

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



**Comparación de las propiedades mecánicas del pavimento de concreto
reforzado con Diamond Grid y uno con geoceldas de
poliuretano termoplástico**

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

AUTOR

Vanessa Sullon Montenegro

ASESOR

Mario Antonio Martinez Fiestas

<https://orcid.org/0009-0002-6008-8916>

Chiclayo, 2026

**Comparación de las propiedades mecánicas del pavimento de
concreto reforzado con Diamond Grid y uno con geoceldas de
poliuretano termoplástico**

PRESENTADA POR
Vanessa Sullon Montenegro

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Atilio Ruben Lopez Carranza
PRESIDENTE

Juan Jacobo Sanchez Bautista
SECRETARIO

Mario Antonio Martinez Fiestas
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres Enrique y Magdalena, por estar conmigo en todo momento, ser mis principales ejemplos de lucha y sabiduría por seguir en el camino correcto y por ser mi apoyo moral para perseguir mis metas.

A mi abuela Bertha, que desde el cielo sigue siendo mi ejemplo de fortaleza.

A toda mi familia que ha depositado siempre su confianza y sus palabras de aliento en mí.

Agradecimientos

A mis padres, por su apoyo incondicional en todos los aspectos.

A mi hermana Ana, que sin su apoyo no hubiera podido empezar una carrera universitaria.

A Antonio, por las amanecidas en las que me acompañó y las palabras de aliento constantes.

A todos mis amigos que dieron su granito de arena, aportaron en algunas de las ideas que presenta esta tesis y en los ensayos de laboratorio.

A mi asesor y a los ingenieros docentes, por haberme guiado con sus conocimientos para poder llevar a cabo este trabajo.

Comparación de las propiedades mecánicas del pavimento de concreto reforzado con diamond grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	14%	4%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	core.ac.uk Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%

Índice

Resumen	12
Abstract	13
Introducción.....	14
Revisión de literatura.....	16
Materiales y métodos	31
Resultados y discusión	72
Conclusiones	91
Recomendaciones	92
Referencias.....	93
Anexos	96

Lista de tablas

Tabla I: Categorías de Cemento Portland	22
Tabla II: Porcentaje que pasa según la malla	22
Tabla III: Huso utilizado para granulometría	23
Tabla IV: Características del TPU	28
Tabla V: Especímenes cuadrados para prueba de Resistencia a la compresión.....	32
Tabla VI: Especímenes prismáticos para prueba de Resistencia a la flexión	33
Tabla VII: Operacionalización de variables	35
Tabla VIII: Husos granulométricos - Agregado fino	38
Tabla IX: Husos granulométricos - Confitillo.....	38
Tabla X: Resistencias requeridas F'_{cr}	51
Tabla XI: % de aire atrapado.....	51
Tabla XII: Agua en l/m^3	52
Tabla XIII: Volumen de agregado grueso por cada unidad volumétrica de concreto.....	52
Tabla XIV: Matriz de consistencia.....	71
Tabla XV: Granulometría del agregado fino.....	72
Tabla XVI: Granulometría del confitillo.....	74
Tabla XVII: Contenido de humedad - Agregado fino.....	75
Tabla XVIII: Contenido de humedad - Confitillo.....	76
Tabla XIX: Peso específico y absorción - Agregado fino.....	76
Tabla XX: Peso específico y absorción - Confitillo.....	77
Tabla XXI: Peso unitario suelto del agregado fino	77
Tabla XXII: Peso unitario compactado del agregado fino	77
Tabla XXIII: P.U.S - Confitillo.....	78
Tabla XXIV: P.U.C - Confitillo	78
Tabla XXV: Proporción de componentes por unidad de volumen	79
Tabla XXVI: Resistencia a la compresión $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ con Diamond grid.....	80

Tabla XXVII: Resistencia a la compresión $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$ con TPU	80
Tabla XXVIII: Resistencia a la flexión - Diamond grid	82
Tabla XXIX: Resistencia a la flexión – TPU	83
Tabla XXX: ACU'S del pavimento de concreto con $f^c 280 \text{ kg/cm}^2$ por m^3	84
Tabla XXXI: ACU'S de concreto f^c de 280 kg/cm^2 + geoceldas Diamond grid por m^3	84
Tabla XXXII: ACU'S de la elaboración de geoceldas en 3D por m^3	85
Tabla XXXIII: ACU'S de concreto f^c de 280 kg/cm^2 + geocelda TPU por m^3	86
Tabla XXXIV: Comparación de presupuestos por km	86

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Capas de los pavimentos según su tipo.....	20
Ilustración 2: Condiciones técnicas del Diamond grid.....	26
Ilustración 3: Expresión para medir el porcentaje de humedad en los agregados.....	29
Ilustración 4: Fraccionamiento de agregado fino.....	40
Ilustración 5: Fraccionamiento de confitillo.....	40
Ilustración 6: Retención de agregado fino por cada tamiz.....	40
Ilustración 7: Retención de confitillo por cada tamiz.....	40
Ilustración 8: Fracción del 1° retenido - agregado fino.....	40
Ilustración 9: Fracción del 1° retenido - confitillo.....	40
Ilustración 10: Muestra A del P.U.S.S - Agregado fino.....	43
Ilustración 11: Muestra B del P.U.S.S - Agregado fino.....	43
Ilustración 12: Muestra A del P.U.C - Agregado fino.....	43
Ilustración 13: Muestra B del P.U.C - Agregado fino.....	43
Ilustración 14: Muestra A del P.U.S - Confitillo.....	43
Ilustración 15: Muestra B del P.U.S - Confitillo.....	43
Ilustración 16: Muestra A del P.U.C - Confitillo.....	44
Ilustración 17: Muestra B del P.U.C - Confitillo.....	44
Ilustración 18: Enrasado del espécimen de agregado fino.....	44
Ilustración 19: Varillado del espécimen de confitillo.....	44
Ilustración 20: Agregados saturados en agua por 24h.....	47
Ilustración 21: Muestra de agregado fino vertida a fiola.....	47
Ilustración 22: Eliminación de burbujas de aire en la fiola.....	47
Ilustración 23: Muestra de confitillo en canastilla sumergida en agua.....	47
Ilustración 24: Muestra sin burbujas a reposar por 24h.....	47
Ilustración 25: Peso de canastilla más confitillo sumergido en agua.....	47
Ilustración 26: Peso de fiola más agua y agregado fino.....	48

Ilustración 27: Peso del confitillo pasada las 24h en secado térmico	48
Ilustración 28: Muestra en estado húmedo - Agregado fino	50
Ilustración 29: Muestra extraída del horno en estado seco - Agregado fino.....	50
Ilustración 30: Muestra de confitillo en estado húmedo	50
Ilustración 31: Muestra al horno de confitillo en estado seco.....	50
Ilustración 32: Prueba de trabajabilidad con el dispositivo de Abrams	53
Ilustración 33: Corte de las geoceldas Diamond grid	53
Ilustración 34: Diseño de geocelda en Solidworks	54
Ilustración 35: Detalles de la nueva geocelda	54
Ilustración 36: Tamaño de geocelda a ensayar.....	54
Ilustración 37: Impresión en 3D de geocelda.....	54
Ilustración 38: Realización de la mezcla de concreto en trompo	57
Ilustración 39: Nivelación de la mezcla en los moldes para una mejor compactación	57
Ilustración 40: Llenado de especímenes para prueba a compresión	57
Ilustración 41: Fase de curado para prueba a compresión	57
Ilustración 42: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 7 días de DG.....	57
Ilustración 43: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 7 días de TPU	57
Ilustración 44: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 7 días de DG.....	58
Ilustración 45: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 7 días de TPU	58
Ilustración 46: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 7 días de DG.....	58
Ilustración 47: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 7 días de TPU	58
Ilustración 48: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 14 días de DG.....	59
Ilustración 49: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 14 días de TPU	59
Ilustración 50: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 14 días de DG.....	59
Ilustración 51: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 14 días de TPU	59
Ilustración 52: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 14 días de DG.....	60
Ilustración 53: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 14 días de TPU	60

Ilustración 54: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 28 días de DG.....	60
Ilustración 55: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 28 días de TPU.....	60
Ilustración 56: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 28 días de DG.....	61
Ilustración 57: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 28 días de TPU.....	61
Ilustración 58: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 28 días de DG.....	61
Ilustración 59: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 28 días de TPU.....	61
Ilustración 60: Elaboración del concreto utilizando una mezcladora rotatoria.....	64
Ilustración 61: Integración de la mezcla en los moldes.....	64
Ilustración 62: Llenado de especímenes para prueba a flexión.....	64
Ilustración 63: Fase de curado para prueba a flexión.....	64
Ilustración 64: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 7 días de DG.....	65
Ilustración 65: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 7 días de TPU.....	65
Ilustración 66: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 7 días de DG.....	65
Ilustración 67: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 7 días de TPU.....	65
Ilustración 68: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 7 días de DG.....	66
Ilustración 69: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 7 días de TPU.....	66
Ilustración 70: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 14 días de DG.....	66
Ilustración 71: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 14 días de TPU.....	66
Ilustración 72: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 14 días de DG.....	67
Ilustración 73: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 14 días de TPU.....	67
Ilustración 74: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 14 días de DG.....	67
Ilustración 75: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 14 días de TPU.....	67
Ilustración 76: Fractura de espécimen para ensayo a flexión a 28 días de DG.....	68
Ilustración 77: Fractura de espécimen para ensayo a flexión a 28 días de TPU.....	68
Ilustración 78: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 28 días de DG.....	68
Ilustración 79 Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 28 días de TPU.....	68
Ilustración 80: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 28 días de DG.....	69

Ilustración 81: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 28 días de TPU	69
Ilustración 82: Curva granulométrica del agregado fino.....	73
Ilustración 83: Curva granulométrica del confitillo	75
Ilustración 84: Curva de Resistencia a la Compresión f_c 280 kg/cm ²	81
Ilustración 85: Módulo de rotura según edades ensayadas-Diamond grid.....	82
Ilustración 86: Módulo de rotura según edades ensayadas - TPU	83
Ilustración 87: Comparación de presupuestos por Km	87

Resumen

La presente investigación compara el desempeño mecánico de un pavimento de concreto reforzado con geoceldas comerciales Diamond Grid y uno reforzado con nuevas geoceldas elaboradas en poliuretano termoplástico (TPU). Se diseñaron geoceldas con especificaciones similares a las comerciales mediante impresión 3D, y se efectuaron los ensayos pertinentes para medir la resistencia compresiva y flexural en laboratorio conforme a normas. Los resultados indicaron que las geoceldas de TPU ofrecieron comportamientos mecánicos comparables, presentando buena resistencia y elasticidad, además de ventajas económicas y ambientales al ser un material reciclable. El análisis económico dio a ver que el uso de TPU puede representar una alternativa viable para el refuerzo de pavimentos de concreto convencional, disminuyendo los costos de mantenimiento y alargando el tiempo de servicio de las estructuras. Estos hallazgos abren la posibilidad de incorporar nuevas soluciones en el mercado de la construcción, combinando innovación, sostenibilidad y eficiencia estructural.

Palabras clave: pavimento de concreto, geoceldas, Diamond Grid, poliuretano termoplástico, propiedades mecánicas.

Abstract

This research compares the mechanical performance of a concrete pavement reinforced with commercial Diamond Grid geocells and one reinforced with new geocells made of thermoplastic polyurethane (TPU). Geocells were designed with specifications similar to those of commercial geocells using 3D printing, and tests were performed to measure compressive and flexural strength in laboratories in accordance with standards. The results indicated that the TPU geocells offered comparable mechanical behaviors, presenting good strength and elasticity, in addition to economic and environmental advantages due to their recyclability. The economic analysis showed that the use of TPU can represent a viable alternative for reinforcing conventional concrete pavements, reducing maintenance costs and extending the service life of the structures. These findings open the possibility of incorporating new solutions into the construction market, combining innovation, sustainability, and structural efficiency.

Keywords: concrete pavement, geocells, Diamond Grid, thermoplastic polyurethane, mechanical properties.

Introducción

En la actualidad, podemos encontrar variedad de complicaciones dentro de los pavimentos, no solo están sometidos a cargas dinámicas de los vehículos, sino también a cargas ambientales debido al clima en cuanto a temas de humedad o cambios de temperatura, también poseen poca resistencia a las fisuraciones y en el caso del pavimento de concreto resulta ser un material muy frágil a la flexión, todas estas provocando que las características físico-mecánicas de la estructura estratificada del pavimento vayan en decadencia. Al presentarse estas situaciones se suele subsanar cada cierto tiempo, en varias veces colocando carpetas de rodadura de gran espesor, lo cual no resulta económico ni factible, es por esto que se buscan nuevas opciones más accesibles y que a la vez tengan larga vida útil para que el mantenimiento de este se prolongue y no sea constante.[1]

Una de las opciones encontradas fueron las geoceldas Diamond grid, la cual puede ir ubicada entre la base y subbase, en donde se descubrieron que reduce costos en un 60% debido a que solo requieren 4cm de relleno, y a la vez reduce la mano de obra y periodo de implementación de su instalación. [2]

El Diamond grid se ha utilizado en pistas de aterrizaje, estacionamientos de autos, senderos, etc, en los cuales se han obtenido hasta el momento resultados positivos en el ámbito económico y mecánico, posicionándolo como una buena opción dentro del mercado de la construcción para el reforzamiento del pavimento de concreto convencional. [2]

Se busca experimentar con este material llamado poliuretano termoplástico, debido a que posee características similares a las del Diamond grid, aunque según sus antecedentes solo haya sido ensayado como adición de emulsiones asfálticas, mas no como una geocelda. Sin embargo, se tuvo como resultado la modificación de la viscosidad y la resistencia del cemento asfáltico original, satisfaciendo las propiedades de ductilidad y viscosidad estándares para mejorar la trabajabilidad, además siendo apto para emplear en climas cálidos y con probabilidades de que se pueda crear una nueva opción dentro del mercado de la construcción.

