 9 | Colocación de las tejas con respecto al componente ambiental de "Empleo" | 8 |

Los resultados de la comparación de la evaluación de impacto demuestran que ambos tipos de tejas tienen un impacto ambiental similar. No obstante, las tejas con adición de nanosílice presentaron un impacto más positivo en la actividad de Colocación de tejas, en los indicadores de: Calidad de Vida y Bienestar y Seguridad y Salud, considerándose un valor de 9, debido a la mejora en las propiedades físicas y mecánicas que aporta la incorporación de nanosílice en la teja de microconcreto.

Plan Ambiental para Mejorar el Aprovechamiento de la Ceniza de Cáscara de Arroz en el Uso del Aditivo Nanosílice en Tejas de microconcreto

Objetivo

Mejorar el aprovechamiento sostenible de la ceniza de cáscara de arroz en la producción de nanosílice para su aplicación en la fabricación de tejas de microconcreto, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo una economía circular.

Problemática

En el sector industrial, la generación diaria de residuos plantea importantes desafíos ambientales. No obstante, el desarrollo de tecnologías innovadoras permite transformar estos residuos en recursos valiosos, como lo demuestra el aprovechamiento de la ceniza de cáscara de arroz para producir sílice amorfa de alta pureza. [58], la cual es el precursor más estudiado, ya que contienen más del 90% de sílice y una pequeña proporción de elementos metálicos, lo que las convierte en una fuente económica.

Según el INEI, en mayo de 2024, la producción de arroz cáscara alcanzó 524 mil 56 toneladas, volumen superior en 7,0% respecto a similar mes de 2023, incidiendo principalmente en este resultado los departamentos de La Libertad (40,0%), Lambayeque (11,1%) y San Martín (4,4%) los cuales concentraron el 71,7% del total nacional [59]. En Perú, el Ministerio de Agricultura y Riego reporta una producción anual de arroz de 2,476,407.8 toneladas, de las cuales el 25% corresponde a cascarilla de arroz, lo que equivale a 619,101.91 toneladas. De esta cantidad, el 90% se quema al aire libre, lo que provoca contaminación ambiental. En la región de Lambayeque, hay 98 industrias molineras de arroz que originan una de cascarilla de arroz, la cual no se aprovecha y contribuye al desperdicio y a la contaminación. [60].

Muchos desechos industriales, como las cáscaras de arroz, contienen sílice y se producen en cientos de millones de toneladas cada año. Estas cáscaras suelen quemarse para generar energía, mientras que sus cenizas suelen terminar en vertederos o rellenos sanitarios [61].

Durante la producción de arroz, la cáscara generada en los molinos se suele acumular en canteras. En muchos casos, estos residuos se queman, lo que afecta la calidad del aire. Cuando no son incinerados, se apilan y se descomponen gradualmente, liberando metano en la atmósfera. Sin embargo, la utilización de la cáscara como fuente de energía a través de su combustión ayudaría a reducir la contaminación. [62].

La acumulación de este residuo lo convierte en un contaminante ambiental, ya que sus desechos obstruyen los ríos, impidiendo el flujo normal de agua, y causan molestias a las comunidades cercanas a los molinos. Además, la falta de información sobre sus propiedades físico-químicas ha llevado a un uso inapropiado en alimentos balanceados. Diversos estudios han explorado opciones para un mejor aprovechamiento; ante esta situación, se propone una nueva alternativa basada en la extracción y uso del dióxido de silicio contenido en las cenizas de la cáscara de arroz tras ser sometida a altas temperaturas.[63].

La sílice se precipita al calentar las cenizas con HCl durante un tiempo prolongado. Posteriormente, el producto se lava con agua desionizada para eliminar el ácido. A continuación, se disuelve en hidróxido de sodio y se añade ácido sulfúrico hasta alcanzar un pH de 2, lo que facilita la precipitación de la sílice. Esta última se lava nuevamente con agua desionizada y se seca en un horno a 50 °C durante 48 horas. [51].

Integración en la Producción

Escalado Industrial: Escalar la producción de nanosílice a partir de ceniza de cáscara de arroz en plantas piloto, con miras a implementar procesos industriales más grandes. Se integrarán las cenizas obtenidas de las plantas arroceras cercanas para optimizar la logística y reducir costos.

Aplicación en Tejas de Microconcreto: Incorporar el nanosílice producido a partir de ceniza de cáscara de arroz como aditivo en la mezcla de microconcreto para tejas.

Mitigación del Impacto Ambiental

Reducción de Residuos Contaminantes: Al valorizarla, se reduce la quema al aire libre y la disposición en vertederos, mitigando la contaminación del aire y del suelo. Esto contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y residuos peligrosos.

Energía Sostenible: Aprovechar la biomasa restante de las cáscaras de arroz para la generación de energía térmica en las plantas productoras, creando un ciclo de producción más eficiente y sostenible.

Monitoreo y Evaluación

Evaluación del Ciclo de Vida: Implementar un análisis de ciclo de vida para comparar el impacto ambiental de las tejas de mortero con y sin aditivo de nanosílice. Esto incluirá la medición de emisiones, consumo energético y el uso de recursos renovables.

Seguimiento de Indicadores: Monitorear el uso eficiente de la ceniza de cáscara de arroz, la reducción de residuos y la huella de carbono en todo el ciclo de producción. Se establecerán indicadores clave para medir el éxito del plan ambiental.

Beneficios Ambientales

Reducción de Emisiones: Al evitar la quema no controlada de las cáscaras de arroz, se disminuyen las emanaciones de metano y CO₂.

Economía Circular: La reutilización de residuos agroindustriales para la producción de nanosílice promueve una economía más circular, donde los desechos son convertidos en recursos de valor. Busca reducir el impacto ambiental del procesamiento agrícola mediante la reutilización eficiente de residuos agroindustriales. Es importante señalar que un desarrollo de este tipo no ha sido implementado anteriormente en nuestro país. Por lo tanto, los procesos exitosos en este ámbito podrían ser adoptados rápidamente por otras regiones que también enfrentan esta problemática, lo que permitiría comerciar estas tecnologías de alta demanda con países productores de arroz en el exterior.

Mejoras en la Calidad del Aire y del Agua: Su procesamiento adecuado reduce la contaminación del aire y evita que los desechos sean arrojados a cuerpos de agua, mejorando la salud ambiental en las zonas rurales.

Implementación

Alianzas Estratégicas: Se fomentarán alianzas con molinos arroceros para garantizar un suministro continuo de cáscara de arroz, y con universidades e institutos de investigación para seguir optimizando el proceso.

Discusión

Según el objetivo general, diseñar tejas de microcemento adicionando el Nanosílice para optimizar sus propiedades físicas y mecánicas, los resultados obtenidos en la Tabla 30, evidencian que hubo una mejora en las propiedades evaluadas mediante los ensayos realizados, datos que al ser comparados con lo encontrado por Ruiz [9], en el artículo titulado “Optimización del concreto mediante la adición de nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa” quien concluyó que la nanosílice, gracias a su reacción puzolánica con la portlandita, forma gel C-S-H que reduce la porosidad y refina la microestructura del cemento, aumentando así su resistencia y disminuyendo la absorción de agua. Asimismo, la nanosílice mejora la compacidad del concreto, reduciendo su permeabilidad y disminuyendo hasta un 50% la penetración de agentes corrosivos, lo que incrementa su durabilidad. Con estos resultados se afirma que el Nanosílice afecta positivamente las tejas de microconcreto, además Cognoscible Technologies [54], indica que proporcionando refuerzos a nivel nanométrico fortalecen su estructura y le otorgan características superiores en comparación con el concreto tradicional.

Según el objetivo específico, caracterizar los materiales que forman parte en la elaboración de tejas de microconcreto con fibra de PET adicionando Nanosílice, los resultados obtenidos en las tablas 20, 21 y 22, reflejan el comportamiento de las tejas de microconcreto en cuanto a su fluidez, utilizando una proporción de mezcla de 1:1.5 y una relación agua/cemento de 0.47. Las convencionales alcanzaron un valor de fluidez del 104.17%, las reforzadas con fibra de PET mostraron una ligera reducción en la fluidez, con un valor de 101.67%. Al adicionar nanosílice en 1.5%, 2%, 2.5% y 3% se observó una mejora gradual en la fluidez a 103.33%, 103.89%, 104.44%, 104.72% respectivamente, registrando el 3% de nanosílice como el valor más alto; datos que al ser comparados con lo encontrado por Chávez [3] quien concluyó que en las tejas no es crucial la relación agua-cemento, sino la fluidez, ya que una mezcla poco fluida genera fisuras durante el moldeo, mientras que una mezcla demasiado fluida pierde su forma al asentarse, determinándose que una fluidez óptima del $100\% \pm 5\%$ es esencial para una buena trabajabilidad, asegurando la resistencia requerida y un desempeño satisfactorio. Con estos resultados se afirma que una buena caracterización de materiales y el incremento en la adición de nanosílice contribuye a una mejora en la fluidez.

Según el objetivo específico, estimar la proporción de Nanosílice que se adicionará al diseño de las tejas de microconcreto con fibra de Pet, los resultados obtenidos en la tabla 30 muestran

una comparación de lo obtenido entre las tejas de microconcreto convencionales y las tejas de microconcreto con adición de Nanosílice, siendo el óptimo el 3% utilizado. Datos que al ser comparados con lo encontrado por la investigación de León [12], donde se evaluaron los porcentajes de adición 1%, 1.5%, 2%, 3%, 5%, 7%; se concluyó que la dosis óptima de nanosílice para mejorar las propiedades del concreto autocompactante es hasta el 2%, ya que este porcentaje mejora significativamente la resistencia, mientras que dosis de 5% y 7% la disminuye, aunque se mantienen superiores al concreto sin nanosílice, favoreciendo además la trabajabilidad en concretos con relaciones bajas de agua/cemento. Con estos resultados se afirma que el incremento en la adición de nanosílice mejora significativamente las propiedades tanto del concreto como del microconcreto, alcanzando su óptimo en porcentajes moderados; no obstante, dosis excesivas provocan una disminución en la resistencia, aunque estas siguen siendo superiores en comparación con un microconcreto sin el aditivo. Además, según la ficha técnica de Ulmen hecha para el aditivo Gaia Nanosílice [49], afirma que la dosis de este aditivo debe ser considerada del 1 al 3% sobre el peso del cemento.

Según el objetivo específico, comparar el peso entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 26 demuestran que mientras más se aumenta el porcentaje de Nanosílice, el peso de la teja también incrementa. Siendo la teja más pesada de 1.522kg del grupo de adición de 3%, con un peso esperado de 1.390kg, teniendo un aumento del 9.5%. Datos que, al ser comparados con lo estudiado por Jaramillo [19], quien concluyó el peso se ve afectado de manera proporcional al porcentaje de fibra; es decir, a mayor contenido de fibra, mayor es el peso. Esto se confirma al comparar el peso de las muestras del grupo de control, que es inferior al de las muestras con adición de fibra. Con estos resultados se afirma que al añadirle algún material adicional a la teja de microconcreto, lógicamente su peso incrementará dependiendo del porcentaje de adición. Además, ambas investigaciones cumplen con los requerimientos establecidos de no superar el 10% del peso esperado establecido en el Manual para el Control de Calidad Elemento 23 S [41].

Según el objetivo específico, comparar la Porosidad y Fisuración entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 24 demuestran que las tejas con de nanosílice son superiores, ya que ha medido que el porcentaje de adición aumenta, estas presentan menos poros, siendo el porcentaje de 3% el más óptimo ya que no presente ningún poro con diámetro de 2mm. Estos que al ser comparados con lo encontrado por Jaramillo [19] quien concluyó que

la adición de fibra de polipropileno no altera la compactación, mezclado o vibrado aplicado al microconcreto, es decir no presentar mejoras ni deficiencias. Con estos resultados se afirma que las tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice son superiores, ya que ha medido que el porcentaje de adición aumenta, estas presentan menos poros y ausencia de fisuras.