Ante estos antecedentes se tomará al Diamond grid como muestra patrón para la elaboración de una nueva geocelda hecha con poliuretano termoplástico (TPU).

Esta investigación busca elaborar un nuevo sistema con este material, que tenga iguales o mejores propiedades mecánicas y económicas que las que posee el Diamond grid, por esto será sometido a ensayos de laboratorio que determinarán si cumplen con los criterios necesarios para ser empleado como una nueva opción de refuerzo para un pavimento de concreto convencional.

De esta manera la formulación del problema es: ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de un pavimento de concreto reforzado con geoceldas de poliuretano termoplástico en comparación a uno reforzado con geoceldas Diamond grid?

Se justificará en diferentes aspectos y se describirán a continuación:

En la **justificación técnica**, la investigación de obtener resultados favorables presentaría ventajas significativas debido a que el TPU manifiesta características como flexibilidad, elasticidad y durabilidad frente a la abrasión, aceites y productos químicos. Además, según la aplicación que ha tenido en diferentes aspectos se ha encontrado su alta resistencia a los impactos que permite prolongar su vida útil, lo cual llegarían a reducir significativamente los gastos por trabajos de mantenimiento y reparación.

En la **justificación social**, el presente proyecto permitiría la construcción de pavimentos más duraderos y seguros, que reduciría los accidentes y mejorará la seguridad para conductores y peatones. También aumentaría la oportunidad laboral, debido a que habrá más demanda de personal para su instalación.

Desde la **justificación económica**, debido a que promete una mayor vida útil del material, requeriría menor gasto público en reparaciones y mantenimiento. Además, su instalación eficiente puede reducir los gastos por servicios de obra y el periodo de inactividad durante la etapa constructiva.

Finalmente, en la **justificación ambiental**, con la presente investigación se buscaría descubrir nuevos materiales que aportarían beneficios ambientales al ser reciclables y reduciendo el uso de aquellos que pueden ser contaminantes, aumentando la concienciación sobre la importancia de utilizar materiales sostenibles, reduciendo la huella ambiental y la generación de residuos, contribuyendo también a una mejor calidad del aire.

Acto seguido, se plantearon los objetivos indispensables para poder desarrollar la investigación, considerando como objetivo principal comparar las propiedades mecánicas del pavimento de concreto reforzado con Diamond Grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico. Luego se presentaron objetivos específicos teniendo: Realizar el diseño de una geocelda en el programa Solidworks con las mismas dimensiones que las geoceldas Diamond grid; Imprimir en 3D el diseño elaborado de las nuevas geoceldas de poliuretano termoplástico; Determinar las características físico-mecánicas de las probetas con Diamond grid; Determinar las características físico-mecánicas de las probetas con poliuretano termoplástico; Realizar un análisis comparativo según los resultados de laboratorio; Determinar la diferencia económica entre el pavimento de concreto reforzado con Diamond Grid y con geoceldas de poliuretano termoplástico.

Revisión de literatura

Antecedentes

S. Hernández, A. Casas y W. Aperador, “Design and manufacture of a protective device for elbows using flexible polymeric material with high mechanical resistance, through 3D additive manufacturing”, *Scientia et Technica*, vol. 25, diciembre 2020

Nos relata el [3] que se estudiaron las características mecánicas del Poliuretano Termoplástico a través de análisis de tensión y compresión en 11 probetas con diferentes estructuras internas. El propósito era hallar la estructura que mejor absorbiera capacidad energética antes de la deformación plástica. El análisis y pruebas en el software ANSYS mostraron que la disposición estructural con geometría cúbica fue la que mejor disipó la energía aplicada. Los resultados indicaron que el material puede comportarse de manera similar a un resorte, almacenando y disipando energía de manera eficiente.

T. Xu, W. Shen, X. Lin, and Y. M. Xie, “Mechanical Properties of Additively Manufactured Thermoplastic Polyurethane (TPU) Material Affected by Various Processing Parameters”, *Polymers*, vol. 12, no. 12, p. 3010, diciembre 2020

El artículo [4] presenta un innovador flujo de trabajo para la construcción de estructuras de geometría compleja mediante moldes de poliuretano termoplástico (TPU) fabricados aditivamente. Los moldes de TPU, debido a su resistencia, flexibilidad y costo asequible, se proponen como una solución ideal para el vaciado de hormigón en estructuras con superficies curvadas en múltiples direcciones. A través de pruebas mecánicas y la determinación de criterios de diseño, el estudio establece métodos para fabricar y preparar estos moldes, optimizando su uso y asegurando la integridad durante el proceso de desmoldeo. Se desarrollaron técnicas de subdivisión de los moldes para facilitar la extracción del hormigón y se seleccionaron agentes desmoldantes adecuados según las condiciones del vaciado.

El flujo de trabajo permite reutilizar los moldes de TPU, lo que representa una ventaja económica y sostenible en la construcción. Se fabricaron dos estructuras de hormigón de geometría compleja siguiendo este método, logrando alta precisión dimensional. Este estudio es pionero en el uso sistemático de moldes de TPU impresos en 3D para la fabricación de estructuras complejas de hormigón y sugiere aplicaciones potenciales en proyectos de arquitectura e ingeniería a gran escala. Las técnicas desarrolladas ofrecen nuevas oportunidades para la construcción de estructuras innovadoras y precisas.

T. Allami, A. Alamiery, MH Nassir y AH Kadhum, “Investigating Physio-Thermo-Mechanical Properties of Polyurethane and Thermoplastics Nanocomposite in Various Applications”, *Polymers*, vol. 13, núm. 15, págs. 1–24, julio 2021.

El artículo [5] investiga las propiedades físico-térmico-mecánicas de nanocompuestos de poliuretano (PU) y poliuretano termoplástico (TPU). Se observa que el TPU, compuesto por segmentos duros y blandos, presenta una estabilidad térmica mejorada con la adición de nanomateriales como nanotubos de carbono (CNT) y nanoarcilla.

El PU modificado con Cloisite®30B mostró incrementos en la rigidez longitudinal y el límite de esfuerzo en tensión del 110% y 160%, respectivamente. El TPU tiene dos temperaturas de transición vítrea (T_g) y su estabilidad térmica aumenta con la adición de nanomateriales. Además, los nanocompuestos de TPU-CNT mostraron mejoras significativas en la piezoresistividad y conductividad eléctrica, haciendos útiles en aplicaciones biomédicas y ambientales. También se investigó el comportamiento acústico y se encontró que los materiales basados en TPU mejoran la absorción de sonido.

L. Rodríguez-Parada, S. de la Rosa, y PF Mayuet, “Influence of 3D-Printed TPU Properties for the Design of Elastic Products”, *Polymers*, vol. 13, no. 15, p. 2519, julio 2021.

El artículo [6] examina cómo la impresión 3D con poliuretano termoplástico (TPU) puede influir en el diseño de productos elásticos. El estudio se centra en el uso de la tecnología de fabricación de filamento fundido (FFF) para personalizar las propiedades elásticas de los productos, variando la geometría interna y la densidad de relleno. Se realizaron pruebas de compresión en más de 100 especímenes de TPU, descubriendo que la densidad interna afecta directamente la elasticidad. Los resultados revelan que la orientación de los especímenes también incide en la capacidad resistiva frente a esfuerzos compresivos, con mayores magnitudes en la orientación vertical. Se desarrolló un teclado flexible totalmente funcional para validar los hallazgos. El estudio concluye que la personalización de las estructuras internas permite obtener productos con elasticidades específicas, útiles para aplicaciones industriales, médicas y de consumo, con un ahorro en material y tiempo de producción.

J. Briceño, G. González, B. Briceño, y P. Castellanos, “Comparación del desprendimiento de material en pavimentos rígidos reforzados con malla electrosoldada o fibras”, Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 40, núm. 3, págs. 331-338, agosto 2019.

Tienen como propósito en esta investigación [7] evaluar las oposiciones en el desligamiento de componentes en pavimentos rígidos según el tipo de refuerzo usado: malla electrosoldada, microfibras o macrofibras, mediante una similitud grande de dicho desligamiento. Se analizaron once vigas de concreto usando pruebas de comportamiento frente a sollicitaciones flexionales para hallar el coeficiente de ruptura, que mide la resistencia del concreto.

Los resultados mostraron que las microfibras son el refuerzo más efectivo para reducir el desligamiento del componente, luego están las macrofibras y, en último lugar, la malla electrosoldada, que resultó menos eficiente. Además, se encontró que las macrofibras aumentan significativamente la capacidad flexural en comparación con el sistema de refuerzo estructural electrosoldado, las microfibras y la muestra sin refuerzo.

P. A. Llerena de los Ríos, “Implementación del nuevo sistema de pavimentos compuestos con Diamond Grid para el mantenimiento de vías deterioradas en el Centro Portuario Tramarsa en la ciudad de Ilo, Moquegua”, Tesis de Ingeniería Civil, Univ. Ricardo Palma, Lima, Perú, 2021.

El trabajo investigativo [8] evalúa la efectividad de las geomallas Diamond Grid en mejorar la resistencia y viabilidad económica del pavimento. Utilizando un análisis de datos cuantificables y un esquema experimental, se establecieron diferencias a partir de los resultados experimentales de las pruebas bajo esfuerzos compresivos y flexionales en especímenes de concreto con y sin Diamond Grid. Se concluyó que las geomallas incrementan significativamente la resistencia del pavimento, y el proyecto es económicamente viable, con un VAN de S/. 199,955.59 y una TIR de 58%.

M. E. Lázaro Linarez y L. S. Telles Córdova, “Influencia del sistema Diamond Grid en el mejoramiento de la resistencia a la compresión en un pavimento en la ciudad de Trujillo 2018”, Tesis, Facultad de Ingeniería Civil, Univ. Nacional de Trujillo, Perú, 2018.

La investigación [9] tiene como objetivo determinar cómo influye este sistema en la resistencia del pavimento. Utilizando un diseño experimental, se evaluaron tres tipos de celdas (individual, compuesta y sin bordes) con y sin relleno.

Se encontró que los elementos individuales y compuestas con relleno mostraron un incremento significativo en la resistencia, con factores de mejora de 1.58 y 4.27, respectivamente. En cuanto a los costos, el uso de la tecnología Diamond Grid representa una optimización de gastos del 19% frente a los pavimentos flexibles. Además, este sistema potencia la capacidad resistente del terreno y recorta los gastos de mantenimiento.

E. L. Pinto Condori y P. Rojas Huamanca, “Análisis comparativo entre un pavimento rígido convencional y un pavimento rígido con geoceldas en la Av. Augusto B. Leguía, Ciudad de Puquio, Ayacucho – 2021”, Tesis, Univ. Privada del Norte, Lima, Perú, 2021.

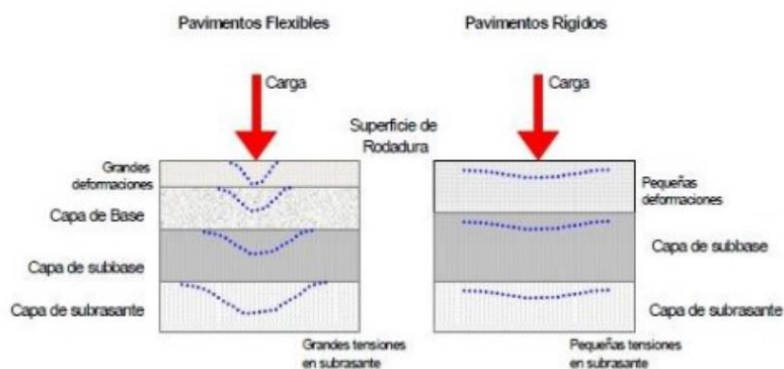
La tesis [10] compara ambos estilos de pavimento en relación con la resistencia y costo. Se concluye que la integración de geoceldas incrementa la rigidez del pavimento bajo cargas compresivas y reduce el espesor necesario, lo que disminuye el costo en un 5%. El enfoque es cuantitativo y experimental, empleando la guía AASHTO 93 para formular la configuración de los pavimentos.

Bases teóricas

Pavimento:

Constituye una estructura compuesta por estratos consecutivos asentados sobre la subestructura de la vía, diseñada para sostener y disponer los esfuerzos producidos por los autos, mejorando la seguridad y comodidad del tránsito. Generalmente, consta de: subbase, base y capa superficial de rodadura. Existen varios tipos de pavimentos, como los flexibles y los rígidos, cada uno con características diferentes en cuanto a materiales y diseño estructural, siendo los pavimentos rígidos de concreto los más duraderos y los flexibles, como el asfalto, más económicos a corto plazo. Su diseño depende de factores como el tráfico, el clima y el tipo de suelo. [11]

Ilustración 1: Capas de los pavimentos según su tipo



Fuente: Manual para diseño de pavimentos, 2002.

Subbase:

Capa de un material mencionado con un grosor específico que contiene tanto la base como la capa de rodadura. Además, sirve para el drenaje y el control de la capilaridad hídrica. De acuerdo con la tipología, diseño y dimensiones del sistema pavimental, esta capa es potencialmente prescindible. Podría estar conformada por componente granular (con un CBR de 40% o más) o mejorada con asfalto o cemento. [11]

Subrasante:

Capa de suelo inalterado o tratada que es adecuado de base para el pavimento. Su función es aguantar las cargas que provienen de las capas superiores y distribuir las de manera uniforme al suelo subyacente. Si esta capa no tiene la capacidad de carga adecuada, se deben implementar métodos de estabilización para mejorar sus propiedades y asegurar la durabilidad del pavimento. [11]

Base:

Capa ubicada bajo la capa de rodadura, cuyo objetivo principal es soportar, dividir y transferir las cargas producidas por el tránsito. Puede estar integrada por componente granular drenante (con un CBR de 80% o más) o mejorada con asfalto, cal o cemento. [11]

Capa de rodadura:

Revestimiento externo de la estructura pavimental, es bituminosa (flexible), de concreto (rígida) o de adoquines (semirrígida), y su objetivo es soportar exactamente el tránsito. [11]

Pavimento rígido:

Estructura de concreto diseñada para soportar grandes cargas debido a su alta rigidez. Se construye con losas de concreto sobre una base, lo que permite que las cargas se distribuyan de manera más uniforme en áreas amplias, reduciendo el impacto en la subrasante. Este tipo de pavimento ofrece mayor durabilidad y menores necesidades de mantenimiento en comparación con los pavimentos flexibles. [12]

Cemento Portland:

Material básico en la construcción que, al combinarse con agua, arena y grava, forma una mezcla que al endurecerse adquiere gran resistencia. El tipo más utilizado es el cemento Portland, que se forma mediante la activación térmica de componentes calcáreos y de origen arcilloso para producir clinker. Este componente es clave en la producción de concreto, ya que otorga cohesión y resistencia a las estructuras construidas.[13]

El cemento Portland tipo I es el más adoptado en la construcción, adecuado para proyectos que no requieren características específicas, como alta resistencia inicial o control del calor de hidratación. Se compone principalmente de clinker y algo de yeso, lo que le permite fraguar y endurecer adecuadamente. Es ideal para la producción de concreto en diversas estructuras, como pavimentos y edificaciones, donde las condiciones de exposición no son extremas. [14]

Tabla I: Categorías de Cemento Portland

TIPO	CARACTERÍSTICA	USO
I	Normal	De uso común, cuando no se requieren propiedades particulares que provoquen la necesidad de otro tipo de cemento.
IA	Normal	De uso común, con incorporador de aire.
II	Moderado	Puede ser de uso común o también cuando se requiera una moderada resistencia acción de sulfatos o se necesita un moderado calor de hidratación.
IIA	Moderado	Igual uso y características del Tipo II más incorporador de aire.
III	Elevadas resistencias	De uso donde se necesite lograr una alta resistencia a una edad temprana.
IIIA	Elevadas resistencias	Mismo uso y características del Tipo III más incorporador de aire.
IV	Bajo calor de hidratación	De uso cuando se necesita obtener un calor de hidratación muy bajo.
V	Elevada resistencia ante la acción de sulfatos	Puede ser de uso general y también cuando se requiera una alta resistencia frente a la agresión de sulfatos.

Fuente: ASTM C 150

Agua:

Componente clave en la construcción, utilizada principalmente para mezclar con concreto y mortero. Su calidad es vital, ya que el uso de agua contaminada puede perjudicar las características del cemento y disminuir la resistencia estructural. Además, el agua es crucial para el tratamiento del concreto durante su curado, ya que mantiene la humedad necesaria para un adecuado fraguado. La cantidad de agua también afecta la trabajabilidad del concreto, por lo que debe ser medida con precisión. [15]

Agregados:

Factores esenciales en la construcción, utilizados en la preparación del material cementicio y mortero. Agregados finos, cuya proporción es menor a 4,75 mm, suelen ser de origen natural, como la arena, o pueden ser obtenidos de la trituración de rocas. Se emplean para colmatar las discontinuidades entre los agregados gruesos, optimizando la trabajabilidad y la cohesión del concreto.

Tabla II: Porcentaje que pasa según la malla

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA
3/8''	100
N° 4	95 a 100
N° 8	80 a 100
N° 16	50 a 85
N° 30	25 a 60
N° 50	5 a 30
N° 100	0 a 10
N° 200	0 a 3

Fuente: Norma ASTM C 136

Por otra parte, los agregados gruesos, con tamaños mayores a 4,75 mm, incluyen elementos como la grava y la piedra molida.

Estos agregados proporcionan resistencia y durabilidad al concreto, siendo fundamentales en la construcción de estructuras como carreteras, pavimentos y edificaciones.

La óptima combinación y proporción de dichos agregados dentro de la composición del concreto influyen notablemente en los atributos físicos y la respuesta mecánica de las construcciones realizadas. [16]

Confitillo:

Estas partículas duras y resistentes aumentan el volumen de la mezcla de concreto y mejoran su durabilidad. Su origen es la disgregación de materiales pétreos, contribuyendo también a la resistencia estructural. También disminuye el porcentaje de vacíos. [16]

Tabla III: Huso utilizado para granulometría

HUSO 8			
1/2"	12.70	100	100
3/8"	9.52	85	100
Nº 04	4.75	10	30
Nº 08	2.36	0	10
Nº 16	1.19	0	5

Fuente: Norma ASTM C 33

Geosintéticos:

Los geosintéticos son materiales de gran importancia en la construcción de carreteras, ya que ofrecen múltiples ventajas que mejoran la durabilidad y el rendimiento de las infraestructuras viales. Estos materiales, que incluyen geotextiles, geomallas y geoceldas, desempeñan funciones como refuerzo, separación, filtración y drenaje. Al hacerlo, ayudan a prevenir problemas como el deslizamiento de los materiales y la acumulación de agua, lo que puede dañar las estructuras viales.

Los geotextiles, por ejemplo, actúan como barreras que evitan la mezcla de diferentes capas de suelo, lo que ayuda a mantener la integridad de la carretera. Asimismo, permiten el paso del agua sin permitir el movimiento de partículas de suelo, contribuyendo a un drenaje eficiente y evitando bloqueos en el sistema de drenaje. Las geomallas son utilizadas para reforzar el suelo y mejorar la distribución de cargas, lo que reduce la deformación y aumenta la capacidad de carga de las carreteras, especialmente en suelos problemáticos.

Por otro lado, las geoceldas, que son estructuras tridimensionales, proporcionan soporte estructural adicional y ayudan a controlar la erosión.

En resumen, la incorporación de geosintéticos en la construcción de carreteras no solo mejora su resistencia y estabilidad, sino que también extiende su tiempo de vida operativa y disminuye los gastos por trabajos de mantenimiento a largo plazo. [17]

Geoceldas Diamond Grid:

[2]Es un avanzado producto no inflamable desarrollado utilizando tecnología australiana. Está fabricado de prolipropileno 100% reciclado. Este sistema está especialmente diseñado para la ejecución de proyectos viales, rutas y parkings. Ha presentado un rendimiento destacable en Australia y Estados Unidos, en el que se ha aplicado en distintos entornos, incluyendo accesos viales, zonas rurales y aeropuertos, etc. Algunos de los usos más comunes del Diamond Grid incluyen: construcción de carreteras y caminos, en donde se utiliza para estabilizar el suelo y proporcionar una base sólida y duradera; estacionamientos y áreas de carga, ayuda evitando el hundimiento del suelo y garantizando una superficie firme y estable; control de la erosión, se utiliza en proyectos de restauración ambiental y control de la erosión para estabilizar taludes, verificar el flujo de agua y evitar la pérdida de suelo en áreas expuestas a la erosión, como laderas; estabilización de suelos blandos, es útil en terrenos pantanosos, arcillosos o con poca capacidad de carga, donde se requiere una solución para mejorar la estabilidad del suelo y permitir el paso seguro de vehículos y peatones; aplicaciones industriales y comerciales, se emplea en suelos de almacenes, áreas de trabajo y zonas de acceso para vehículos y maquinaria, garantizando una superficie resistente y de bajo mantenimiento. Ha mostrado ser muy eficaz en costos reducidos de mantenimiento en carreteras, caminos, y otras zonas que demandan superficies robustas y duraderas, adaptado a todo tipo de transporte.

El sistema Diamond Grid presenta las siguientes características:

Autoriza el paso del agua por medio de su diseño de rejilla, lo que facilita la disminución del estancamiento y el peligro de inundaciones, contribuyendo así a la gestión del agua.

Apto para tolerar cargas significativas y mantener su resistencia ante la abrasión causada por el tráfico rodado y peatonal.

Posee una flexibilidad de hasta un 96%, por lo que se adapta a una variedad de terrenos y condiciones, lo que lo hace adecuado para proyectos en entornos diversos, desde áreas urbanas hasta zonas rurales y costeras. Es ignífugo, en ocasión de incendio, el producto procederá de derretirse.

Opción respetuosa con el medio ambiente para proyectos de construcción y paisajismo.

Su diseño modular y liviano facilita su transporte e instalación, lo que puede ahorrar tiempo y costos en comparación con otras soluciones de pavimentación y estabilización del suelo.

Para su instalación deben considerarse los siguientes pasos:

Utilizar una motoniveladora y una barra espaciadora para emparejar el terreno.

Extender un geotextil sobre el terreno nivelado.

Si es que el terreno sigue desnivelado se puede esparcir una pequeña capa de finos de 1cm y una pequeña capa de piedra molida de menos de 0.5cm como sustrato.

Se procede a instalar el diamond grid empezando en una esquina con las orejetas macho con dirección hacia afuera en ambos lados machos, y posteriormente se vuelve a compactar el material.

Verter en el diamond grid con el tipo de relleno a utilizar, empleando una pala bobcat y una barra espaciadora.


En el caso de que se rellene con concreto se debe realizar su curado respectivo.

Ilustración 2: Condiciones técnicas del Diamond grid

ESPECIFICACIONES

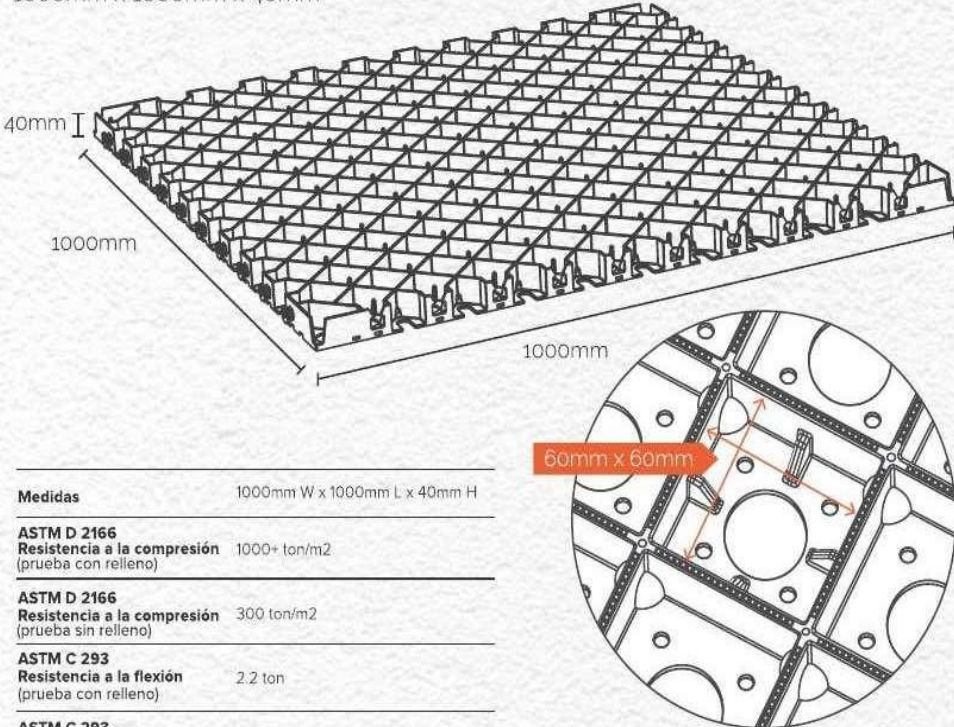
DIAMOND GRID HD

1000mm x 1000mm x 40mm



PROYECTOS
CIVILES / MINERÍA / AGROINDUSTRIA



www.diamondgrid.com



Medidas	1000mm W x 1000mm L x 40mm H
ASTM D 2166 Resistencia a la compresión (prueba con relleno)	1000+ ton/m ²
ASTM D 2166 Resistencia a la compresión (prueba sin relleno)	300 ton/m ²
ASTM C 293 Resistencia a la flexión (prueba con relleno)	2.2 ton
ASTM C 293 Resistencia a la flexión (prueba sin relleno)	0.2 ton
Peso por celda	6 Kg.
Razón de llenado por celda	1 metro cúbico de relleno x 25m ²
Permeabilidad	Hasta 96%
Relleno	Material base: grava, guijarros, pasto, tierra, concreto, alquitrán
Instalación	Ver la siguiente página / Contáctenos

Diamond Grid HD está reforzado con escuadras de alta resistencia al desgaste y más espacios vacíos para permitir mayor permeabilidad del agua.