Según el objetivo específico, comparar la Resistencia a la Flexión entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 29 demuestran que la Flexión a los 28 días presenta resultados óptimos, ya que todos superan por mucho la resistencia requerida. Es más, conforme la adición del aditivo aumenta, su resistencia igual, siendo la adición de 3% superior a las demás. Datos que al ser comparados con lo encontrado por Jaramillo [19] quien concluyó la adición de fibra de polipropileno por peso de hormigón mejora la resistencia a la flexión a los 28 días de las tejas de microconcreto, estableciéndose que el 0.05% es el mejor porcentaje de adición de fibra con relación al peso del concreto. Con estos resultados se afirma que las tejas de microconcreto con adición de nanosílice, especialmente con un 3%, presentan una resistencia a la flexión superior a las tejas convencionales, superando ampliamente la resistencia requerida a los 28 días confirmándose que la incorporación de aditivos, como la fibra de polipropileno o la nanosílice, mejora significativamente la resistencia a la flexión. Además, la ficha técnica de Ulmen hecha para el aditivo Gaia Nanosílice [49] indica que este aditivo aumenta en más del 50% la resistencia a la flexo- tracción, incremento del desarrollo de alta resistencia inicial y final y concreto con altas resistencias iniciales y finales.

Según el objetivo específico, comparar la Resistencia al Impacto entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 26 demuestran que todas las tejas cumplen con la resistencia especificada en el manual y a medida que la adición de Nanosílice aumenta, su resistencia al impacto también. Asimismo, se puede observar que la teja con adición de 3% de nanosílice es superior a las demás, resistiendo una distancia de caída de 60 cm. Datos que al ser comparados con lo encontrado por Jaramillo [19] quien concluyó que la adición de fibra de polipropileno mejora la calidad de la matriz o mortero para la fabricación de tejas, por lo que se cuenta con un material más resistente, pues tejas con espesores de 6 mm superan las pruebas de impacto que comúnmente se realizan a las tejas de 8 mm de espesor. Con estos resultados se afirma que la adición de un 3% de nanosílice en las tejas de microconcreto, además de

incorporar fibra de PET, mejora significativamente la resistencia al impacto, permitiendo que dichas tejas soporten mayores exigencias mecánicas comparadas con las tejas convencionales.

Según el objetivo específico, comparar la Impermeabilidad entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 28 demuestran que ninguna de las tejas presenta signos de goteo y conforme la adición de nanosílice incrementa, el humedecimiento disminuye, destacando el 3% de Nanosílice, las cuales presentan un humedecimiento aproximadamente de un 10%. Datos que al ser comparados con lo encontrado por Ruiz [9] quien concluyó que la adición de Nanosílice reduce progresivamente la permeabilidad del concreto, aumentando su densidad. Se observa una disminución de la penetración en un 50%, lo que hace que el concreto sea más compacto y resistente a la infiltración de agentes corrosivos. Con estos resultados se afirma que las tejas de microconcreto con adición de nanosílice, especialmente con un 3%, mejoran significativamente su comportamiento en términos de impermeabilidad, reduciendo el humedecimiento en comparación con las tejas convencionales, lo que las hace más adecuadas para su uso en zonas con fuertes lluvias. Adicionalmente, se confirma que la geometría de la teja, particularmente la altura de la onda, juega un papel clave en la reducción de la pérdida de impermeabilidad, siendo estas más eficientes que las tejas planas. Además, la ficha técnica de Ulmen hecha para el aditivo Gaia Nanosílice [49] indica que permeabilidad nula o casi nula, siendo considerado como beneficio su alta impermeabilidad.

Según el objetivo específico, comparar la Durabilidad entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET incorporando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 27 demuestran que conforme la adición de nanosílice aumenta, la variación de peso va disminuyendo, destacando el 3% de Nanosílice, teniendo una ínfima pérdida de peso. Asimismo, ninguna de las tejas presentó figuras. Datos que al ser comparados con lo encontrado por Chávez [3] quien concluyó que la evaluación de durabilidad baja la resistencia de las tejas, y según los ensayos realizados, se ha observado que mientras más gruesa sea la arena usada, menor será la pérdida de resistencia final. También se observó, que mientras mayor sea la altura de onda de la teja, menor será la pérdida de resistencia por dicho ensayo. Con estos resultados se afirma que la incorporación de un 3% de nanosílice en las tejas de microconcreto con fibra de PET mejora significativamente la durabilidad, presentando una mínima pérdida de peso tras los ensayos, lo que sugiere una mayor resistencia a las condiciones de deterioro en comparación con las tejas convencionales y tiende a reducir la resistencia de las tejas, siendo influenciada por factores como el grosor de la arena utilizada y la altura de onda

de la teja. Además, la ficha técnica de Ulmen hecha para el aditivo Gaia Nanosílice [49] indica que permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del concreto.

Según el objetivo específico, realizar un análisis económico comparativo entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET adicionando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 31 y 32 evidencian que para una teja sin adición de nanosílice y otra con su inclusión con el porcentaje óptimo del 3% revela un costo total de S/0.8224 y S/0.8232 por unidad, respectivamente, resultando la teja que incorpora nanosílice más costosa, datos que al ser comparados con lo encontrado por Chávez [3] quien concluyó que las tejas de este material son más económicas que las que se ofrece en el mercado local y de su similar de arcilla cocida. Con estos resultados se afirma que una teja de microconcreto con adición de Nanosílice es más económica que una de arcilla y ligeramente más costosa que una convencional, aunque sus mejoras significativas en sus propiedades justifican plenamente dicha inversión.

Según el objetivo específico, comparar el impacto ambiental entre tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y tejas de microconcreto con fibra de PET adicionando Nanosílice, los resultados obtenidos en la tabla 38, las tejas de microconcreto con adición de nanosílice demostraron un impacto superior, con una valoración de 9, debido a la mejora significativa en sus propiedades físicas y mecánicas, lo que favorece su desempeño en tres componentes clave del entorno ambiental: el paisaje urbano, la calidad de vida y bienestar, y la seguridad y salud. A pesar de presentar similitudes en otros aspectos ambientales con las tejas sin nanosílice, las tejas con este aditivo destacan por su impacto ambiental más favorable. Datos que al ser comparados con lo encontrado por Jaramillo [19] quien concluyó que generan un bajo impacto ambiental, lo que convierte a este tipo de tejas en una opción viable y recomendable para la construcción de viviendas, tanto desde el punto de vista social, técnico, económico como ambiental. Con estos resultados se afirma que el Nanosílice no solo mejora las propiedades mecánicas de las tejas de microconcreto, sino que también contribuye positivamente al entorno ambiental y al bienestar general. Además la ficha técnica de Ulmen hecha para el aditivo Gaia Nanosílice [49] quienes mencionan que este aditivos un líquido amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

CONCLUSIONES

Se diseñaron tejas de microconcreto con fibra de Pet adicionando Nanosílice para optimizar sus propiedades físicas y mecánicas mediante pruebas realizadas según la norma UNE EN 490, UNE EN 491 y el Manual para el Control de Calidad Elemento 23 S. Evidenciando una mejora evidente en sus propiedades, siendo la adición de un 3% es el porcentaje más óptimo mostrando los mejores resultados en todos los ensayos: redujo el humedecimiento al 10% y eliminó poros mayores a 2 mm, alcanzó una resistencia a la flexión de 507 kg (superando ampliamente los 200 kg exigidos por la norma, y una resistencia al impacto de 26,144 g/cm, frente al mínimo de 8,800 g/cm. Además, la durabilidad aumentó significativamente, presentando una mínima pérdida de peso de solo 0.045% tras cinco ciclos de exposición a sulfatos. Este diseño cumple con los requisitos normativos, mantiene un costo competitivo con una variación de solo S/ 0.0008 por unidad en comparación con las tejas convencionales, y presenta un impacto ambiental más favorable, lo que refuerza su idoneidad para aplicaciones constructivas exigentes.

Se caracterizaron los materiales que formaron parte de la elaboración de las tejas, determinando algunas de sus propiedades para su control de calidad. Para el agregado fino se obtuvo un contenido de humedad de 0.69%, un módulo de fineza de 2.465, un PUS de 1518 kg/m³, un PUC de 1697 kg/m³, un peso específico de 2.599 g/cm³ y una absorción de 0.31%. Para el cemento se identificó un peso específico de 2.93 g/cm³. Para la fibra de Pet se identificó una gravedad específica de 0.9 g/cm³. Para el Nanosílice se identificó una densidad de 1.030 g/ml. Asimismo, no se realizaron ensayos adicionales para determinar otras propiedades ya que fueron proporcionadas por sus respectivas fichas técnicas. Además, consecuente de la mezcla de los materiales se muestran el comportamiento de las tejas de microconcreto en cuanto a su fluidez, con una proporción de 1:1.5 y una relación agua/cemento de 0.47. Las tejas convencionales alcanzaron una fluidez de 104.17%, mientras que, al incorporar fibra de PET, este valor disminuyó ligeramente a 101.67%. Sin embargo, al añadir nanosílice, se observó una mejora progresiva: con un 1.5% de nanosílice, la fluidez fue de 103.33%; con un 2%, alcanzó 103.89%; con un 2.5%, subió a 104.44%; y con un 3%, se obtuvo el valor más alto de 104.72%. Estos resultados confirman que la adición de nanosílice incrementa la fluidez del material, favoreciendo su trabajabilidad y calidad en el proceso de fabricación.

Se estimó la proporción de Nanosílice necesaria para diseñar tejas de microconcreto, utilizando el 1,5%, 2%, 2.5%, 3% equivalente a 6.809ml, 9.079ml, 11.349ml y 13.618ml, respectivamente

por cada tipo de teja según su porcentaje de adición. Mediante los ensayos de laboratorio realizados, se determinó una cantidad de 490.26ml a lo largo de toda la investigación.

Se realizó una comparación entre el peso de tejas de microconcreto con fibra de Pet convencional y tejas de microconcreto con fibra de Pet incorporando Nanosílice, mediante el ensayo de Peso, donde se observa que, a mayor adición de este aditivo, la teja se vuelve más pesada, siendo la teja con 3% de adición la más preeminente. Como resultado obtuvimos que las variaciones de peso para la teja convencional y las adiciones de 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, fueron 4.81%, 1.05%, 3.59%, 5.84% y 8.88% respectivamente; cumpliendo con las especificaciones establecidas en el Manual para el Control de Calidad Elemento 23 S, donde indica que la variación máxima del valor de peso esperado es de 10%, garantizando un peso adecuado para las tejas.

Se realizó una comparación entre la porosidad y fisuración entre las tejas de microconcreto convencionales y aquellas que contienen adición de nanosílice, observándose una mejora considerable en las tejas con nanosílice en cuanto a la reducción del número y tamaño de poros. Ninguno de los grupos experimentales presentó poros con una profundidad superior a los 2 mm o un diámetro mayor a 5 mm, pero sí se evidenciaron diferencias notables en la cantidad de poros con diámetros mayores a 2mm; donde las convencionales mostraron un total de 8 poros con un diámetro de 2 mm, excediendo el límite máximo establecido por el Manual para el Control de Calidad Elemento 23 S, que permite hasta 6 poros de esta magnitud. Por su parte, las tejas con una adición de 1.5% presentaron una reducción con 5 poros, al aumentar el porcentaje de nanosílice al 2%, la cantidad de poros disminuyó a 3, este mismo número se mantuvo en las tejas con un 2.5% y finalmente las tejas con un 3% de adición no mostraron poros mayores a 2 mm de diámetro, cumpliendo así con los requisitos del cumpliendo con la normativa y posicionándose como la opción más óptima, siendo el más efectivo para reducir la porosidad en las tejas de microconcreto, mejorando sustancialmente la calidad del producto.