DIAMOND GRID HD esta especialmente diseñado para aplicaciones civiles, mineras y agroindustriales. Su tamaño extremadamente adaptable de 1000mm x 1000mm, protege el suelo contra la erosión, mejora el drenaje, fortalece el terreno en vías de acceso, losas de concreto para patio de maniobras, estacionamientos, refuerzos con bitumen asfáltico y muchas aplicaciones más. Diamond Grid asegura la durabilidad frente a cargas pesadas y al uso constante.

* Probado por: Facultad de Ingeniería y Centro de Excelencia de Estudios en Compuestos de Fibra Artificial, Universidad de Southern Queensland.

Perú | Av. Los Tulipanes Mz. G Lt. 14, Lima 16 - Perú • peru@diamondgrid.com • (+51) 949 232 479

Fuente: Empresa Diamond grid

Poliuretano termoplástico (TPU)

[3]Es un tipo de elastómero que combina las propiedades del caucho con la procesabilidad de los plásticos termoplásticos. Es un material sintético muy utilizado que integra las características del plástico y del caucho. Destaca por su alta elasticidad, resistencia a la abrasión y capacidad para soportar deformaciones repetidas. A diferencia de los poliuretanos termoestables, los TPU pueden fundirse y moldearse múltiples veces sin degradar sus propiedades mecánicas. Esto se debe a su estructura química, que permite que las cadenas poliméricas se deslicen y se reorganicen bajo el calor. Los TPU son utilizados en distintos rubros, desde calzado y componentes automotrices hasta recubrimientos de pavimentos, gracias a su versatilidad y resistencia. Además, son reciclables, lo que los hace una opción más sostenible en comparación con otros polímeros.

La flexibilidad, principal característica del poliuretano termoplástico, permite que las piezas fabricadas con este material posean una elevada capacidad de amortiguación y una vida útil prolongada, manteniendo sus propiedades y resistencia a la deformación mejor que otros materiales.

El poliuretano termoplástico destaca como un elastómero, que se emplea para potenciar la apariencia y durabilidad de los pavimentos de hormigón. Por ello, es la resina más comúnmente empleada en construcciones industriales.

El TPU presenta un acabado altamente elástico y ofrece una resistencia notable a productos químicos, abrasión y condiciones ambientales.

El poliuretano termoplástico es sencillo de procesar y se puede reutilizar. Su capacidad de reciclaje disminuye los desechos, haciéndolo una opción más ecológica en comparación con muchas otras alternativas.

Es un material no solo más ligero, sino también muy resistente a la abrasión y a temperaturas extremas, desde los -40 hasta más de 125 °C.

Por último, el TPU es altamente resistente a agentes químicos, grasas, aceites e hidrocarburos.

Dentro de sus propiedades tenemos:

Tabla IV: Características del TPU

CARACTERÍSTICAS		
PROPIEDADES	RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA
DUREZA	60-85	Shore A a Shore D
DENSIDAD	entre 1.1 y 1.25	g/cm ³
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	35-55	Mpa
RESISTENCIA A LA TEMPERATURA	-40 a +125	°C
ELASTICIDAD	400 a más	%

Fuente: Elaboración propia

Granulometría - ASTM C 136

Define el procedimiento para llevar a cabo un análisis de la clasificación de medidas de partículas en agregados mediante el uso de tamices. A través de este método, se cuantifica la fracción de material que no atraviesa el tamiz, asegurando que los agregados sean apropiados para aplicaciones en construcción. Este control es crucial para lograr una adecuada compactación, trabajabilidad y resistencia en mezclas de hormigón y otros materiales. [18]

Peso unitario seco y compactado - ASTM C 29

Estipula el procedimiento para estimar la densidad volumétrica (peso unitario) y el volumen relativo de huecos en la masa de agregados, tanto gruesos como finos.

El peso unitario se entiende como el peso del material granular con volumen definido determinado, teniendo en cuenta las cavidades existentes entre los granos.

Este valor es fundamental en la formulación de mezclas de concreto, dado que impacta en la cantidad asignada de cemento y agua y otros materiales necesarios. [19]

Peso específico - ASTM C 127 / ASTM C 128

ASTM C127:

Esta norma se aplica al cálculo del peso específico relativo y la absorción de agregados gruesos, es decir, los que quedan atrapados en el tamiz No. 4 o que tienen un tamaño mayor de 4.75 mm. [20]

ASTM C128:

Identificación del peso específico relativo y la absorción de agregados finos, que son aquellos que pasan por el tamiz No. 4, con un tamaño menor de 4.75 mm.

Ambas normas especifican cómo deben prepararse y secarse los especímenes, así como los cálculos necesarios para obtener el peso específico (en condiciones secas, saturadas y aparente) y el porcentaje de absorción. [21]

Porcentaje de absorción - ASTM C 127 / ASTM C 128

Norma ASTM C127 (agregado grueso):

Formula el método experimental para cuantificar la densidad y la capacidad de absorción de los agregados gruesos. Se establece que la proporción de absorción no debe superar el 3% para asegurar su calidad. [20]

Norma ASTM C128 (agregado fino):

Detalla el protocolo utilizado para la evaluación de la densidad y absorción de los agregados finos, como la arena. Se recomienda que el valor porcentual de absorción también se mantenga por debajo del 3%, aunque en ciertas situaciones podría ser más alto, dependiendo de la fuente del material. [21]

Contenido de humedad - ASTM C 566

El marco normativo que controla los métodos y parámetros para la estimación del contenido de humedad es la ASTM C566. Esta norma se aplica tanto a agregados finos como gruesos. El monitoreo del porcentaje de humedad en los agregados es vital, dado que incide en la dosificación de los elementos constitutivos en la composición del concreto, lo que a su vez asegura la calidad del producto final. [22]

Ilustración 3: Expresión para medir el porcentaje de humedad en los agregados

$$\text{Contenido de Humedad(\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Fuente: ASTM C 566

Resistencia a la compresión - ASTM C39

Clasifica los métodos para medir la resistencia compresiva de muestras cilíndricas de concreto. Esta prueba es esencial para evaluar la calidad del concreto y su adecuación en proyectos de construcción. La norma proporciona directrices en relación con la preparación de los especímenes, el equipo necesario y las condiciones de prueba, así como sobre cómo presentar los resultados. Es una referencia importante en el campo constructivo para certificar que el concreto acate las normativas establecidas de resistencia. [23]

Resistencia a la flexión - ASTM C 78

Detalla cómo medir la resistencia a esfuerzos flexionales del concreto usando prismas. En el ensayo, se aplica una carga a 1/3 de su largo hasta que la muestra se rompe. Los especímenes deben ser curadas adecuadamente, y las pruebas suelen realizarse a los 28 días. Es importante mantener controladas la temperatura y la humedad durante el proceso. [24]

Diseño de mezcla – ACI 211

La norma propone mecanismos para evaluar las proporciones de mezcla de concreto, asegurando trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Proporciona criterios para la elaboración de mezclas de concreto estándar, pesado y de gran volumen. Explica de qué manera estimar las dosis necesarias de cemento, agua, agregados y aditivos, teniendo en cuenta la resistencia requerida, el tamaño del agregado y las condiciones ambientales. También sugiere modificaciones para mezclas en situaciones particulares y ofrece tablas y fórmulas para facilitar los cálculos. Es una referencia empleada en proyectos de construcción. [25]

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Según el fin que se persigue:

Investigación aplicada, busca nuevos conocimientos y experiencias cumpliendo con los objetivos de comparar las propiedades mecánicas de una geocelda dentro del mercado (Diamond grid) con una por investigar (TPU).

Según la metodología de estudio:

Investigación experimental, se creará una nueva geocelda con el fin de compararla con una ya hecha y se evaluará si el material cumple con lo estipulado.

Según la información analizada:

Investigación cuantitativa, debido a que luego de ser evaluadas las variables según los indicadores, se van a realizar análisis comparativos a los resultados arrojados.

Nivel de investigación

Nivel descriptivo, debido a que por medio del proyecto presentado se busca determinar y comparar las propiedades mecánicas de un pavimento de concreto con una geocelda convencional y un pavimento de concreto con una nueva geocelda elaborada de poliuretano termoplástico.

Diseño de investigación

La investigación es experimental por el hecho de que los especímenes se emplearon para hacer los ensayos respectivos y posteriormente se verificará y comparará el desempeño del comportamiento mecánico de ambos sistemas de refuerzos del pavimento de concreto.

Población, muestra, muestreo

Población

Se consideró como población a los especímenes cuadrangulares y prismáticos.

Muestra

Se contó con especímenes patrón que incluían un refuerzo de una geocelda Diamond grid de $f'c$ 280 kg/cm², luego se realizaría una impresión 3D de una geocelda de poliuretano termoplástico con las mismas características de la muestra patrón.

Muestreo

De tipo no probabilístico. Se tomaron en cuenta 9 probetas cuadradas reforzadas con geoceldas diamond grid y 9 probetas cuadradas reforzadas con geoceldas de poliuretano termoplástico, las cuales serán evaluadas mediante la prueba de resistencia a compresión. También se obtuvieron 9 probetas prismáticas reforzadas con geoceldas diamond grid y 9 probetas prismáticas reforzadas con geoceldas de poliuretano termoplástico con el fin de evaluar la resistencia a la flexión

Tabla V: Especímenes cuadrados para prueba de Resistencia a la compresión

PRUEBA	MUESTRA	EADADES			TOTAL
		7 días	14 días	28 días	
Resistencia a la compresión	Muestra reforzada con Diamond Grid	3	3	3	9
	Muestra reforzada con Poliuretano termoplástico	3	3	3	9
ESPECÍMENES POR ENSAYO					18

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI: Especímenes prismáticos para prueba de Resistencia a la flexión

PRUEBA	MUESTRA	EIDADES			TOTAL
		7 días	14 días	28 días	
Resistencia a la flexión	Muestra reforzada con Diamond Grid	3	3	3	9
	Muestra reforzada con Poliuretano termoplástico	3	3	3	9
ESPECÍMENES POR ENSAYO					18

Fuente: Elaboración propia

Criterio de selección

Criterio de inclusión

- ✓ Las geoceldas Diamond grid usadas fueron de uso comercial.
- ✓ Los materiales para la impresión 3D fueron de uso comercial al igual que el poliuretano termoplástico.
- ✓ El material granular fino y grueso fue extraído de la cantera “Tres Tomas” (distrito de Mesones Muro).
- ✓ Se aplicó agua potable extraída del sistema de abastecimiento de Chiclayo proporcionada por la universidad.
- ✓ Se desarrollaron los ensayos correspondientes para los agregados en donde se pudo obtener la granulometría, pesos unitarios (secos sueltos y compactados), pesos específicos, porcentaje de absorción y contenido de humedad.
- ✓ Se desarrolló el diseño de mezcla del concreto conforme a lo que especifica el ACI-211.
- ✓ Para la totalidad de las pruebas se hizo uso de Cemento Portland Tipo I.
- ✓ Se continuó a colocar las geoceldas dentro de los moldes de madera tornillo para luego ser rellenas con la mezcla diseñada anteriormente.
- ✓ El curado del concreto de todas las probetas fue durante 28 días.

Con respecto a los ensayos realizados se siguieron las siguientes pautas:

Ensayo de resistencia a la compresión

Se ha utilizado la norma ASTM C 39 [3] como base para definir el número de ejemplares requeridos para el ensayo a la compresión debido a que la geocelda no cuenta con una normativa en específico. La norma nos señala que deben ser como mínimo 2 especímenes. Se ha tomado en consideración 3 probetas cuadradas de dimensiones: 12cm de largo, 12cm de ancho y 4 cm de altura debido a que es el espesor de la geocelda.

Ensayo de resistencia a la flexión

Se ha utilizado la norma ASTM C-78 [24] como indicador para señalar el conjunto de especímenes para realizar el ensayo a la flexión debido a que la geocelda no cuenta con una normativa en específico. La norma nos señala que deben ser como mínimo 2 especímenes. Se ha tomado en consideración 3 probetas prismáticas de dimensiones: 100cm de largo, 16cm de ancho y 4 cm de altura debido a que es el espesor de la geocelda.

Hipótesis y Operacionalización de variables

Hipótesis

Las propiedades mecánicas de un pavimento de concreto reforzado con poliuretano termoplástico son similares a un pavimento rígido reforzado con Diamond grid.

Operacionalización de variables

Variable Independiente

- ✓ Pavimento con geoceldas Diamond grid
- ✓ Pavimento con geoceldas de poliuretano termoplástico

Variable Dependiente

- Propiedades mecánicas de las geoceldas en mención

Tabla de Operacionalización de variables

Tabla VII: Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE				
VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE	MÉTODO DE MEDICIÓN
Sistemas de refuerzo de pavimentos	Pavimento con geoceldas Diamond grid	m2	100%	Balanza, reglas de medición
	Pavimento con geoceldas de poliuretano termoplástico	m2	100%	Ficha técnica del material
VARIABLE DEPENDIENTE				
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE	MÉTODO DE MEDICIÓN
Evaluación del comportamiento mecánico	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión	Kg/cm2	ASTM C39
		Resistencia a la flexión	Kg/cm2	ASTM C78
VARIABLE DEPENDIENTE				
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE	MÉTODO DE MEDICIÓN
Pavimento con geoceldas de poliuretano termoplástico	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión	Kg/cm2	ASTM C39
		Resistencia a la flexión	Kg/cm2	ASTM C78
Pavimento con geoceldas Diamond grid	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión	Kg/cm2	ASTM C39
		Resistencia a la flexión	Kg/cm2	ASTM C78
Agregados	Propiedades	Granulometría	%	ASTM C 136
		Peso unitario seco y compactado	Kg/cm3	ASTM C 29
		Peso específico	Kg/cm3	ASTM C 127 / ASTM C 128
		Porcentaje de absorción	%	ASTM C 127 / ASTM C 128
		Contenido de humedad	%	ASTM C 566
Cemento	Tipo de cemento	Tipo I	-	ASTM C 150

Fuente: Elaboración propia

Técnica e instrumentos de recolección de datos

Para la demostración de la hipótesis se tomarán en cuenta los siguientes procedimientos para la correcta ejecución del proyecto:

- Adquirir y recopilar los antecedentes necesarios que tengan que ver con los materiales en evaluación.
- Definir qué ensayos se van a ejecutar en la investigación.
- Considerar las normas que serán tomadas en cuenta en los ensayos a realizar.
- Obtención de los materiales que se necesitarán para los ensayos.
- Ejecución de pruebas sobre los agregados y evaluación del comportamiento mecánico del diamond grid y poliuretano termoplástico.
- Acopio y confrontación de datos derivados de las pruebas realizadas en laboratorio.
- Análisis económico de ejemplares realizados.

Ensayos de laboratorio

Ensayos de los agregados

Análisis granulométrico del agregado fino y grueso

a. Conceptualización

El análisis granulométrico es clave para saber cómo se distribuyen los tamaños en los agregados, ya que podría influir en la resistencia estructural y la longevidad del concreto. La correcta granulometría nos permite lograr mejores mezclas, con menos vacíos y con mejores resistencias. También reduce el gasto de otros materiales como el cemento y el agua, como también favorece a evitar las grietas o la separación de los materiales. En conclusión, nos ayuda a satisfacer los criterios de calidad y resistencia del proyecto. [18]

b. Normativa

“Método de ensayo estándar para el análisis por tamizado de agregados finos y gruesos” - ASTM C 136.

c. Equipos, instrumentos y materiales

- Balanza
- Taras
- Cucharón
- Tamices correspondientes al tipo de agregado
- Horno
- Arena
- Confitillo

d. Procedimiento**✓ Agregado fino:**

Después de realizar el fraccionamiento de la muestra, según la norma ya mencionada se selecciona 500 gr y se coloca la muestra al horno por 24h. Luego procedemos a seleccionar los tamices que se utilizarán en el ensayo, teniendo a los siguientes: 3/8", N° 04, N° 08, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y el fondo. Seguidamente procedemos a verter la muestra de agregado sacada del horno por cada tamiz en donde se irá zarandeando de manera que se obtenga un retenido por cada uno. Posteriormente se lleva a cabo el pesaje en una tara el retenido de cada tamiz y se toma nota para posteriormente hacer los cálculos correspondientes y obtener la curva granulométrica tomando en cuenta los husos granulométricos según la norma.

✓ Agregado grueso (Confitillo):

Se ejecuta el fraccionamiento de la muestra, en conformidad con la norma ya mencionada se selecciona una parte más representativa la cual pesó 2666.26 gr y se coloca la muestra al horno por 24h. Luego procedemos a seleccionar los tamices que se utilizarán en el ensayo, teniendo a los siguientes: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 04 y fondo. Seguidamente procedemos a verter la muestra de agregado sacada del horno por cada tamiz en donde se irá zarandeando de manera que se obtenga un retenido por cada uno. Luego se efectúa el pesaje en una tara el retenido de cada tamiz y se toma nota para posteriormente hacer los cálculos y obtener la curva granulométrica tomando en cuenta el huso 8 según la norma.

e. Cálculos

- Utilizamos la siguiente fórmula para empezar por el cálculo del % de peso retenido:

$$\text{Porcentaje de peso retenido} = \frac{W_r}{W_s} \times 100\%$$

En donde:

Wr: peso retenido

Ws: peso seco de la muestra

- Para estimar % de retenido acumulado se procede a sumar el % retenido más el % de retenido acumulado de la malla anterior.
- El % que pasa se calcula restándole 100 a su correspondiente % de retenido acumulado.
- Se toma en cuenta los husos estipulados en la norma para saber el límite del porcentaje que debe pasar por cada tamiz. Para el agregado grueso (confitillo) se utilizó el Huso 8 debido a que el tamaño máximo resultó 1/2" y el tamaño máximo nominal de 3/8".

Tabla VIII: Husos granulométricos - Agregado fino

TAMIZ STANDARD (ABERTURA CUADRADA)			ASTM C-33 LIMITE TOTAL % PASANTE	
3/8"	9.520	mm	100	100
Nº 4	4.750	mm	95	100
Nº 8	2.360	mm	80	100
Nº 16	1.180	mm	50	85
Nº 30	0.600	mm	25	60
Nº 50	0.300	mm	10	30
Nº 100	0.150	mm	2	10

Fuente: ASTM C33

Tabla IX: Husos granulométricos - Confitillo

HUSO 8			
1/2"	12.70	100	100
3/8"	9.52	85	100
Nº 04	4.75	10	30
Nº 08	2.36	0	10
Nº 16	1.19	0	5

Fuente: ASTM C33

- Para el módulo de fineza usamos la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenidos acumulados } (3^{\circ} + 1\ 1/2 + 3/4^{\circ} + 3/8^{\circ} + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

- Después de los cálculos correspondientes y los límites estipulados en la normativa, se realiza la representación gráfica de la curva granulométrica.

f. Panel fotográfico

Ilustración 4: Fraccionamiento de agregado fino



Ilustración 5: Fraccionamiento de confitillo



Ilustración 6: Retención de agregado fino por cada tamiz



Ilustración 7: Retención de confitillo por cada tamiz



Ilustración 8: Fracción del 1° retenido - agregado fino

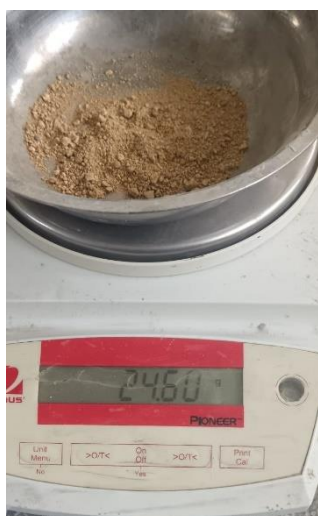


Ilustración 9: Fracción del 1° retenido - confitillo



Fuente: Elaboración propia

Peso volumétrico o unitario

a. Conceptualización

Es el ensayo desarrollado para calcular el valor del pesaje del agregado en relación con la capacidad del molde empleado, el cual se desarrollará de dos formas: suelto y compactado. [19]

b. Normativa

“Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente (Peso unitario) e índice de huecos en los áridos” - ASTM C 29.

c. Equipos, instrumentos y materiales

- Balanza
- Cucharón
- Martillo de goma
- Molde de probeta
- Varilla
- Arena
- Confitillo

d. Procedimiento

✓ *Peso unitario suelto*

Procedemos a tomar nota del peso del molde que se va a utilizar, este totalmente sin nada de muestra. Luego llenamos el molde con la muestra escogida desde una altura que no sobrepase a los 50cm. Posteriormente con la varilla se enrasa suavemente lo sobrante por encima del molde hasta que quede parejo para finalmente pesar lo que se ha obtenido entre la muestra y el molde. La metodología se repite en dos ocasiones con el fin de obtener un valor medio.

✓ *Peso unitario compactado*

Procedemos a tomar nota del peso del molde que se va a utilizar, este totalmente sin nada de muestra. Luego llenamos el molde con la muestra escogida desde una altura que no sobrepase a los 50cm y en 3 capas progresivamente. Por cada capa debemos varillar 25 veces de forma circular y realizando quince impactos con martillo de goma en la parte externa del molde. Una vez lleno en la última capa se enrasa suavemente lo sobrante por encima del molde hasta que quede parejo para finalmente pesar lo que se ha obtenido entre la muestra y el molde. El procedimiento se realiza dos veces para luego calcular un promedio.

e. Cálculos

- ✓ Utilizamos la fórmula para calcular el peso unitario suelto:

$$P.U.S.H. = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}}$$

- ✓ Utilizamos la siguiente fórmula para calcular el peso unitario suelto seco:

$$P.U.S.S. = \frac{P.U.S.H.}{1 - \frac{\% C.H.}{100}}$$

- ✓ Utilizamos la ecuación para calcular el peso unitario compactado:

$$P.U.C.H. = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}}$$

- ✓ Utilizamos la siguiente fórmula para calcular el peso unitario compactado seco:

$$P.U.C.S. = \frac{P.U.C.H.}{1 - \frac{\% C.H.}{100}}$$

f. Panel fotográfico

*Ilustración 10: Muestra A del P.U.S.S -
Agregado fino*



*Ilustración 11: Muestra B del P.U.S.S -
Agregado fino*



*Ilustración 12: Muestra A del P.U.C -
Agregado fino*



*Ilustración 13: Muestra B del P.U.C -
Agregado fino*



*Ilustración 14: Muestra A del P.U.S -
Confitillo*



*Ilustración 15: Muestra B del P.U.S -
Confitillo*



Ilustración 16: Muestra A del P.U.C - Confitillo



Ilustración 17: Muestra B del P.U.C - Confitillo



Ilustración 18: Enrasado del espécimen de agregado fino



Ilustración 19: Varillado del espécimen de confitillo



Fuente: Elaboración propia

Peso específico y absorción

a. Conceptualización

Viene a ser la correlación establecida en relación con la masa del agregado y el volumen equivalente de agua. [20]

b. Normativa

- “Método de ensayo estándar para determinar la densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso” - ASTM C 127.
- “Método de ensayo estándar para determinar la densidad, gravedad específica y absorción del agregado fino” - ASTM C 128.

c. Equipos, instrumentos y materiales

- Balanza
- Balde
- Taras
- Fiola
- Canastilla
- Horno
- Arena
- Confitillo
- Agua

d. Procedimiento**✓ *Agregado fino***

- Se dispone de 500 gramos de agregado fino para el análisis que ha sido tamizada en la malla #4.
- Tomamos una fiola de laboratorio en donde vertimos la muestra y la rellenamos con agua destilada hasta la marca que presenta ésta.
- Se tapa y agita continuamente para poder quitar las burbujas que están atrapadas, luego de terminar este proceso se deja por 24h reposando.
- Luego del tiempo pasado se coloca en una tara toda la muestra y se pesa para luego colocarse dentro del horno por 24h más.
- Una vez completado el tiempo de secado, la muestra es retirada del horno y se realiza su pesaje.

✓ *Agregado grueso*

- Se toma una muestra de agregado, se pasa por el tamiz #4 y lo que pase por la malla no se toma para la ejecución del procedimiento experimental.
- Se prosigue con el proceso de lavado de la muestra y se sumerge en un balde con agua por 24h.
- Pasado el tiempo necesario se bota el agua y se extiende la muestra para que se seque con aire natural y se pesa
- El espécimen saturado y superficialmente seco es colocado en una cesta metálica y posteriormente la inmersión en agua para poder ser pesada.