En esta investigación, se observó un incremento notable en la resistencia a la flexión de las tejas de microconcreto conforme se incrementaba el porcentaje de nanosílice en su composición. El porcentaje más óptimo resultó ser el de 3%, alcanzando una resistencia a la flexión de 507 kilogramos, lo cual supera ampliamente el mínimo de resistencia exigido por la normativa UNE, que establece un valor de 200 kilogramos como requisito. Este resultado es significativo, ya que indica que el uso de un 3% de nanosílice en la mezcla no solo garantiza el cumplimiento de los estándares técnicos, sino que ofrece una mejora considerable en la capacidad de las tejas

para resistir cargas de flexión. Esta mayor resistencia sugiere una mayor durabilidad y mejor comportamiento estructural, lo que reduce el riesgo de fisuras o fracturas bajo cargas externas, haciendo a las tejas más adecuadas para entornos de uso exigentes. En resumen, la incorporación de nanosílice en un porcentaje del 3% en las tejas de microconcreto optimiza su resistencia a la flexión de manera notable, posicionándolas muy por encima de los valores mínimos requeridos por las normas. Este hallazgo refuerza la utilidad de la nanosílice como un aditivo que no solo mejora las propiedades mecánicas de las tejas, sino que también garantiza un producto final más resistente y confiable para diversas aplicaciones constructivas.

En esta investigación, se observó un notable incremento en la resistencia al impacto de las tejas de microconcreto conforme se incrementaba el porcentaje de nanosílice en su composición. Los resultados indican que el porcentaje del 3% de nanosílice fue el más óptimo, mostrando un desempeño superior en comparación con los demás grupos experimentales. Todas las tejas evaluadas lograron cumplir con la resistencia mínima requerida de 8,800 gramos por centímetro, establecida como el umbral de carga de impacto según las normativas vigentes. Sin embargo, la teja con un 3% de nanosílice mostró una resistencia significativamente mayor, alcanzando un valor de 26,144 gramos por centímetro, lo que refleja una considerable mejora en su capacidad de soportar impactos. Este incremento en la resistencia al impacto es particularmente relevante para la durabilidad y el comportamiento estructural de las tejas en condiciones de uso. Aunque todas las tejas cumplieron con los requisitos mínimos especificados en el manual técnico, el rendimiento sobresaliente del grupo con 3% de nanosílice sugiere que esta proporción es la más adecuada para garantizar una resistencia óptima frente a impactos, lo que puede traducirse en una mayor vida útil y menor susceptibilidad a daños por factores externos. En conclusión, el uso de un 3% de nanosílice no solo garantiza el cumplimiento de las normativas, sino que ofrece ventajas significativas en términos de resistencia estructural, posicionándose como la proporción más recomendable para aplicaciones donde la resistencia al impacto es un factor crítico. Este hallazgo abre nuevas oportunidades para la optimización del diseño de las tejas, mejorando su rendimiento sin comprometer su eficiencia material.

Se realizó una comparación de impermeabilidad entre las tejas de microconcreto convencionales y aquellas con la adición de nanosílice, observándose que ninguno de los grupos experimentales presentó goteo, las diferencias más notables se manifestaron en el porcentaje de área humedecida, donde se concluyó que a mayor adición de nanosílice, la capacidad de humedecimiento disminuía significativamente, evidenciando una mejora en la impermeabilidad. Las tejas de microconcreto convencionales mostraron un humedecimiento

considerable, cubriendo el 85% de su área total, excediendo el límite del Manual para el Control de Calidad Elemento 23 S. Al incorporar nanosílice, este porcentaje se redujo progresivamente: con una adición de 1.5%, el área de humedecimiento fue del 50%; mientras que con un 2%, este porcentaje descendió al 45%; con 2.5% de nanosílice bajó a 40% y finalmente con un 3% de adición presentaron un humedecimiento poco apreciable, alcanzando solo un 10%; lo que las posiciona como las más eficientes en términos de impermeabilidad, demostrando una clara superioridad frente a las tejas convencionales y aquellas con menores porcentajes de nanosílice, constituyendo una referencia sólida para futuras aplicaciones en las que se busca maximizar la resistencia al agua y reducir la vulnerabilidad frente a la humedad.

Se realizó una comparación entre la durabilidad de las tejas de microconcreto convencionales y las tejas con adición de nanosílice, sometiéndolas a ensayos de exposición a sulfatos durante cinco ciclos, donde se observó que ningún grupo experimental presentó fisuras, lo que indica una buena resistencia estructural, se observó una pérdida de peso en todas las tejas debido al contacto con los sulfatos, lo que evidencia el desgaste provocado por estos agentes externos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: las tejas de microconcreto convencionales presentaron una pérdida de peso del 0.473%, las tejas con un 1.5% de nanosílice redujeron esta pérdida a un 0.431%, al incrementar la cantidad de nanosílice al 2%, la pérdida de peso se redujo aún más, alcanzando un 0.306%, con un 2.5% de nanosílice, la pérdida fue del 0.184%, y las tejas con un 3% de nanosílice presentaron la menor pérdida de peso, con un valor mínimo de 0.045%. Estos resultados demuestran que la durabilidad de las tejas de microconcreto ha mejorado. A medida que aumenta el porcentaje de nanosílice, la pérdida de peso disminuye, lo que sugiere una mayor resistencia frente a los procesos de deterioro causados por agentes químicos como los sulfatos. En particular, el porcentaje de 3% de nanosílice resultó ser el más óptimo, ya que presentó la menor pérdida de peso, lo que implica una mayor capacidad de resistencia al desgaste y una mayor durabilidad a largo plazo. En conclusión, no solo optimiza la resistencia de las tejas frente a factores ambientales agresivos, sino que también contribuye a prolongar su vida útil.

Se comparó el costo que implica fabricar tejas de microconcreto con fibra de Pet convencional y tejas de microconcreto con fibra de Pet incorporando Nanosílice con un porcentaje óptimo de 3%; el cual es de S/ 0.8232 por unidad, mientras que el de una convencional es de S/ 0.8224 por unidad con una variación de S/0.0008 equivalente al 0.097% correspondiente únicamente al costo del Nanosílice.

Se realizó una comparación de impacto ambiental entre las tejas de microconcreto con fibra de PET convencional y aquellas con la incorporación de nanosílice, donde se determinó que ambos tipos de tejas presentan impactos ambientales similares en términos generales. Sin embargo, las tejas con adición de nanosílice destacaron por un impacto más favorable en los componentes de: “calidad de vida y bienestar”, “seguridad y salud” y “paisaje urbano”; siendo valoradas con una magnitud de 9; esto debido a la mejora en las propiedades que aporta la incorporación de nanosílice en la teja de microconcreto.

RECOMENDACIONES

En cuanto a la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del Nanosílice, se recomienda llevar a cabo un conjunto completo de ensayos especializados que permitan evaluar sus características en profundidad. Estos ensayos deben incluir estudios como la microscopia electrónica, que ofrecerá detalles sobre la estructura interna y la distribución de partículas, así como pruebas de resistencia mecánica, absorción, y durabilidad del material; lo que asegura su uso eficiente y sostenible no solo en las tejas de microconcreto, sino en otras aplicaciones a materiales de construcción.

Se recomienda para posteriores investigaciones incorporar mayores proporciones de Nanosílice de los experimentados en la presente (1.5%, 2%, 2.5% y 3%), ya que a mayor porcentaje de este aditivo obtuvimos mejores resultados, asimismo permitiría obtener una visión más completa sobre los efectos de la adición de Nanosílice, ofreciendo información valiosa para futuras investigaciones y permitiría ajustar los porcentajes de adición según los requisitos y características de la teja.

Con respecto al ensayo de peso, es recomendable realizar un cálculo preciso de las cantidades de materiales necesarios para la fabricación de las tejas de microconcreto con adición de nanosílice. Este control detallado permitirá evitar exceder el límite de variación de peso estipulado según la normatividad. Un cálculo inexacto, ya sea por exceso o insuficiencia de material, podría generar inconsistencias en el peso final de las tejas, lo que afectaría sus propiedades físicas y mecánicas, así como su desempeño estructural.

En relación a la evaluación de porosidad y fisuración, se recomienda prestar especial atención a la compactación y al proceso de mezclado, tanto en las tejas de microconcreto convencionales como en aquellas con adición de nanosílice. La presencia de fisuras o poros no solo está relacionada con la cantidad de nanosílice utilizada, sino también con la calidad del proceso de fabricación. Aunque se emplee una alta proporción de nanosílice, una compactación deficiente puede generar fallas significativas en este aspecto. Por lo tanto, es esencial asegurar una correcta compactación para optimizar las propiedades mecánicas de las tejas.

En lo que respecta a la evaluación de la resistencia a la flexión, se recomienda que para futuras investigaciones se explore la posibilidad de reducir el espesor de la teja, ya que esta variable podría tener un impacto significativo en su capacidad de resistencia. La presente investigación ha mantenido un espesor estándar comercial en las tejas de microconcreto con nanosílice, Se

recomienda, por tanto, continuar con el enfoque de esta investigación, empleando las mismas proporciones de nanosílice, pero con una reducción en el espesor de la teja, con el fin de evaluar si este nuevo diseño aún cumple con los requisitos mínimos de resistencia especificados por las normativas vigentes. Este tipo de evaluación permitiría identificar posibles oportunidades de optimización en el diseño de las tejas, buscando una mayor eficiencia en el uso de materiales sin comprometer su resistencia estructural. Es importante mantener constantes otros factores, como la altura de la onda y la proporción de nanosílice, para que la única variable modificada sea el espesor. Además, la reducción del espesor podría también contribuir a una reducción en el peso de la teja, lo cual sería beneficioso tanto en términos de manejo y transporte como en la economía de material.

En lo que respecta a la evaluación de la resistencia a la flexión, en la presente investigación se ha utilizado un espesor estándar comercial en las tejas de microconcreto con nanosílice. Por lo tanto, se recomienda que futuras investigaciones exploren la posibilidad de reducir el espesor de la teja, ya que esta variable tiene un impacto significativo en su capacidad de resistencia; continuando con el mismo enfoque, pero reduciendo el espesor para evaluar si este nuevo diseño sigue cumpliendo con los requisitos mínimos de resistencia especificados por las normativas vigentes, ofreciendo oportunidades para optimizar el diseño de las tejas, mejorando la eficiencia en términos de manejo, transporte y economía de materiales sin comprometer su resistencia estructural. Es crucial mantener constantes otros factores, como la altura de la onda y la proporción de nanosílice, de modo que la única variable modificada sea el espesor, lo que permitirá aislar el impacto de la reducción del espesor sobre la resistencia a la flexión y obtener resultados más precisos.

Respecto al ensayo de resistencia al impacto, se recomienda que en futuras investigaciones se realice una identificación minuciosa de cada tipo de falla que presenten las tejas de microconcreto fracturadas como consecuencia del impacto. Esta metodología permitirá contar con un informe más completo y exhaustivo sobre la resistencia al impacto de las tejas, lo que no solo facilitará una mejor comprensión de su comportamiento estructural, sino que también proporcionará información valiosa para mejorar el diseño y los materiales utilizados en su fabricación.

En lo que respecta al ensayo de impermeabilidad, se recomienda realizar una evaluación más precisa y técnica de la zona humedecida mediante el uso de herramientas especializadas para mediciones exactas. En la presente investigación, la estimación del área afectada por humedad

se ha llevado a cabo de manera visual, empleando porcentajes aproximados, en intervalos de diez unidades. Si bien este enfoque ha proporcionado una evaluación general de la zona afectada, su precisión podría ser significativamente mejorada mediante el uso de instrumentos de medición específicos, como cinta métrica, medidores láser o sistemas de escaneo digital. Implementar este tipo de herramientas permitiría obtener datos cuantitativos más exactos, eliminando el margen de error inherente a las evaluaciones visuales. Esto no solo mejoraría la fiabilidad de los resultados, sino que también proporcionaría información más detallada y precisa para futuras investigaciones o trabajos relacionados con la impermeabilidad de las tejas de microconcreto.