- Se saca la muestra del agua y metemos al horno por 24h más.
- Pasado el tiempo establecido se procede a sacar del horno para finalmente pesarse.

e. Cálculos

- Se aplica la expresión correspondiente para estimar el peso específico del agregado fino:

$$\text{Peso esp.} = \frac{\text{Peso de la muestra seca en el horno}}{\text{Peso de muestra sat. superf. seca} - \text{Peso del agua destilada}}$$

- Se recurre a la siguiente ecuación para obtener el peso específico del confitillo:

$$\text{Peso esp.} = \frac{\text{Peso de la muestra seca en el horno}}{\text{Peso muestra sat. superf. seca} - \text{Peso muestra sat. en agua}}$$

- Tenemos la siguiente relación matemática para obtener el grado de absorción:

$$G. \text{ absorción} = \frac{(\text{Peso muestra sat. sup. seca} - \text{Peso muestra seca en horno}) \times 100}{\text{Peso de muestra seca en el horno}}$$

f. Panel fotográfico

Ilustración 20: Agregados saturados en agua por 24h

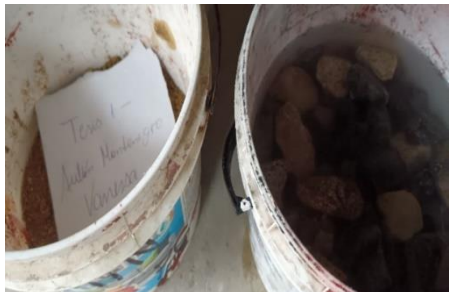


Ilustración 21: Muestra de agregado fino vertida a fiola



Ilustración 22: Eliminación de burbujas de aire en la fiola



Ilustración 23: Muestra de confitillo en canastilla sumergida en agua



Ilustración 24: Muestra sin burbujas a reposar por 24h



Ilustración 25: Peso de canastilla más confitillo sumergido en agua



Ilustración 26: Peso de fiola más agua y agregado fino

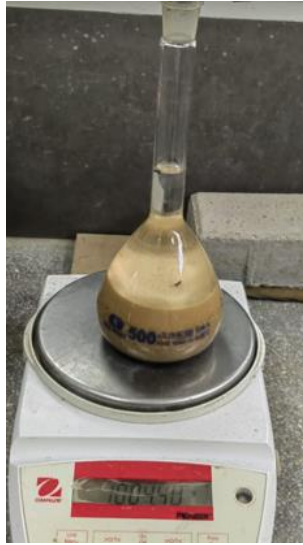
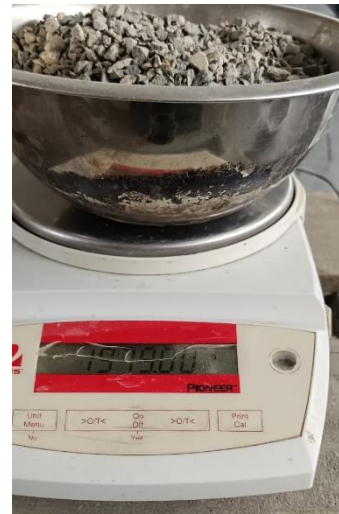


Ilustración 27: Peso del confitillo pasada las 24h en secado térmico



Fuente: Elaboración propia

Contenido de Humedad

a. Conceptualización

En este análisis podemos demostrar el contenido hídrico en el material granular que se va a utilizar en su estado normal. [22]

b. Normativa

“Método de ensayo estándar para contenido de humedad total del agregado por secado” - ASTM C 566.

c. Equipos, instrumentos y materiales

- Balanza
- Cucharón
- Taras
- Horno
- Arena
- Confitillo

d. Procedimiento

- ✓ Agregado fino
 - Se toma una muestra con un peso entre 500 a 1000gr. del cuarteo realizado.
 - La muestra elegida se destina al horno durante 24h.

- Después del tiempo necesario se extrae el espécimen del dispositivo térmico y finalmente se lleva a pesar.

✓ Agregado grueso

- Se toma una muestra con un peso de 5000gr.
- La muestra elegida se destina al horno durante 24h.
- Después del tiempo necesario se quita la muestra del horno y finalmente se pesa.

e. Cálculos

- ✓ Se recurre a la siguiente ecuación para estimar el contenido de humedad:

$$\text{Cont. humedad} = \frac{(\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca al horno})}{\text{Peso muestra seca al horno}} \times 100$$

f. Panel fotográfico

Ilustración 28: Muestra en estado húmedo - Agregado fino



Ilustración 29: Muestra extraída del horno en estado seco - Agregado fino



Ilustración 30: Muestra de confitillo en estado húmedo

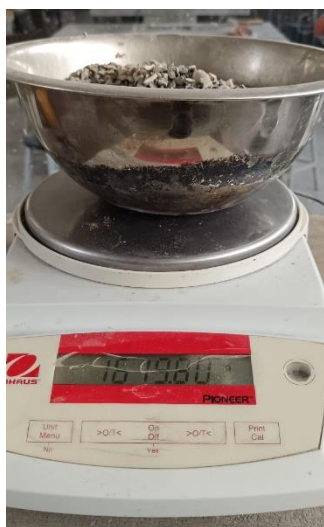


Ilustración 31: Muestra al horno de confitillo en estado seco



Fuente: Elaboración propia

Diseño de mezcla – Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Slump del concreto

a. Normativa

“Diseño de mezclas de concreto” – ACI 211

b. Equipos, instrumentos y materiales

- Balanza
- Cucharón
- Trompo
- Cono de abrams
- Wincha
- Varilla
- Cemento
- Agua
- Arena
- Confitillo

c. Procedimiento

- Realizamos las dosificaciones en gabinete utilizando los datos anteriores de los ensayos a los agregados.

Tabla X: Resistencias requeridas $F'cr$

Resistencia Especificada $F'c$ (kg/cm ²)	Resistencia Requerida $F'cr$ (kg/cm ²)
$F'c < 210$	$F'cr = F'c + 70$
$210 \leq F'c \leq 350$	$F'cr = F'c + 84$
$F'c \geq 350$	$F'cr = F'c + 98$ $F'cr = 1.10 F'c + 50$

Fuente: ACI 211

Tabla XI: % de aire atrapado

TNM del agregado Grueso	Aire Atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Fuente: ACI 211

Tabla XII: Agua en l/m^3

Asentamiento	Agua, en l/m^3 , para los tamaños máx nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154

Fuente: ACI 211

Tabla XIII: Volumen de agregado grueso por cada unidad volumétrica de concreto

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI 211

- Al obtener las cantidades a utilizar se vierten al trompo uno por uno para poder realizar la mezcla cementicia.
- Humedecemos el cono de asentamiento para su posterior relleno.
- Se va a realizar el relleno en 3 capas, por capa se efectúan 25 impactos verticales con una varilla; al completarse la última capa, se procede a enrasar para uniformizar la superficie del concreto. Se levanta el cono de manera suave para poder tener una mayor precisión con el asentamiento.
- Se coloca el cono volteado al costado de la mezcla y se coloca la varilla encima, desde ese punto se coge la wincha para poder medir su asentamiento respectivo.

Ilustración 32: Prueba de trabajabilidad con el dispositivo de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Obtención de geoceldas para ensayos a propiedades mecánicas

Geoceldas Diamond grid

a. Equipos, instrumentos y materiales

- Plancha de diamond grid
- Moladora

b. Procedimiento

Debido a que el diamond grid es un producto comercial se procede a realizar la compra de planchas en su distribuidora. Según los ensayos a realizar se corta de acuerdo al tamaño sugerido con ayuda de los antecedentes encontrados.

Ilustración 33: Corte de las geoceldas Diamond grid



Fuente: Elaboración propia

Geoceldas de Poliuretano termoplástico

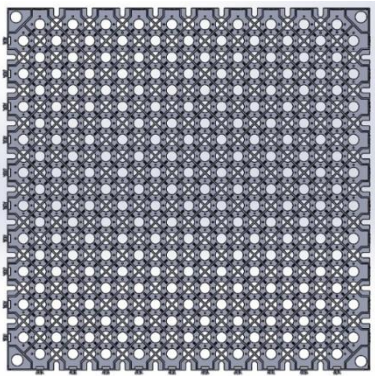
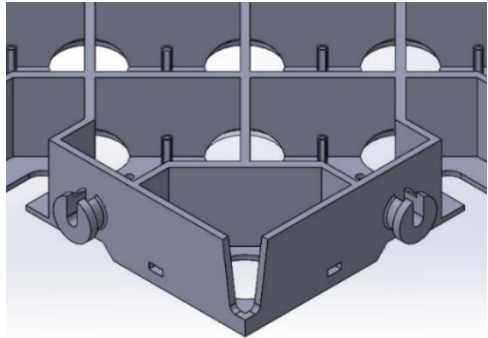
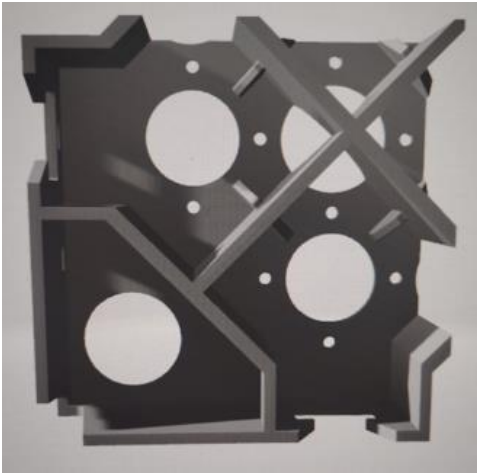
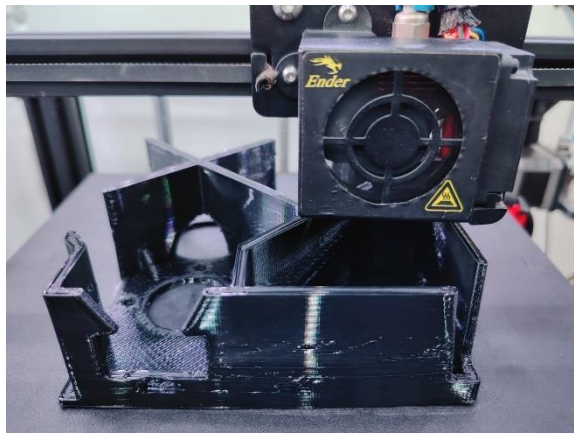
a. Equipos, instrumentos y materiales

- Programa Solidworks
- Impresora 3D
- Filamento TPU

b. Procedimiento

Para el diseño de la nueva geocelda se utilizará el programa Solidworks y se diseñará la geocelda con las mismas medidas que la comercial apoyándose de las especificaciones técnicas de ésta. Tras completar el diseño, se obtiene el filamento de TPU para pasar a realizar la impresión en 3D y obtener los especímenes a ensayar.

c. Panel fotográfico

<p><i>Ilustración 34: Diseño de geocelda en Solidworks</i></p> 	<p><i>Ilustración 35: Detalles de la nueva geocelda</i></p> 
<p><i>Ilustración 36: Tamaño de geocelda a ensayar</i></p> 	<p><i>Ilustración 37: Impresión en 3D de geocelda</i></p> 

Fuente: Elaboración propia

Elaboración de probetas

Ensayo resistencia a compresión

a. Conceptualización

En este ensayo se elaborarán probetas de 12 x 12 x 4 cm de acuerdo con la dosificación establecida realizado con un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, de manera que podamos determinar que cumpla con los requisitos necesarios.

b. Normativa

“Resistencia a la compresión de concreto” - ASTM C 39.

c. Equipos, instrumentos y materiales

- Cucharón
- Moldes para encofrado
- Varilla
- Martillo de goma
- Badilejo
- Mezcla de concreto
- Máquina de rotura para compresión

d. Procedimiento

✓ Vaciado

- Se colocan los moldes sobre una superficie plana para el correcto vaciado.
- Se esparce algún aceite adecuado para el fácil desmoldeo y se colocan las geoceldas recortadas.
- Se vierte la mezcla a los moldes en 3 capas, en cada estrato, se efectuará la varilladura con 25 golpes y se asestarán 15 impactos utilizando un martillo de goma por los costados para su correcta adherencia y reducir los vacíos.
- En la última capa se enrasa con un badilejo para un buen acabado y se deja fraguar hasta el día siguiente.

✓ Desencofrado y curado

- Después pasada las 24h de fraguado se procede a desencofrar las probetas.
- Se proceden a sumergir en agua según los días de curado que figura dentro de la normativa, para este caso se va a tomar ensayos a 7, 14 y 28 días, de 3 probetas por etapa.

✓ **Ensayo en máquina**

- Se saca del agua según los días establecidos y se expone al sol para que puedan secarse.
- Se trasladan las probetas a la máquina para ejecutar el ensayo y estimar la carga máxima que puede soportar de manera progresiva hasta su rotura.
- Finalmente se anota la carga última y se verifica qué tipo de falla se ha presentado.

e. Cálculos

- ✓ Utilizamos la fórmula:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

R: resistencia a la compresión (kg/cm²)

P: carga máxima aplicada en kg

A: área de la probeta sometida (cm²)

f. Panel fotográfico

Ilustración 38: Realización de la mezcla de concreto en trompo



Ilustración 39: Nivelación de la mezcla en los moldes para una mejor compactación

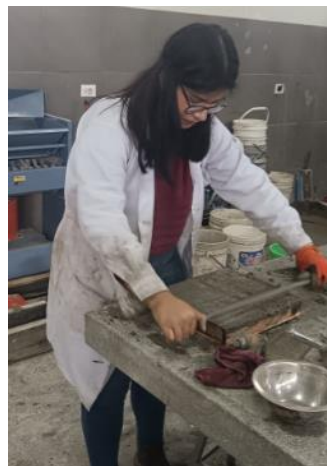


Ilustración 40: Llenado de especímenes para prueba a compresión



Ilustración 41: Fase de curado para prueba a compresión



Ilustración 42: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 7 días de DG



Ilustración 43: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 7 días de TPU

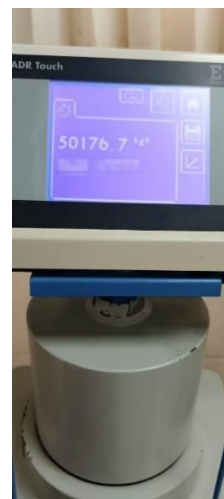


Ilustración 44: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 7 días de DG



Ilustración 45: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 7 días de TPU



Ilustración 46: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 7 días de DG



Ilustración 47: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 7 días de TPU



Ilustración 48: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 14 días de DG



Ilustración 49: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 14 días de TPU



Ilustración 50: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 14 días de DG



Ilustración 51: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 14 días de TPU



Ilustración 52: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 14 días de DG



Ilustración 53: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 14 días de TPU



Ilustración 54: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 28 días de DG



Ilustración 55: Rotura de probeta 1 para ensayo a compresión a 28 días de TPU



Ilustración 56: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 28 días de DG



Ilustración 57: Rotura de probeta 2 para ensayo a compresión a 28 días de TPU



Ilustración 58: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 28 días de DG



Ilustración 59: Rotura de probeta 3 para ensayo a compresión a 28 días de TPU



Fuente: Elaboración propia

Ensayo resistencia a flexión

a. Conceptualización

En este ensayo se elaborarán probetas de 100 x 16 x 4 cm de acuerdo con la dosificación establecida realizado con un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, de manera que podamos determinar que cumpla con los requisitos necesarios.

b. Normativa

“Método de ensayo estándar para resistencia a la flexión del concreto” - ASTM C 78.

c. Equipos, instrumentos y materiales

- Cucharón
- Moldes para encofrado
- Varilla
- Martillo de goma
- Badilejo
- Mezcla de concreto
- Máquina de rotura para flexión

d. Procedimiento

✓ Vaciado

- Poner los moldes sobre una superficie plana para el correcto vaciado.
- Colocar un aceite adecuado para el fácil desmoldeo y se colocan las geoceldas recortadas en las medidas estipuladas anteriormente.
- Se vierte la mezcla a los moldes en 3 capas, en cada capa se realizarán 25 varilladuras, complementadas con 15 impactos mediante un martillo de goma por los costados para su correcta adherencia y reducir los vacíos.
- Finalmente, en la última capa se enrasa con un badilejo para un buen acabado y se deja fraguar por 24 horas.

✓ Desencofrado y curado

- Pasadas las 24h de fraguado se desencofran las probetas.
- Se sumergen en agua según los días de curado que figura dentro de la normativa, para este caso se va a tomar ensayos a 7, 14 y 28 días, de 3 probetas por etapa.

✓ **Ensayo en máquina**

- Sacar del agua según los días establecidos y exponer al sol para que puedan secarse.
- Marcamos a 1/3 de su distancia el lugar donde será aplicada la carga.
- Se trasladan las probetas a la máquina para ejecutar el ensayo y evaluar la máxima carga admisible de manera progresiva hasta su rotura.
- Finalmente se anota la carga última para el posterior cálculo en gabinete.

e. Cálculos

- ✓ Utilizamos la ecuación para estimar el módulo de rotura:

$$MR = \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura o resistencia a la flexión (Mpa o N/mm²)

P: carga máxima aplicada en N

L: longitud de la luz o distancia entre apoyos en mm

b: ancho de probeta en mm

d: altura de probeta en mm

f. Panel fotográfico

Ilustración 60: Elaboración del concreto utilizando una mezcladora rotatoria



Ilustración 61: Integración de la mezcla en los moldes

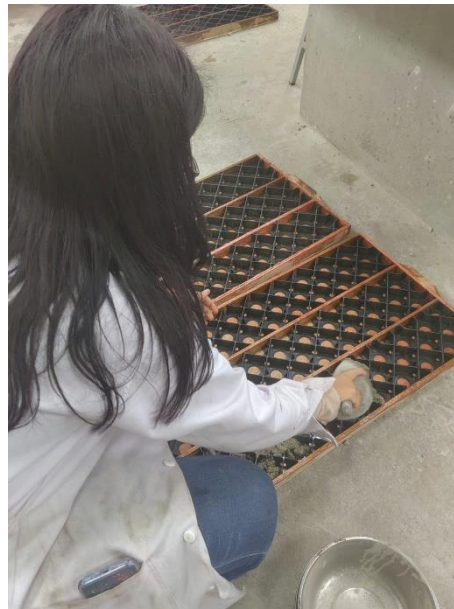


Ilustración 62: Llenado de especímenes para prueba a flexión



Ilustración 63: Fase de curado para prueba a flexión



Ilustración 64: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 7 días de DG



Ilustración 65: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 7 días de TPU



Ilustración 66: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 7 días de DG



Ilustración 67: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 7 días de TPU



Ilustración 68: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 7 días de DG



Ilustración 69: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 7 días de TPU



Ilustración 70: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 14 días de DG



Ilustración 71: Fractura de espécimen 1 para ensayo a flexión a 14 días de TPU



Ilustración 72: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 14 días de DG



Ilustración 73: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 14 días de TPU



Ilustración 74: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 14 días de DG



Ilustración 75: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 14 días de TPU



Ilustración 76: Fractura de espécimen para ensayo a flexión a 28 días de DG



Ilustración 77: Fractura de espécimen para ensayo a flexión a 28 días de TPU



Ilustración 78: Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 28 días de DG



Ilustración 79 Fractura de espécimen 2 para ensayo a flexión a 28 días de TPU



Ilustración 80: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 28 días de DG



Ilustración 81: Fractura de espécimen 3 para ensayo a flexión a 28 días de TPU



Fuente: Elaboración propia

Plan de procesamiento

Fase 1:

- Reconocer la información recopilada y los antecedentes.
- Revisión de la normativa vigente.

Fase 2:

- Obtener los materiales como las geoceldas Diamond grid y el rollo de poliuretano termoplástico.
- Diseñar la estructura de la geocelda de TPU con las características del diamond grid dentro del programa Solidworks para posteriormente ser impreso en 3D.
- Efectuar la caracterización granulométrica de los agregados y calcular sus respectivas variables como peso unitario suelto y peso unitario compactado, contenido de humedad y porcentaje de absorción.
- Realizar el diseño de mezcla.
- Cortar los materiales en las dimensiones especificadas para realizar las probetas y evaluar sus propiedades.
- Ensayar cada probeta en la máquina que mide las propiedades mecánicas.
- Recopilación de datos de laboratorio.

Fase 3:

- Comparación de resultados de las propiedades mecánicas de ambas geoceldas.
- Comparación de presupuestos por cada geocelda elaborada.
- Elaborar conclusiones y recomendaciones del proyecto.

Fase 4:

- Presentación al jurado y sustentación.
- Levantar observaciones.
- Presentación final del proyecto.

Tabla XIV: Matriz de consistencia

TITULO	OBJETIVOS	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR
Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento rígido reforzado con Diamond Grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico	<p>Objetivo general</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparar las propiedades mecánicas entre un pavimento rígido reforzado con Diamond Grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar el diseño de una geocelda en el programa Solidworks con las mismas dimensiones que las geoceldas Diamond grid. • Imprimir en 3D el diseño elaborado de las nuevas geoceldas de poliuretano termoplástico. • Elaborar las probetas adecuadas para los ensayos de laboratorio de resistencia a compresión con el sistema Diamond grid. • Elaborar las probetas adecuadas para los ensayos de laboratorio de resistencia a compresión con las geoceldas de poliuretano termoplástico. • Elaborar las probetas adecuadas para los ensayos de laboratorio de resistencia a flexión con el sistema Diamond grid. • Elaborar las probetas adecuadas para los ensayos de laboratorio de resistencia a flexión con las geoceldas de poliuretano termoplástico. • Ejecutar el ensayo de compresión y flexión de ambos sistemas. • Realizar un análisis comparativo según los resultados de laboratorio. • Comparar económicamente el pavimento rígido reforzado con Diamond Grid y con geoceldas de poliuretano termoplástico. 	<p>¿Cuáles son las propiedades mecánicas de un pavimento rígido reforzado con poliuretano termoplástico en comparación a uno reforzado con Diamond grid?</p>	<p>Las propiedades mecánicas de un pavimento de concreto reforzado con poliuretano termoplástico son similares a un pavimento rígido reforzado con Diamond grid.</p>	Variable independiente:	
				Sistemas de refuerzo de pavimentos	Pavimento con geoceldas Diamond grid
					Pavimento con geoceldas de poliuretano termoplástico
				Variable dependiente:	
				Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Compresión
					Resistencia a la Flexión
				Variables Intervinientes	
				Interviniente 1	Pavimento con geoceldas de poliuretano termoplástico
Interviniente 2	Pavimento con geoceldas Diamond grid				

Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Resultados:

Encontraremos aquí los resultados que se alcanzaron durante las pruebas ejecutadas en el laboratorio a los agregados de tamaño fino y grueso, junto con las evaluaciones estructurales de los refuerzos de pavimento mediante pruebas de compresión y flexión.

Análisis granulométrico del agregado fino

Tabla XV: Granulometría del agregado fino

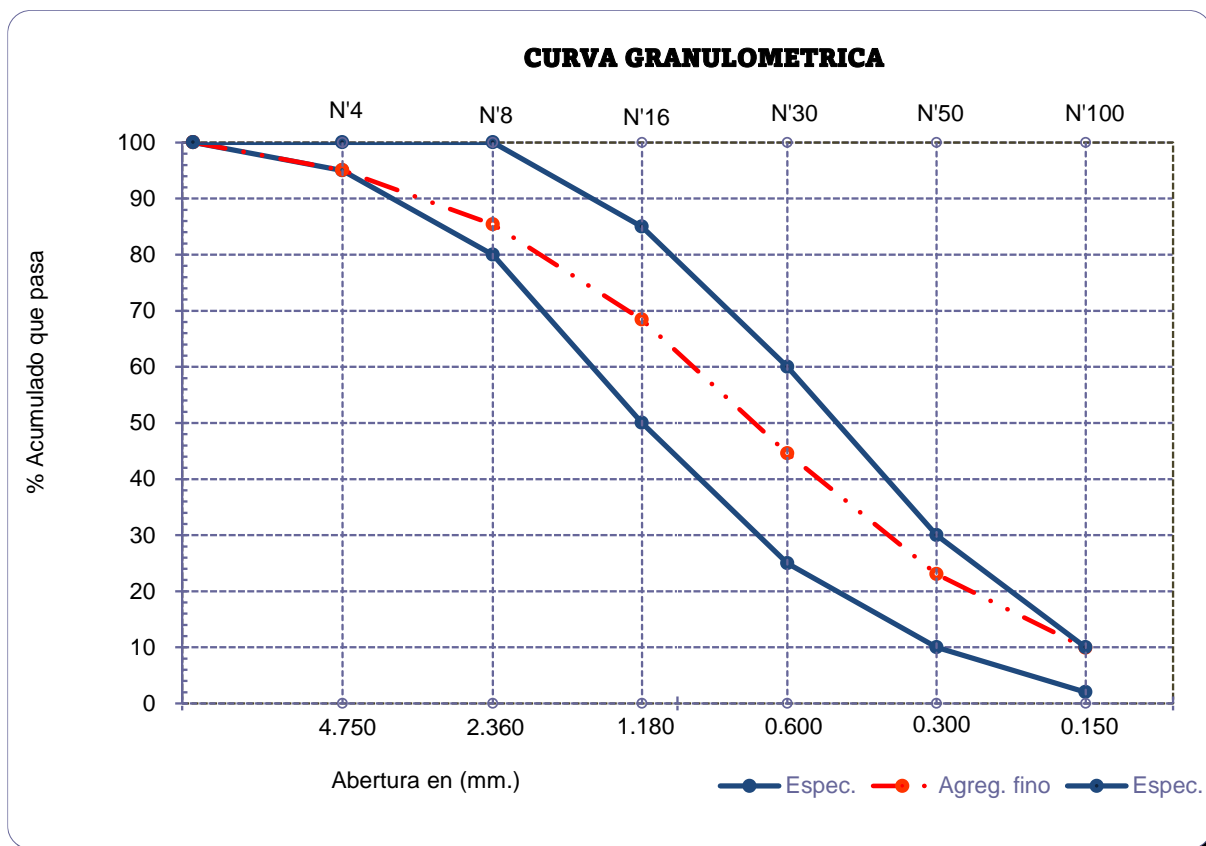
Cantera : "La Victoria" - Pátapo P. Inicial H. 500.0
P. Inicial S. 500.0

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	24.6	4.9	4.9	95.1	95	100
Nº 08	2.360	48.4	9.7	14.6	85.4	80	100
Nº 16	1.180	84.9	17.0	31.6	68.4	50	85
Nº 30	0.600	119.2	23.8	55.4	44.6	25	60
Nº 50	0.300	107.68	21.5	77.0	23.0	10	30
Nº 100	0.150	65.8	13.2	90.1	9.9	2	10
Fondo		49.42	9.9	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.736			
Abertura de malla de referencia				9.500			

Fuente: Elaboración propia

Nos muestra el peso que ha retenido cada malla en gramos, sumado al % del retenido, % acumulado y el % acumulado que pasa, y al final las especificaciones que nos brindan los husos expresados en la norma. Podemos deducir que el agregado fino sí satisface con lo estipulado en las especificaciones, además que el módulo de fineza está dentro del rango aceptable, el cual es entre 2.3 a 3.2, y en el presente contamos con un módulo de fineza de 2.74.