Respecto al ensayo de durabilidad, se realizó una evaluación simulada de la exposición a la intemperie, empleando sulfatos para reproducir los efectos del hielo y deshielo en las tejas. Este método permitió obtener resultados representativos sobre el comportamiento de las tejas de microconcreto frente a condiciones climáticas adversas, sin embargo, para futuras investigaciones se recomienda emplear una cámara frigorífica para someter las tejas a ciclos controlados de congelación y descongelación, con el fin de evaluar de manera más directa y rigurosa la resistencia al hielo y deshielo. Este enfoque permitiría simular de forma más realista las condiciones climáticas a las que pueden estar expuestas las tejas en zonas geográficas con bajas temperaturas, mejorando así la precisión en la evaluación de la durabilidad del material.

Se recomienda que al determinar el costo que implica fabricar tejas de microconcreto con fibra de Pet incorporando Nanosílice, se tome en cuenta el costo de transporte dependiendo del lugar en el que se van utilizar las tejas, ya que este precio varía dependiendo de la distancia. Además, realizar un sistema de control de calidad en cada etapa de la producción para minimizar el desperdicio de materiales y evitar rehacer piezas defectuosas, lo que incrementa los costos.

En cuanto al impacto ambiental, se recomienda, en la medida de lo posible, optar por la generación manual de la fibra de PET, evitando el uso de maquinaria que podría incrementar significativamente la huella ambiental del proceso. La producción manual de la fibra no solo reduce el consumo energético y las emisiones asociadas, sino que también minimiza los residuos generados, contribuyendo a un enfoque más sostenible en la fabricación. Asimismo, se sugiere fomentar el uso de ceniza de cáscara de arroz como materia prima para la elaboración de nanosílice, lo que promovería un modelo de economía circular. Este enfoque no solo permitiría aprovechar un subproducto agroindustrial que de otro modo podría convertirse en

residuo, sino que también aportaría beneficios ambientales al reducir la necesidad de materias primas vírgenes.

REFERENCIAS

- [1] M. Valdivia, «Cómo afecta el cambio climático al Perú y cómo enfrentarnos al nuevo escenario», *El Búho*. Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elbuho.pe/2021/12/como-afecta-el-cambio-climatico-al-peru-y-como-enfrentarnos-al-cambio/>
- [2] Redacción EC, «Estas son las 20 REGIONES donde habrá intensas lluvias, según SENAMHI», *El Comercio*, Lima, 25 de octubre de 2023. Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/respuestas/trends/cuales-son-las-20-regiones-donde-habra-fuertes-lluvias-segun-senamhi-tdpe-noticia/?ref=ecr>
- [3] D. Y. Chávez Rojas, «Estudio de tejas de microcemento e implementación de un taller de producción», Universidad Nacional de Ingeniería, 2014. Accedido: 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3278>
- [4] Hangzhou WeiXing Building Materials Machinery Co., Ltd, «Ventajas y desventajas de las tejas de hormigón - Exposición - Hangzhou WeiXing Building Materials Machinery Co., Ltd», 2022. Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.hzwxjx.net/info/advantages-and-disadvantages-of-concrete-roof-72283497.html>
- [5] Arquitectos Sen Fronteiras, «FICHA TÉCNICA: SISTEMA CONSTRUCTIVO DE TEJAS DE MICRO-CONCRETO (TMC)». Accedido: 11 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/417903189/fichas>
- [6] M. Meléndez, O. Espinosa, K. Rhyner, y M. Noboa, *Un techo que cubre al mundo*. EcoSur, 2004.
- [7] «💡 Ventajas y desventajas de los aditivos del concreto - proscnt.com», PROSCONT.COM. Accedido: 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.proscnt.com/ventajas-y-desventajas-de-los-aditivos-del-concreto/>
- [8] E. Galeote Moreno, «Influencia de la nanoslice sobre las características de un microhormigón de ultra alta resistencia», Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2012. Accedido: 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16558>
- [9] P. W. Caballero Arredondo, C. A. Damiani Lazo, Á. A. Ruiz Pico, P. W. Caballero Arredondo, C. A. Damiani Lazo, y Á. A. Ruiz Pico, «Optimización del concreto mediante la adición de nanoslice, empleando agregados de la cantera de añashuayco de arequipa», *Revista ingeniería de construcción*, vol. 36, n.º 1, pp. 71-87, abr. 2021, doi: 10.4067/S0718-50732021000100071.
- [10] D. Quenta, «EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO NORMAL», *Revista de Investigaciones*, vol. 9, pp. 122-133, may 2022, doi: 10.26788/riepg.v9i3.1734.
- [11] M. A. Chileno Yachi, «Relación del aditivo nanosilice en la resistencia del concreto en la Urbanización Chorrillos - Ciudad de Huancayo, 2016», Universidad Peruana Los Andes, 2017. Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPLA_47f9e171e4a45c41a5f74cf7c87afb7c/Details
- [12] C. R. Leon Arzapalo, «Las partículas de nanoslice y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en la ciudad de Huancayo - 2017», *Universidad Continental*, 2018, Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5121>
- [13] D. R. I. García Aguilar, «Elaboración de tejas de microcemento a base de agregado reciclado - Chosica 2019», *Repositorio Institucional - UCV*, 2019, Accedido: 26 de

- octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49936>
- [14] J. I. Tobón, O. J. R. Baena, y J. J. P. Bernabeu, «ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS AL CEMENTO PORTLAND», *DYNA*, vol. 74, n.º 152, Art. n.º 152, may 2007.
- [15] H. Li, H. Xiao, J. Yuan, y J. Ou, «Microstructure of cement mortar with nano-particles», *Composites Part B: Engineering*, vol. 35, n.º 2, pp. 185-189, mar. 2004, doi: 10.1016/S1359-8368(03)00052-0.
- [16] D. Duarte, «Efecto de la adición de nanosílice en cementos y concretos», mar. 2013.
- [17] Ali Nazari y Shadi Riahi, «The effects of SiO₂ nanoparticles on physical and mechanical properties of high strength compacting concrete», 2011, [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836810001666>
- [18] M. Stefanidou y I. Papayianni, «Influence of nano-SiO₂ on the Portland cement pastes», *Composites Part B: Engineering*, vol. 43, n.º 6, pp. 2706-2710, sep. 2012, doi: 10.1016/j.compositesb.2011.12.015.
- [19] W. E. Jaramillo Sangurima, «Desarrollo de tecnología para la fabricación de tejas de microconcreto.», masterThesis, 2010. Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/13597>
- [20] Aceroform, «¿Qué son las tejas y sus principales aplicaciones?» Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.aceroform.com.mx/blog/teja-cobertura-y-estilo-en-un-solo-material/>
- [21] Arregla, «Tipos de tejas para techos: Guía completa y recomendaciones», RemodRemodelación de apartamentoselación de apartamentos. Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://arregla.co/tipos-de-tejas-para-techos/>
- [22] Multimap, «6 tipos de tejas: usos, materiales y formas», Como cuidar tu hogar. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.multimap.es/blog/post/tipos-de-tejas-usos-materiales-y-formas>
- [23] ArchDaily, «Guía de techos: 26 tipos de tejas, chapas y membranas para cubrir proyectos de arquitectura», ArchDaily Perú. Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.archdaily.pe/pe/890692/guia-de-techos-26-tipos-de-tejas-chapas-y-membranas-para-cubrir-proyectos-de-arquitectura>
- [24] promart, «Teja artesanal de arcilla curvo Naranja 0.14x0.33mxmm Nacional». Accedido: 2 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.promart.pe/teja-artesanal-de-arcilla-curvo-naranja-0-14x0-33mxmm-nacional/p>
- [25] C. I. Ponce Martínez y J. H. Moreno Useche, «Microconcreto usos, propiedades, teorías y métodos.», bachelorThesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2006. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/1078>
- [26] R. Cosquiere, «¿Qué es un mortero? | Tipos de mortero», BECOSAN®. Accedido: 23 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.becosan.com/es/que-es-un-mortero/>
- [27] admin, «¿Qué es un mortero y cómo funciona?», Niasa México. Accedido: 23 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://niasa.com.mx/que-es-un-mortero/>
- [28] Carlos Cárdenas y Belén Chávez, «Teja de microconcreto: INFORMACIÓN GENERAL», Teja de microconcreto. Accedido: 11 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://tejamicroconcreto.blogspot.com/2014/12/la-teja-de-microconcreto-un-elemento-de.html>
- [29] «NTP 334.147: CEMENTOS. Cemento para mortero. Requisitos».
- [30] R. Cosquiere, «Cemento Portland: ¿Qué es? Usos, Historia y Tipos | BECOSAN», BECOSAN®. Accedido: 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.becosan.com/es/cemento-portland/>

- [31] Torres A., *CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO PARA INGENIEROS CIVILES*. 2004. Accedido: 15 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/9191423/CURSO_BASICO_DE_TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO_PARA_INGENIEROS_CIVILES
- [32] «NTP 400.011: Agregados. Definición y Clasificación de agregados para uso de morteros y hormigones (concretos)».
- [33] «NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global».
- [34] «NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.»
- [35] «NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados».
- [36] «Ntp 400.022: Peso Especifico y Absorción del Agregado Fino».
- [37] «La proporción de cemento y arena para mortero: guía completa - Polaridad.es». Accedido: 15 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://polaridad.es/proporcion-cemento-arena-para-mortero/>
- [38] «NTP 334.057: Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland».
- [39] «Tejas de micro concreto TMC (mortero vibrado)». Accedido: 14 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cd3wdproject.org/CONMATES/SK01MSOL.HTM>
- [40] «NTP 400.016: Determinación De La Inalterabilidad De Los Agregados Por Medio De Sulfato De Sodio O Sulfato De Magnesio».
- [41] CECAT, «MANUAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE TEJAS DE MICROCONCRETO». SKAT, 2002.
- [42] CEN/TC, «NORMA UNE EN 490 y 491». CEN, 2011.
- [43] Wordfly, «FICHA TÉCNICA PET».
- [44] S. P. Kusumocahyo, S. K. Ambani, S. Kusumadewi, H. Sutanto, D. I. Widiputri, y I. S. Kartawiria, «Utilization of used polyethylene terephthalate (PET) bottles for the development of ultrafiltration membrane», *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, n.º 6, p. 104381, dic. 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.104381.
- [45] M. Z. Naser, R. A. Hawileh, y J. A. Abdalla, «Fiber-reinforced polymer composites in strengthening reinforced concrete structures: A critical review», *Engineering Structures*, vol. 198, p. 109542, nov. 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.109542.
- [46] Z ADITIVOS, «Ficha técnica de Fibra de Polietileno».
- [47] Enrique Rivva López, *Concretos de Alta Resistencia*, Tercera. Instituto de la Construcción y Gerencia, 2012. Accedido: 8 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://civilarq.com/libro/concretos-de-alta-resistencia-enrique-rivva-lopez-libro-pdf/>
- [48] H. Brace y E. Garcia-Taengua, «Superplasticizer-Nanosilica Compatibility: Assessment and Optimization.», *ACI Materials Journal*, vol. 116, n.º 2, pp. 95-104, mar. 2019.
- [49] Ulmen, «Ficha técnica Gaia Nanosílce». Industrias Ulmen S.A., 2019. Accedido: 8 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ulmen.cl/>
- [50] G. Quercia y H. J. H. Brouwers, «Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures», 2010.
- [51] I. Ab Rahman y V. Padavettan, «Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-Dependent Properties, Surface Modification, and Applications in Silica-Polymer Nanocomposites—A Review», *Journal of Nanomaterials*, vol. 2012, may 2012, doi: 10.1155/2012/132424.
- [52] «Construcción y Tecnología en Concreto». Accedido: 22 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.imcyc.com/revistacyt/oct10/tecnologia.htm>

- [53] P. Mehta y P. J. M. Monteiro, *Concrete : Microstructure, Properties, and Materials: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw Hill Professional, 2005.
- [54] Cognoscible Technologies, «Gaia nanoproducto - Aditivo Nanosílice». Cognoscible Technologies. Accedido: 10 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-santo-toribio-de-mogrovejo/tecnologia-del-concreto/gaia-nanoproducto-aditivo-nanosilice/69656781>
- [55] PACASMAYO, «FICHA INFORMATIVA CEMENTO FORTIMAX».
- [56] CAPECO, *Costos y Presupuestos en Edificación*.
- [57] C. F.-V. VICENTE, *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Ediciones Mundi-Prensa, 2009.
- [58] «Aprovechan la cáscara de arroz para generar sílice y energía térmica». Accedido: 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.unl.edu.ar/noticias/news/view/aprovechamiento_de_la_c%C3%A1scara_de_arroz_para_la_generaci%C3%B3n_de_s%C3%ADlice_y_energ%C3%ADa_t%C3%A9rmica_1
- [59] «Producción de arroz cáscara creció 7,0% a nivel nacional y tres departamentos concentraron el 71,7% durante mayo de 2024». Accedido: 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/993795-produccion-de-arroz-cascara-crecio-7-0-a-nivel-nacional-y-tres-departamentos-concentraron-el-71-7-durante-mayo-de-2024>
- [60] «Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego». Accedido: 16 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/midagri/buscador?term=molineras+arroz&institucion=midagri&topic_id=&contenido=&sort_by=none
- [61] S. TI, «Sílice hecha de ceniza de cáscara de arroz!», biO3. Accedido: 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bio3consultoria.com.br/silica-feita-a-partir-de-cinzas-de-cascas-de-arroz/>
- [62] Verónica Psetizki, «Energía eléctrica con cáscara de arroz», BBC News Mundo. Accedido: 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2009/11/091110_1500_cambio_clima_biomasa_wbm
- [63] B. T. del M. Inoñan Monge y M. A. Vega Bustamante, «Obtención de dióxido de silicio vía calcinación de la cascarilla de arroz como alternativa para reducir costos en la elaboración del cemento Portland», *Repositorio Institucional - USS*, 2012, Accedido: 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/1673>

ANEXOS

ANEXO N°1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL NANOSILICE EN LAS TEJAS DE MICROCONCRETO"

| Formulación del problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Dimensiones | Indicadores | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | |
|--|--|--|---|--|--|--|---|
| ¿La adición del nanosilice mejorará las propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto? | OBJETIVO GENERAL Diseñar tejas de microconcreto adicionando el aditivo GAIA Nanosilice para optimizar sus propiedades físicas y mecánicas. | | VARIABLE INDEPENDIENTE La adición de nanosilice | ... | Proporción de nanosilice en relación al peso del cemento | TÉCNICAS | |
| | OBJETIVOS ESPECÍFICOS O1: Caracterizar los materiales que forman parte en la elaboración de tejas de microconcreto adicionando GAIA Nanosilice. O2: Estimar la proporción de aditivo GAIA Nanosilice para diseñar las tejas de microconcreto O3: Evaluar el peso de tejas de microconcreto con el aditivo GAIA Nanosilice incorporado | | | | Propiedades mecánicas | Resistencia a la flexión Resistencia al impacto | Observación directa Las dimensiones de la variable independiente: La influencia de la adición del Nanosilice y la variable dependiente: Propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto, fueron medidas utilizando métodos de medición directa mediante pruebas de laboratorio sin modificar las características de las subvariables de estado. |
| | O4: Evaluar la Porosidad y Fisuración a la flexión de tejas de microconcreto incorporando el aditivo GAIA Nanosilice. | La adición del aditivo GAIA Nanosilice brindará una mejora tanto a las propiedades físicas como mecánicas de las tejas de microconcreto. | | VARIABLE INDEPENDIENTE Propiedades físicas y mecánicas de las tejas de microconcreto | | Peso | Fichas técnicas Se utilizaron fichas técnicas para registrar los datos realizados a cada uno de los ensayos hechos a las tejas de microconcreto, al agregado fino y al diseño de mezcla realizado con la incorporación del nanosilice. |
| | O5: Evaluar la Resistencia a la flexión de tejas de microconcreto incorporando el aditivo GAIA Nanosilice. O6: Evaluar la Resistencia al impacto de tejas de microconcreto incorporando el aditivo GAIA Nanosilice. O7: Evaluar la Permeabilidad de tejas de microconcreto incorporando el aditivo GAIA Nanosilice. O8: Comparar una teja de microconcreto adicionando el aditivo GAIA Nanosilice con una convencional O9: Determinar el costo que implica la elaboración de tejas de microconcreto incorporando el aditivo GAIA Nanosilice. | | | | Propiedades Físicas | Impermeabilidad Porosidad y fisuración | INSTRUMENTOS Los instrumentos utilizados en la investigación principalmente incluyeron los requisitos establecidos por el Manual para el Control de Calidad Elementos 23 S de tejas de microconcreto. Estos requerimientos se emplearon en la realización de los ensayos de laboratorio especificados. |

ANEXO N°2: FICHAS TÉCNICAS

Cemento Fortimax

Tipo MS (MH) - Cemento Hidráulico de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación

Requisitos normalizados - NTP 334.082 / ASTM C1157

REQUISITOS FÍSICOS

| ENSAYOS | TIPO | VALOR | UNIDAD | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADOS* |
|--------------------------------------|--------|----------------|--------------------|------------------|----------------|
| Finura | | | | | |
| Superficie específica | - | - | cm ² /g | NTP 334.002 | 5150 |
| Retenido M325 | - | - | % | NTP 334.045 | 1.9 |
| Densidad | - | - | g/cm ³ | NTP 334.005 | 2.93 |
| Contenido de aire | Máximo | 12 | % | NTP 334.048 | 5 |
| Expansión en autoclave | Máximo | 0.80 | % | NTP 334.004 | 0.03 |
| Resistencia a la compresión | | | | | |
| 3 días | Mínimo | 11.0 (1600) | MPa (psi) | NTP 334.051 | 21.7 (3150) |
| 7 días | Mínimo | 18.0 (2610) | MPa (psi) | NTP 334.051 | 29.7 (4310) |
| 28 días** | Mínimo | 28.0 (4060) | MPa (psi) | NTP 334.051 | 41.4 (6010) |
| Tiempo de Fraguado Vicat | | | | | |
| Fraguado inicial | Mínimo | 45 | Minutos | NTP 334.006 | 181 |
| Fraguado final | Máximo | 420 | Minutos | NTP 334.006 | 292 |
| Expansión Barra de mortero a 14 días | Máximo | 0.020 | % | NTP 334.093 | 0.005 |
| Expansión por sulfatos a 6 meses | Máximo | 0.10 | % | NTP 334.094 | 0.03 |
| Calor de hidratación a 3 días | Máximo | 335 | kJ/kg | NTP 334.171 | 252 |

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos de la NTP 334.082 y la ASTM C1157.



GAIA Nanosilíce

Adicionante de cemento para concretos
De altas prestaciones

Fecha de Emisión: Mar 20, 05
Revisión: 14
Fecha de Revisión: Oct 7, 09
Página: 1 de 1

Industrias Ulmen S.A. Aditivos para concreto

Descripción

GAIA Nanosilíce es un primer Adicionante base nanosilíce generado durante 2004 por la sinergia Scitech Cognoscible/Ulmen

Pertenece a la línea GAIA NANOSÍLICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de silíce en nanopartículas de cemento

Aspectos Técnicos

GAIA Nanosilíce elimina el total de la silíce en polvo en cualquiera de sus alternativas, y también los superplastificantes, reduciendo al mínimo los reductores plastificantes.

Con **GAIA Nanosilíce** se obtiene concretos de alto rendimiento: 70 MPa a R28

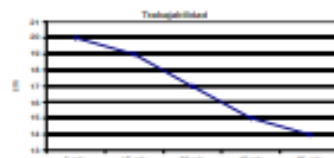
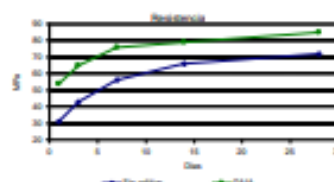
Ideal para concretos tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores al vaciado, con adecuadas dosificaciones, que permiten obtener hormigones impermeables según norma DIN 1048 o Nch 2262

Propiedades

Consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario, y - - - - es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

Duración

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001



Dosis

Recomendamos dosis de acuerdo a los concretos a elaborar. Lo ideal es contactar el servicio técnico ULMEN para optimizar su uso.

Presentación

En cilindro plástico de 220 kg
En dispenser retornable de 1100 kg

Propiedades físicas

Apariencia : Líquido
Color : Café Claro
Densidad : 1,03 ± 0,02 g/mL

Clasificación

GAIA Nanosilíce se clasifica como aditivo tipo F según ASTM C494

Cooperativa las Vertientes, Calle 4, Mz C-1 Sub Lt 2-F Villa El Salvador – Lima
Teléfonos (01) 719-4126 / 719-4127

www.cognoscibletechnologies.com

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl

FICHA TECNICA

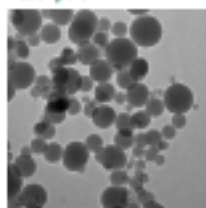
GAIA Nanosilice

Nano aditivo Superplastificante



Ficha Técnica
Edición nº 1 11- 2008
Identificación nº 1.001
Versión - 01
GAIA Nanosilice

Descripción



Micrografía electrónica de nanosilice a 10000x

GAIA Nanosilice es un nano aditivo en estado líquido, a base de sílice con partículas de tamaño nanométrico. Gran reductor de agua, de alta actividad. Pertenecen a la línea **GAIA NANOSILICE**, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las **nano partículas** de sílice en nano partículas de cemento.

Cumple con todos los requerimientos de la norma ASTM C-494. Tipos A y F.

Aplicaciones

GAIA Nanosilice por su elevado poder de fluidificación y sumado a la capacidad de favorecer la evolución de resistencias, sobre todo a edades muy tempranas, lo hace ideal para:

- ◆ Industria del hormigón prefabricado, pretensado, armado y pos tensado.
- ◆ Hormigón Fast Track.
- ◆ Hormigón de Altas Prestaciones (AHR).
- ◆ Hormigón ligero de baja densidad.
- ◆ Y todas las aplicaciones tradicionales de microsílíce.

Propiedades

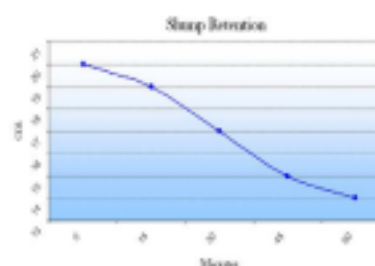
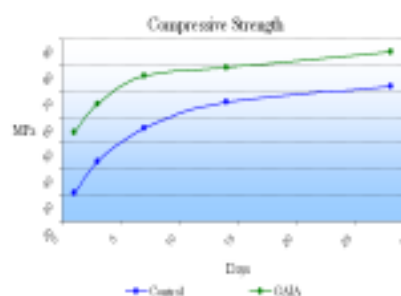
- ◆ Gran poder plastificante y reductor de agua.
- ◆ Incremento del desarrollo de alta resistencia inicial y final.
- ◆ Permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del hormigón.
- ◆ No produce retrasos de fraguado.
- ◆ Ideal para Hormigón Fast Track.
- ◆ Evita la segregación y la excesiva exudación.
- ◆ Mejora el acabado y la textura de la superficie del hormigón.
- ◆ Evita la formación de coqueas y ridos de grava.



Características Técnicas

Al eliminar el total de la sílice en polvo en cualquiera de sus alternativas y por su alta absorción de agua, nos permite eliminar superplastificantes y reducir al mínimo los reductores plastificantes.

- ◆ No contiene cloruros, ni ningún ingrediente promotor de la corrosión. Es utilizado sin problemas en hormigón armado y pretensado.
- ◆ Ideal para hormigones tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores, con adecuadas dosificaciones.
- ◆ Hormigones de altas prestaciones: 70 MPa R28.
- ◆ Cono de 78 a 50 cm. en 2 horas con R1 de 44 MPa y 80 MPa a R 28.
- ◆ Aumenta en más del 50% la resistencia a la flexotracción.
- ◆ Evita en gran medida las eflorescencias.



Normas

Cumple con los requisitos y especificaciones para superplastificantes de la norma SIA 162 (1989) y EN 942-2.

Método de aplicación

- ✦ **GAIA Nanosilice** se utiliza en dosis del 1 al 3% sobre el peso del cemento. Lo ideal es contactar el servicio técnico ULMEN para optimizar su uso. Vía e-mail es suficiente.
- ✦ **GAIA Nanosilice** debe agregarse una vez tengamos mezclados los áridos con el cemento y después de haber echado el agua correspondiente. Dejar amasar sobre 10 a 12 minutos. **No adicionar el producto sobre la masa seca de cemento y áridos.**
- ✦ **GAIA Nanosilice** puede ser utilizado en conjunto con otros aditivos de Ulmen, por lo que se recomienda realizar ensayos previos con la combinación deseada.
- ✦ En la producción, colocación y curado del hormigón se deben seguir las reglas de buena práctica habitualmente usadas.

| Propiedades Físicas y Químicas de GAIA Nanosilice | |
|--|---|
| Aspecto Físico | Líquido turbio ligeramente viscoso |
| Color | Cafe claro. |
| pH, 20° C | 5,00 ± 1 |
| Densidad, 20° C | 1.030 ± 0.02 gr/ml. |
| Viscosidad 20° C | 13 ± 2 sec. (C. Ford No. 4) |
| Contenido en cloruros | < 0,01% |
| Almacenamiento | Puede almacenarse durante 6 meses en su envase original cerrado, en lugar y protegido del sol, a temperaturas entre 5° y 35°. |
| Presentación | Bidón Plástico de 200 Kgs. Contenedor pallet de 1.000 Kg. |
| En caso de congelamiento del GAIA Nanosilice puede ser utilizado si se descongela lentamente a temperatura de 20° C y se agita de forma intensa. | |

Reducción de costo

A consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario.

Y --- es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores, http://ec.europa.eu/employment_social

La sílice en polvo es identificada como UN 1346, clase 4,1, grupo F III <http://www.unec.org/trans/danger>

NOTA: La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Ulmen son proporcionadas de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Ulmen. La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica. Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente. Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición. Industrias ULMEN Europa, S. L. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica. Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de ésta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reintegrar el valor de la mercancía suministrada. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Ficha Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

INDUSTRIAS ULMEN EUROPA, S. L.

Oficinas: Calle Zaragoza, nº 15 – 3º - Puerta 6 (P. O. BOX 504) 12540 Vila-real (CASTELLON) SPAIN

Tel. - +34 964 538 238 - Fax - +34 964 782 261

Fabrica: P.I. El Palmeral, Sector Sur 6, Parc.17, Nave 1 12200 Onda (Castellón) SPAIN

www.ulmen.es - info@ulmen.es



PERU EN TI ALIMENTOS Y SERVICIOS SAC
 Calle Don Pompeyo 164 Apto 101 Urb. Santa Rosa de Surco –
 Santiago de Surco
 Lima – Cel +51 948012359
 Importador Distribuidor Autorizado

Ficha Técnica PET

Químicamente el PET es un **polímero** que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenecen al grupo de materiales de condensación denominados **poliésteres**. El **tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietileno tereftalato o polietileno tereftalato** (más conocido por sus siglas en inglés PET, *polyethylene terephthalate*) es un tipo de **plástico** muy usado en envases de **bebidas y textiles**.

Propiedades de la hoja

- Excelente transparencia y brillo.
- **Excelente resistencia química.**
- Adecuado para aplicaciones en contacto con alimentos.
- **Cumple con las regulaciones FDA y BGA.**
- Alta resistencia a impactos y roturas.
- Termoforrable. No requiere secado previo.
- Excelente resistencia al fuego. Baja generación de humo no tóxico.
- **Reciclable.** Favorable al medio ambiente. Se quema sin liberar dioxinas en la atmósfera o sustancias tóxicas que puedan contaminar los vertederos.
- Reduce la transmisión de sonido .

Estabilidad térmica

- Los artículos fabricados con este producto no deben ser expuestos a la continua utilización en más de 85°C, de acuerdo a la aplicación.

Climatización

- La radiación ultravioleta componente en la radiación solar hace que la mayoría de los plásticos tienda a degradarse. Esta degradación depende de las condiciones de exposición, es decir la duración real de la exposición, el ángulo de la hoja con respecto a la incidencia de la radiación solar y la temperatura, humedad e intensidad de la radiación (coordenadas geográficas). La degradación se manifiesta por un amarillamiento progresivo, una disminución de la transmisión de luz y una pérdida de propiedades mecánicas.
- La lámina de PET no está protegida contra los efectos de la intemperie, aunque el material en sí posee una cierta resistencia a condiciones de la intemperie y puede por lo tanto ser utilizado para aplicaciones al aire libre en el que la hoja está no permanentemente expuesta a la radiación.
- Para aplicaciones externas donde la lámina está sujeta a luz ultravioleta, se recomienda un producto estabilizado , PET-UV . PET-UV está protegido en ambos lados de la hoja y tiene una garantía limitada por 10 años.
- En externas aplicaciones, ambas películas de protección deben ser removidas de inmediato , ya que, si que están expuestos a la luz solar ellos pueden quedarse permanentemente unidos a la hoja.



PERU EN TI ALIMENTOS Y SERVICIOS SAC
Calle Don Pompeyo 164 Apto 101 Urb. Santa Rosa de Surco –
Santiago de Surco
Lima – Cel +51 948012359
Importador Distribuidor Autorizado

Resistencia química

- PET es generalmente resistente a la mayoría de ácidos, alcoholes y sales, así como a plastificantes.
- PET también es resistente a hidrocarburos como el xileno, el aceite mineral y la gasolina.
- La resistencia a los hidrocarburos alifáticos es limitada.
- De manera similar, PET también es resistente al ataque químico de la lluvia ácida, los gases de escape de diesel y el aire salino. Los compuestos aromáticos muestran una variedad de reacciones.

Contacto con alimentos y uso médico

- PET cumple con los requisitos de la FDA (Administración de Drogas y Alimentos, EE. UU.) Y las normas BGA (Bundesgesundheitsamt, Alemania) para el contacto con productos alimenticios.
- PET es inodoro y de sabor neutro.
- PET es adecuado para su uso con alimentos y aplicaciones médicas.
- PET puede ser esterilizado con rayos gamma u óxido de etileno.

Aplicaciones:

- Acristalamiento de seguridad
- Letreros
- Protección de maquinaria
- Artículos para uso alimentario y sanitario
- Máquinas expendedoras
- Pantallas de punto de compra
- Mobiliario urbano (a prueba de vandalismo)
- Piezas de construcción
- Ventanas de packaging y portarretratos.

ANEXO N°3: ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 005-2024-II

FECHA: 21 de Octubre 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: José Elmer Gastulo Niño

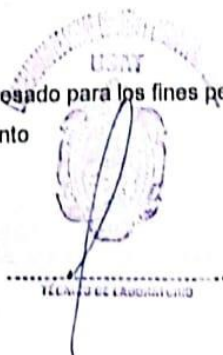
TITULO DE LA TESIS: Influencia de la adición de Nanoslice en las tejas de microconcreto con fibra de Pet

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

- Contenido de humedad del agregado fino
- Análisis granulométrico del agregado fino
- Peso específico y absorción del agregado fino
- Peso unitario del agregado fino
- Ensayo de Fluidez del mortero de la teja de microconcreto
- Ensayo de Peso de la teja de microconcreto
- Ensayo de Porosidad y Fisuración de la teja de microconcreto
- Ensayo de Resistencia al Impacto de la teja de microconcreto
- Ensayo de Durabilidad de la teja de microconcreto
- Ensayo de Impermeabilidad de la teja de microconcreto
- Ensayo de Resistencia a la Flexión de la teja de microconcreto

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Ing. Civil Ambiental
 USAT

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



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



Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanoslice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 01 de Abril de 2024

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

Canetra : Cantera Tres Tomas

Datos

| | | |
|----------------------------|-------|---------------|
| A.- Peso de muestra húmeda | (gr.) | 1323.7 |
| B.- Peso de muestra seca | (gr.) | 1314.6 |
| C.- Peso de recipiente | (gr.) | 78.1 |
| D.- Peso del agua | (ml.) | 9.1 |
| E.- Contenido de humedad | (%) | 0.69 |


 Henry
 Rivas
 @Rivas
 Lic. L. 000000
 USAT



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



Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanoslice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 01 de Abril de 2024

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

Canetra : Cantera Tres Tomas

1.- PESO UNITARIO SUELTO

| | | | |
|--|----------------------|----------------|---------|
| 1.- Peso de la muestra suelta + recipiente | (gr.) | 8374 | 8382 |
| 2.- Contenido de Humedad | | 0.69 | |
| 3.- Constante ó Volumen | (m ³) | 0.00548 | 0.00548 |
| 4.- Peso unitario suelto húmedo | (kg/m ³) | 1528 | 1530 |
| 5.- Peso unitario suelto seco (Promedio) | (kg/m ³) | 1518.31 | |

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

| | | | |
|--|----------------------|-------------|---------|
| 1.- Peso de la muestra suelta + recipiente | (gr.) | 9365 | 9358 |
| 2.- Contenido de Humedad | | 0.69 | |
| 3.- Constante ó Volumen | (m ³) | 0.00548 | 0.00548 |
| 4.- Peso unitario suelto húmedo | (kg/m ³) | 1709 | 1708 |
| 5.- Peso unitario compactado seco (Promedio) | (kg/m ³) | 1697 | |

| A. Fino | | |
|---------|---------|------|
| D= | 15.2 | 0.18 |
| H= | 30.2 | 0.03 |
| V= | 0.00548 | |

Henry Ruedensaya
 Ingeniero Civil
 USAT
 Laboratorio de Suelos, Concreto y Ensayos de Materiales

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

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

Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanoslice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 01 de Abril de 2024

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022
Cantera : Cantera Tres Tomas

I.- Datos.

| | | |
|--|-----|----------------|
| 1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua | (g) | 1018.40 |
| 2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco | (g) | 710.15 |
| 3.- Peso del Agua | (g) | 308.25 |
| 4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco | (g) | 708.60 |
| 5.- Peso del Frasco | (g) | 210.15 |
| 6.- Peso de la Arena Secada al Horno | (g) | 498.45 |
| 7.- Volumen del frasco | (g) | 500.00 |

II.- Resultados

| | | |
|--------------------------------------|----------------------|--------------|
| A.- PESO ESPECIFICO DE MASA | (g/cm ³) | 2.599 |
| B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO | (g/cm ³) | 2.61 |
| C.- PESO ESPECIFICO APARENTE | (g/cm ³) | 2.62 |
| D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN | (%) | 0.31 |

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Vic. Laboratorio
USAT





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



Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 04 de Abril de 2024

Ensayo CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado
 Referencia NTP 334.051

| N° de Pruebas | Relación Agua cemento R/C | Cemento (kg) | Arena (kg) | Agua (L) | FIBRA DE PET | NANO |
|--|---------------------------|--------------|------------|----------|--------------|-------|
| P-01 (R/C-0.47) | 0.47 | 1.000 | 1.528 | 0.464 | 0.040 | 0.000 |
| P-02(R/C-0.47+ 4% de F.P + 1.5% NANO) | 0.47 | 1.000 | 1.528 | 0.464 | 0.040 | 0.015 |
| P-02(R/C-0.47+ 4% de F.P + 2% NANO) | 0.47 | 1.000 | 1.528 | 0.464 | 0.040 | 0.020 |
| P-02(R/C-0.47+ 4% de F.P + 2.5% NANO) | 0.47 | 1.000 | 1.528 | 0.464 | 0.040 | 0.025 |
| P-02(R/C-0.47+ 4% de F.P + 3% NANO) | 0.47 | 1.000 | 1.528 | 0.464 | 0.040 | 0.030 |

[Handwritten Signature]
 Henry
 Rivas Niño
 Obispo
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
[Handwritten Signature]
 FACULTAD DE INGENIERIA

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

3° PASO: CALCULO DE MATERIAL SEGÚN RENDIMIENTO

$$\text{Cemento (bolsa)} = \frac{1}{\text{Rendimiento}}$$

16.93602712
 Cemento= 16.94 bolsas= 719.78 Kg

Arena fina = Cemento (bolsas) x Peso arena fina

Arena(kg) = 1092.21 kg

Agua = Cemento (kg) x Relación A/C

Agua(litros)= 338.297142 litros

Aire Atrapado= 0%

4° PASO: CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA Y ARENA

Hallamos la cantidad de arena y agua para la cantidad de cemento hallada

$$\text{Arena fina húmeda} = \text{Arena seca} \times \left(1 + \frac{w\%}{100}\right)$$

Arena fina húmeda = 1099.8 kg

W% = 0.69
 Abs% = 0.31

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua} - \left(\frac{w\% - abs\%}{100}\right) \times \text{Arena fina}$$

Agua efectiva= 334.13 litros

| Material | Volumen | Peso | | | | |
|---------------|--------------|-------------|------------|-------------|------------|--|
| Cemento | 1.00 m3 | 1.00 kg | 0.500 | 0.100 | 0.15 | |
| Arena fina | 1.50 m3 | 1.53 kg | 0.7639627 | 0.152792539 | 0.22918881 | |
| Agua efectiva | 19.73 Lt/bls | 0.464 lt/kg | 0.23210733 | 0.046421465 | 0.0696322 | |

4° PASO: CORRECCION POR FLUIDEZ

Diseño patron

Cemento 1
 Arena 1.52792539
 Agua Efectiva 0.46421465

agua adicional por fluides 0

A/C 0.46421465
 C= 1

NUEVA RELACION

CEMENTO: 1.000 0.500 0.100 0.15
 Arena fina: 1.52792539 0.764 0.152793 0.22918881
 Agua efectiva 0.46421465 0.2321 0.046421 0.0696322

calculamos la cantidad de volumen por m3 de mortero según rendimiento

cemento 1.000 pie3 = 42.5 kg
 arena 1.53 m3 = 64.94 kg
 agua 0.46421465 a/c 19.72912 L
 aire atrapado 0%

Henry Rivas de nayra
 Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT



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

1° PASO: CALCULO CANTIDAD DE MATERIAL INICIAL

Para una dosificación de mortero de 1:1.5

Cemento: 1 ple3 = 42.5 kg
 Arena: 1.5 ple3

Usamos la siguiente fórmula para hallar la cantidad de arena

$$1.5 \text{ ple3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ ple3}} \text{ PUS} \qquad \text{PUS} = 1518 \text{ kg/m}^3$$

$$1.5 \text{ ple3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ ple3}} = 1518 \text{ kg/m}^3$$

Arena: 64.4904099 kg

usamos la siguiente formula para hallar la cantidad de agua, en funcion a la relacion agua cemento de 0.47:
 0.47×42.5

Agua: 19.98

2° PASO: CALCULO DE VOLUMEN DE MATERIAL

Calculamos el volumen del cemento:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Peso de bolsa de cemento}}{\text{Peso especifico del cemento}}$$

$$= \frac{42.5 \text{ kg}}{2980 \text{ kg/m}^3}$$

Peso específico del cemento MS =
 2.98 g/cm3
 2980 kg/m3

Cemento: 0.01426174 m3

Calculamos el volumen de arena:

$$\text{Arena fina} = \frac{\text{Peso de arena fina}}{\text{Peso especifico de la arena fina}}$$

$$= \frac{64.4904099 \text{ kg}}{2599.48 \text{ kg/m}^3}$$

Peso específico arena fina =
 2.599 g/cm3
 2599.48 kg/m3

Arena fina: 0.02480898 m3

Calculamos el volumen de agua:

$$\text{Agua} = \frac{\text{Peso bolsa de cemento} \times \text{relacion A/C}}{\text{Peso especifico del agua}}$$

$$= \frac{42.5 \text{ kg} \times 0.47}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

0.059045725

Agua: 0.019975 m3

sumamos los volúmenes obtenidos, para hallar el volumen de aire atrapado:

Sub total: 0.05904572 m3

Aire atrapado: 0% 0 m3

Calculamos el rendimiento, que sea la suma total de los volúmenes obtenidos

Total (Rendimiento): 0.059 m3

Handwritten signature: Henry Roldán Obillos
 Ing. Civil - USAT






UNIVERSIDAD CATOLICA SAITO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Testista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chidayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chidayo, 04 de Abril de 2024

Ensayo : CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland
 Referencia : NTP 334-057

| Prueba | Diametro de Inicio en mm | Diámetros | Promedio de los diámetros | % De Fluidez |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------|--------------|
| Mortero convencional 1:1.5 (R/C-0.47) | 90 | 17.9 | 183.75 | 104.17 |
| | | 18.70 | | |
| | | 18.60 | | |
| | | 18.30 | | |

| % Fluidez (mesa de Flujo) | Consistencia | Tipo de Estructura | Condiciones de Colocación | Sistema de colocación |
|----------------------------|------------------|---|-----------------------------|---|
| 80-100 | Dura (seca) | Reparaciones, recubrimiento de tuneles, galerías, pantallas de cimentación. | Seccion sujetas a vibración | Proyección neumática, con vibradores de formaleta |
| 100-120 | Medía (plástica) | Pega de mampostería, baldosas y revestimientos | Sin vibración | Manual con paletas |
| 120-150 | Fluida (húmeda) | Rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos | Sin vibración | Manual, bombeo, inyección |

Ensayo de fluidez del mortero patrón
 Dosificación 1:1.5





UNIVERSIDAD CATOLICA SAN TOIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Req. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 04 de Abril de 2024

Ensayo : CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland
 Referencia : NTP 334-057

| Prueba | Diametro de Inicio en mm | Diámetros | Promedio de los diámetros | % De Fluidez |
|---|--------------------------|-----------|---------------------------|--------------|
| Mortero patrón 1:1.5 (R/C-0.47+ 4% de Fibra de Pet) | 90 | 17.9 | 181.5 | 101.67 |
| | | 18.40 | | |
| | | 18.30 | | |
| | | 18.00 | | |

| Comparación de los resultados | | | | |
|-------------------------------|------------------|---|-----------------------------|---|
| % Fluidez (mesa de Flujo) | Consistencia | Tipo de Estructura | Condiciones de Colocación | Sistema de colocación |
| 80-100 | Dura (seca) | Reparaciones, recubrimiento de tuneles, galerías, pantallas de cimentación, | Seccion sujetas a vibración | Proyección neumática, con vibradores de formaleta |
| 100-120 | Media (plástica) | Pega de mampostería, baldosas y revestimientos | Sin vibración | Manual con paletas |
| 120-150 | Fluida (húmeda) | Rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos | Sin vibración | Manual, bombeo, inyección |





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

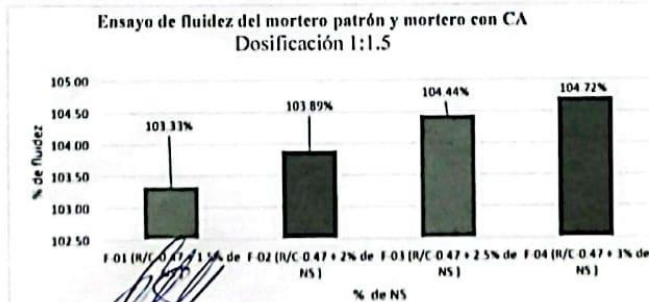


Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Req. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 04 de Abril de 2024

Ensayo : CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland
Referencia : NTP 334-057

| Nº de pruebas | Diametro de Inicio en mm | Promedio de los diametros | % De Fluidez |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
| F-01 (R/C-0.47 + 1.5% de NS) | 90 | 183.00 | 103.33 |
| F-02 (R/C-0.47 + 2% de NS) | 90 | 183.50 | 103.89 |
| F-03 (R/C-0.47 + 2.5% de NS) | 90 | 184.00 | 104.44 |
| F-04 (R/C-0.47 + 3% de NS) | 90 | 184.25 | 104.72 |

| Comparación de los resultados | | | | |
|-------------------------------|------------------|---|-----------------------------|---|
| % Fluidez (mesa de Flujo) | Consistencia | Tipo de Estructura | Condiciones de Colocación | Sistema de colocación |
| 80-100 | Dura (seca) | Reparaciones, recubrimiento de tuncles, galerías, pantallas de cimentación, | Seccion sujetas a vibración | Proyección neumática, con vibradores de |
| 100-120 | Media (plástica) | Pega de mampostería, baldosas y revestimientos | Sin vibración | Manual con paletas |
| 120-150 | Fluida (húmeda) | Rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos | Sin vibración | Manual, bombeo, inyección |



Henry
Rivadeneja
Obispo
 Tec. Laboratorio
 USAT





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



Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 26 de Abril de 2024

Ensayo: Resistencia a la flexión a tejas de microconcreto

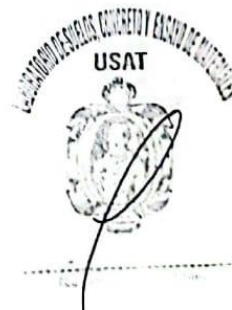
Referencia: UNE EN 490 y UNE EN 491

Observaciones: El siguiente ensayo de resistencia a la flexión se realizó a la muestra patrón a los 14 días de curado

| MATERIALES | RELACIONES | FLUIDEZ |
|----------------------|--------------------------|---------|
| Cemento (kg): 1.3618 | Agua - Cemento: 0.464 | 101.67% |
| Agua (kg): 0.6318752 | Cemento - Arena: 1 - 1.5 | |
| Arena (kg): 2.0427 | | |
| Fibra (kg) 0.054472 | | |

| TEJA | FECHA DE FABRICACIÓN | FECHA DE ENSAYO | DÍAS DE CURADO | CARGA MÁXIMA (kg) | | |
|--------|----------------------|-----------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | | | | ROTURA | NORMA UNE 28 días | NORMA UNE >80% |
| FIO-01 | 11/04/2024 | 3/05/2024 | 14 días | 320 | 200 | - >160 |
| FIO-02 | 11/04/2024 | 3/05/2024 | 14 días | 330 | 200 | >160 |
| FIO-03 | 11/04/2024 | 3/05/2024 | 14 días | 260 | 200 | >160 |

[Handwritten Signature]
 Henry Rivas Reyes
 Obliis USAT
 Tec. Laboratorio USAT





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



Tenista : Gedulo Niño José Elmer
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tema : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
 Lugar : Dst. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Req. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 03 de Junio de 2024

Ensayo: Porosidad y Fisuración a tejas de microconcreto

Referencia: Manual para el control de calidad para tejas de microconcreto - Ensayo F 4.1.10

Observaciones: El siguiente ensayo de Porosidad y Fisuración se realizó a los 28 días de curado

| TEJA | NANOSÍLICE (%) | HUECOS | FISURAS > 6MM | > 6 POROS DIÁMETRO DE 2MM | POROS >2MM PROFUNDIDAD | POROS CON DIÁMETRO >5MM | OBSERVACIONES |
|----------|----------------|--------------|---------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|
| PF0-01 | 0% | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-02 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-03 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-05 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-06 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-07 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-08 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-09 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-10 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-11 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF0-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-01 | 1.5% | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-02 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-03 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-05 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-06 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-07 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-08 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-09 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-10 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-11 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF1.5-12 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-01 | 2% | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-02 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-03 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-05 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-06 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-07 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-08 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-09 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-10 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-11 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-01 | 2.5% | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-02 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-03 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-05 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-06 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-07 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-08 | | Inexistentes | Inexistentes | 1 poro | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-09 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-10 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-11 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF2.5-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-01 | 3% | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-02 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-03 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-04 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-05 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-06 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-07 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-08 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-09 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-10 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-11 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |
| PF3-12 | | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | Inexistentes | ACEPTABLE |

Henry Ruedenya Oblias
 Ing. Civil
 USAT

USAT
 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA BAITO TORIBIO DE MOOROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tecnista : Gastulo Niño José Eimer
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 03 de Junio de 2024

Ensayo: Peso a tejas de microconcreto

Referencia: Manual para el control de calidad para tejas de microconcreto - Ensayo F 4.6.20

Observaciones: El siguiente ensayo de Peso se realizó a los 28 días de curado

| TEJA | NANOSILICE (%) | PESO ESPERADO (kg) | PESO (kg) | VARIACIÓN DE PESO (%) | VARIACIÓN MÁXIMA (10%) |
|---------|----------------|--------------------|-----------|-----------------------|------------------------|
| P0-01 | 0% | 1.376 | 1.314 | 4.51% | ACEPTABLE |
| P0-02 | | | 1.274 | 7.41% | ACEPTABLE |
| P0-03 | | | 1.371 | 0.36% | ACEPTABLE |
| P0-04 | | | 1.280 | 6.98% | ACEPTABLE |
| P1.5-01 | 1.5% | 1.383 | 1.392 | 0.65% | ACEPTABLE |
| P1.5-02 | | | 1.390 | 0.51% | ACEPTABLE |
| P1.5-03 | | | 1.394 | 0.80% | ACEPTABLE |
| P1.5-04 | | | 1.414 | 2.24% | ACEPTABLE |
| P2-01 | 2% | 1.385 | 1.414 | 2.24% | ACEPTABLE |
| P2-02 | | | 1.433 | 3.47% | ACEPTABLE |
| P2-03 | | | 1.437 | 3.75% | ACEPTABLE |
| P2-04 | | | 1.455 | 5.05% | ACEPTABLE |
| P2.5-01 | 2.5% | 1.388 | 1.442 | 3.89% | ACEPTABLE |
| P2.5-02 | | | 1.474 | 6.20% | ACEPTABLE |
| P2.5-03 | | | 1.455 | 4.83% | ACEPTABLE |
| P2.5-04 | | | 1.505 | 8.43% | ACEPTABLE |
| P3-01 | 3% | 1.390 | 1.499 | 7.84% | ACEPTABLE |
| P3-02 | | | 1.522 | 9.50% | ACEPTABLE |
| P3-03 | | | 1.512 | 8.78% | ACEPTABLE |
| P3-04 | | | 1.521 | 9.42% | ACEPTABLE |

[Handwritten Signature]
 Henry Rivedeneiro Obillas
 Tec. Laboratorio USAT



[Handwritten Signature]



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



Tesista : Gastulo Niño José Elmer
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Influencia de la adición de nanosilice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Req. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 03 de Junio de 2024

Ensayo: Impacto a tejas de microconcreto

Referencia: Manual para el control de calidad para tejas de microconcreto - Ensayo F 4.7.20

Observaciones: El siguiente de Impacto se realizó a los 28 días de curado

| GRUPO | TEJA | NANOSÍLICE (%) | PESO ESFERA (g) | ALTURA DE APLICACIÓN (cm) | CARGA DE IMPACTO (g/cm) | OBSERVACIONES |
|-------|--------|----------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|---------------|
| G1 | IG1-01 | 0.0% | 435.730 | 20.196 | 8800 | RESISTIÓ |
| | IG1-02 | 1.5% | | | | RESISTIÓ |
| | IG1-03 | 2.0% | | | | RESISTIÓ |
| | IG1-04 | 2.5% | | | | RESISTIÓ |
| | IG1-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G2 | IG2-01 | 0.0% | 435.730 | 30 | 13072 | ROTURA |
| | IG2-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG2-03 | 2.0% | | | | RESISTIÓ |
| | IG2-04 | 2.5% | | | | RESISTIÓ |
| | IG2-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G3 | IG3-01 | 0.0% | 435.730 | 40 | 17429 | ROTURA |
| | IG3-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG3-03 | 2.0% | | | | ROTURA |
| | IG3-04 | 2.5% | | | | ROTURA |
| | IG3-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G4 | IG4-01 | 0.0% | 435.730 | 50 | 21787 | ROTURA |
| | IG4-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG4-03 | 2.0% | | | | ROTURA |
| | IG4-04 | 2.5% | | | | ROTURA |
| | IG4-05 | 3.0% | | | | RESISTIÓ |
| G5 | IG5-01 | 0.0% | 435.730 | 60 | 26144 | ROTURA |
| | IG5-02 | 1.5% | | | | ROTURA |
| | IG5-03 | 2.0% | | | | ROTURA |
| | IG5-04 | 2.5% | | | | ROTURA |
| | IG5-05 | 3.0% | | | | ROTURA |

[Handwritten signature]
 RIVERO
 OBRERO
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TERCERO DE ABRIL



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



Tesista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la adición de nanosílíce en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 08 de Junio de 2024

Ensayo: Durabilidad a tejas de microconcreto

Referencia: UNE EN 490 y UNE EN 491
 NTP 400.016

Observaciones: El siguiente de Durabilidad se realizó a los 28 días de curado

| TEJA | NANOSÍLICE (%) | INICIO DE ENSAYO | FIN DE ENSAYO (S CICLOS) | FISURAS | FISURAS SEGÚN UNE | PESO INICIAL (kg) | PESO FINAL | % DE PÉRDIDA DE PESO |
|-----------|----------------|------------------|--------------------------|--------------|-------------------|-------------------|------------|----------------------|
| DIF0-01 | 0.0% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.362 | 1.355 | 0.514% |
| DIF0-02 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.245 | 1.239 | 0.482% |
| DIF0-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.417 | 1.411 | 0.423% |
| DIF1-5-01 | 1.5% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.396 | 1.389 | 0.501% |
| DIF1-5-02 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.399 | 1.393 | 0.429% |
| DIF2-01 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.384 | 1.379 | 0.361% |
| DIF2-02 | 2.0% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.411 | 1.407 | 0.283% |
| DIF2-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.401 | 1.397 | 0.286% |
| DIF2-5-01 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.430 | 1.425 | 0.350% |
| DIF2-5-02 | 2.5% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.426 | 1.423 | 0.210% |
| DIF2-5-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.435 | 1.432 | 0.209% |
| DIF3-01 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.501 | 1.499 | 0.133% |
| DIF3-02 | 3.0% | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.436 | 1.435 | 0.070% |
| DIF3-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.502 | 1.502 | 0.000% |
| DIF3-03 | | 3/05/2024 | 8/05/2024 | Inexistentes | ACEPTABLE | 1.511 | 1.510 | 0.066% |

Henry Rivas
 Henry Rivas
 Oblitos
 Tec. Laboratorio
 USAT

USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA BAUTI TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tealista : Gastulo Niño José Elmer
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tests : Influencia de la adición de nanoslice en las tejas de microconcreto con fibra de pet
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 14 de Junio de 2024

Ensayo: Impermeabilidad a tejas de microconcreto

Referencia: UNE EN 490 y UNE EN 491
 Manual para el control de calidad para tejas de microconcreto - Ensayo F 4.5.10

Observaciones: El siguiente de Impermeabilidad se realizó a los 28 días de curado

| TEJA | NANOSLICE (%) | INICIO DE ENSAYO | FIN DE ENSAYO | GOTEO | HUMEDECIMIENTO (%) | OBSERVACIONES |
|-----------|---------------|------------------|---------------|--------------|--------------------|---------------|
| DIF0-01 | 0.0% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 85% | ACCEPTABLE |
| DIF0-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 85% | ACCEPTABLE |
| DIF0-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 85% | ACCEPTABLE |
| DIF1.5-01 | 1.5% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 50% | ACCEPTABLE |
| DIF1.5-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 50% | ACCEPTABLE |
| DIF1.5-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 50% | ACCEPTABLE |
| DIF2-01 | 2.0% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 45% | ACCEPTABLE |
| DIF2-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 45% | ACCEPTABLE |
| DIF2-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 45% | ACCEPTABLE |
| DIF2.5-01 | 2.5% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 40% | ACCEPTABLE |
| DIF2.5-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 40% | ACCEPTABLE |
| DIF2.5-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 40% | ACCEPTABLE |
| DIF3-01 | 3.0% | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 10% | ACCEPTABLE |
| DIF3-02 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 10% | ACCEPTABLE |
| DIF3-03 | | 13/05/2024 | 14/05/2024 | Inexistentes | 10% | ACCEPTABLE |

Henry Roldán Obilima
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 CENTRO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTI FERREO DE MÓGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Título : Gestión Hoja José Erner
 Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
 Tema : Influencia de la adición de nanosilica en las tejas de microconcreto con fibra de pet
 Lugar : Dist. Chichay, Prov. Lambayeque, Rep. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chichay, 21 de Junio de 2024

Ensayo: Resistencia a la flexión a tejas de microconcreto

Referencia: UNE EN 490 y UNE EN 491

Observaciones: El siguiente ensayo de Resistencia a la Flexión se realizó a los 28 días de curado

| MATERIALES | RELACIONES | FLUIDEZ |
|---|--------------------------|----------------|
| Cemento (kg): 1.3618 | Agua - Cemento: 0.464 | 103.33% (1.5%) |
| Agua (kg): 0.6318752 | Cemento - Arena: 1 - 1.5 | 103.89% (2%) |
| Arena (kg): 2.0427 | | 104.44% (2.5%) |
| Fibra (kg): 0.054472 | | 104.72% (3%) |
| Nanosilica (ml): 5.25ml (1.5%), 7ml (2%), 8.75ml (2.5%) y 10.5ml (3%) | | |

| TEJA | FECHA DE FABRICACIÓN | FECHA DE ENSAYO | DÍAS DE CURADO | CARGA MÁXIMA (kg) | | |
|-----------|----------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------|-------------------|
| | | | | ROTURA | PROMEDIO | NORMA UNE 28 días |
| DIF0-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 350 | 323 | 200 |
| DIF0-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 340 | | 200 |
| DIF0-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 280 | | 200 |
| DIF1-5-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 320 | 337 | 200 |
| DIF1-5-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 340 | | 200 |
| DIF1-5-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 350 | | 200 |
| DIF2-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 300 | 387 | 200 |
| DIF2-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 390 | | 200 |
| DIF2-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 390 | | 200 |
| DIF2-5-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 440 | 437 | 200 |
| DIF2-5-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 470 | | 200 |
| DIF2-5-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 450 | | 200 |
| DIF3-01 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 510 | 507 | 200 |
| DIF3-02 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 530 | | 200 |
| DIF3-03 | 3/05/2024 | 24/06/2024 | 28 días | 480 | | 200 |

Henry Mosquera Obispo
 Henry Mosquera Obispo
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

[Firma]

ANEXO N°4: PANEL FOTOGRAFICO