Ilustración 82: Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

Evaluando los husos presentados en la normativa, podemos observar que nuestra curva granulométrica calculada según nuestros ensayos está dentro de los parámetros.

Análisis granulométrico del confitillo

Tabla XVI: Granulometría del confitillo

Cantera : "La Victoria" - Pátapo P. Inicial H. 2666.26

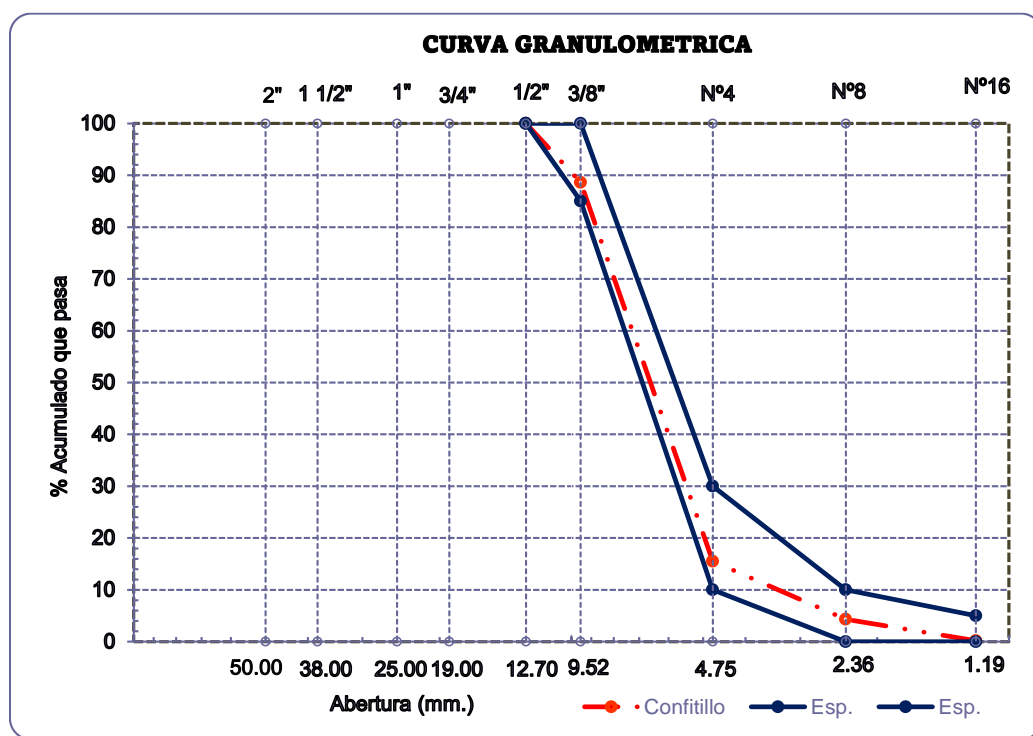
P. Inicial S. 2666

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.70	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.52	303.5	11.4	11.4	88.6	85.0	100.0
Nº 04	4.75	1949.3	73.1	84.5	15.5	10.0	30.0
Nº 08	2.36	298.3	11.2	95.7	4.3	0.0	10.0
Nº 16	1.19	109.5	4.1	99.8	0.2	0.0	5.0
Fondo		5.7	0.2	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1/2"	12.70			
Tamaño Maximo Nominal			3/8"	9.52			

Fuente: Elaboración propia

Nos muestra el peso que ha retenido cada malla en gramos, junto con el % del retenido, % acumulado y el % acumulado que pasa, y al final las especificaciones que nos brindan los husos expresados en la norma. Podemos deducir que el confitillo sí se ajusta con lo estipulado en las especificaciones, además encontramos que se determinó el TM y el TMN, los cuales fueron de 1/2" y 3/8" respectivamente.

Ilustración 83: Curva granulométrica del confitillo



Fuente: Elaboración propia

En base a los husos presentados en la normativa, podemos diferenciar que nuestra curva granulométrica calculada según nuestros ensayos está entre los parámetros del Huso N°08 y el TMN está entre los límites permitidos.

Contenido de humedad

Agregado fino

Tabla XVII: Contenido de humedad - Agregado fino

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1481.8
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1472.3
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.64

Fuente: Elaboración propia

Obtuvimos el pesaje del espécimen húmedo y el pesaje del espécimen seco al horno después de 24h para poder estimar el contenido de humedad del agregado fino, el cual alcanzó un porcentaje de 0.64%. Este dato será de gran ayuda para poder hacer posteriormente el diseño de mezcla.

Confitillo*Tabla XVIII: Contenido de humedad - Confitillo*

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1619.8
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1612.6
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4

Fuente: Elaboración propia

Se registraron los valores de masa correspondientes al estado húmedo y al estado seco por secado en horno de la muestra después de 24h para calcular el % de humedad del confitillo, el cual alcanzó un porcentaje de 0.40%. Este dato nos ayudará a elaborar posteriormente la dosificación necesaria.

Peso específico y absorción**Agregado fino***Tabla XIX: Peso específico y absorción - Agregado fino*

Datos		
1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	1004.4
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	697.77
3.- Peso del Agua	(g)	306.7
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	695
5.- Peso del Frasco	(g)	197.77
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500
Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.572
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.586
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.609
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.55

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el peso específico con valor de 2.572 g/cm³ y absorción del agregado fino con un porcentaje de 0.55 % según lo indicado en la normativa [20].

Confitillo

Tabla XX: Peso específico y absorción - Confitillo

Datos		
1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	1979
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	2006
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2169
4.- Peso de la canastilla	(g)	894
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1275
Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.709
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.745
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.811
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.34

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el peso específico equivalente a 2.709 g/cm³ y absorción del confitillo con un porcentaje de 1.34 % según lo indicado en la normativa [20].

Peso unitario o volumétrico

Agregado fino

Tabla XXI: Peso unitario suelto del agregado fino

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9330	9320
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9330	9320
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1691	1690
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1680	

Fuente: Elaboración propia

Tabla XXII: Peso unitario compactado del agregado fino

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	10415	10405
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		10415	10405
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1888	1886
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1875	

Fuente: Elaboración propia

Según lo indicado en la normativa [19], se ha determinado el P.U.S y el P.U.C del agregado fino, equivalentes a 1680 kg/m^3 y 1875 kg/m^3 respectivamente.

Confitillo

Tabla XXIII: P.U.S - Confitillo

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8000	7990
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8000	7990
4.- Constante ó Volumen	(m^3)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m^3)	1450	1448
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m^3)	1443	

Fuente: Elaboración propia

Tabla XXIV: P.U.C - Confitillo

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8985	8975
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8985.0	8975.0
4.- Constante ó Volumen	(m^3)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m^3)	1629	1627
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m^3)	1621	

Fuente: Elaboración propia

Según lo indicado en la normativa [19], se ha determinado el P.U.S y el P.U.C del confitillo, equivalentes a 1443 kg/m^3 y 1621 kg/m^3 correspondientemente.

Diseño de mezcla del concreto con $f'c$ 280

DISEÑO DE MEZCLA

Ensayo
Referencia

: DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
: RECOMENDACIÓN ACI 211

Resistencia del Diseño :

$f'c =$	280	kg/cm ²
---------------------------	------------	--------------------

I.) DATOS DEL AGREGADOS:

- 01.- Tamaño máximo nominal
- 02.- Peso Unitario suelto seco
- 03.- Peso Unitario compactado seco
- 04.- Peso específico de masa seco
- 05.- Contenido de humedad
- 06.- Contenido de absorción
- 07.- Módulo de fineza (adimensional)

3/8"	-----	pulg.
1443	1680	kg/cm ³
1621	1875	kg/cm ³
2709	2572	kg/cm ³
0.45	0.64	%
1.34	0.55	%
-----	2.736	

Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido	:	4 Pulgadas
Peso unitario del concreto fresco	:	2306 Kg/m ³
Factor cemento por M ³ de concreto	:	16.93 bolsas/m ³
Relación agua cemento de diseño	:	0.465

Tabla XXV: Proporción de componentes por unidad de volumen

Cemento	720	Kg/m ³
Agua	335	L
Agregado fino	635	Kg/m ³
Agregado grueso	616	Kg/m ³

II.) DATOS DE LA MEZCLA Y OTROS

- 08.- Resistencia especificada a los 28 días
- 09.- Contenido de aire atrapado
- 10.- Relación agua cemento
- 11.- Asentamiento
- 12.- Volumen unitario del agua
- 13.- Volumen del agregado grueso
- 14.- Peso específico del cemento

364		kg/cm ³
3		%
0.466		
4		Pulg.
228		L/m ³
0.466		m ³
3100		kg/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Se plantea la proporción de componentes que se van a emplear en la elaboración de especímenes indicados anteriormente, este diseño elaborado será para ambas geoceldas.

Resistencia a la compresión del concreto

Se presenta a continuación, la tabla XXVI que indicará todas las resistencias que se han alcanzado después de ensayar los especímenes en laboratorio posterior a su desencofrado y curado según los días indicados anteriormente.

Tabla XXVI: Resistencia a la compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ con Diamond grid

Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga (P) (kg)	f'c obtenido (kg/cm ²)	Porcentaje (%)	f'c promedio (kg/cm ²)	Porcentaje promedio (%)
01	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	08/10/24	7	144.0	47626.3	330.7	118 %	340	121 %
02	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	08/10/24	7	144.0	48810.0	339.0	121 %		
03	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	08/10/24	7	144.0	50230.0	348.8	125 %		
04	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	15/10/24	14	144.0	75470.7	524.1	187 %	531	190 %
05	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	15/10/24	14	144.0	76010.6	527.9	189 %		
06	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	15/10/24	14	144.0	77837.3	540.5	193 %		
07	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	29/10/24	28	144.0	91773.1	637.3	228 %	681	243 %
08	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	29/10/24	28	144.0	100500.0	697.9	249 %		
09	Concreto con refuerzo Diamond grid	01/10/24	29/10/24	28	144.0	101860.0	707.4	253 %		

Fuente: Elaboración propia

Podemos visualizar que se cumplió con la resistencia requerida de $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ en los intervalos de maduración de 7, 14 y 28 días con cemento portland tipo I y con las geoceldas Diamond grid, en donde se obtuvo un $f'c$ en promedio de 340 kg/cm^2 para los 7 días, 531 kg/cm^2 para los 14 días y 681 kg/cm^2 para los 28 días.

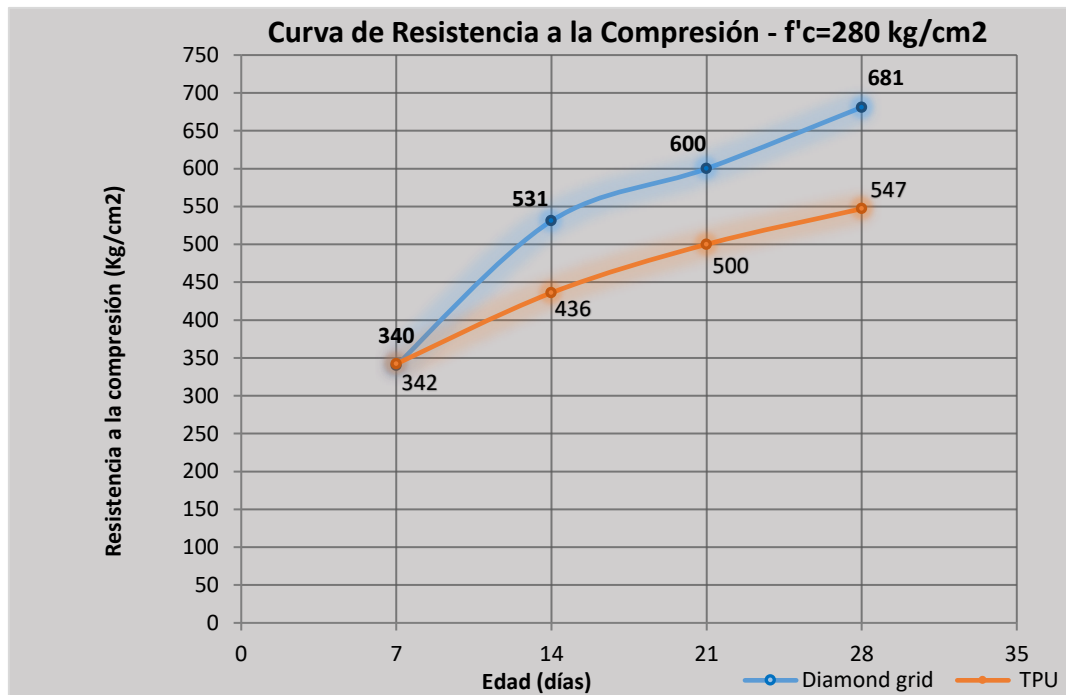
Tabla XXVII: Resistencia a la compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ con TPU

Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga (P) (kg)	f'c obtenido (kg/cm ²)	Porcentaje (%)	f'c promedio (kg/cm ²)	Porcentaje promedio (%)
01	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	29/10/24	7	144.0	48187.8	334.6	120 %	342	122 %
02	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	29/10/24	7	144.0	49216.5	341.8	122 %		
03	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	29/10/24	7	144.0	50176.7	348.4	124 %		
04	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	05/11/24	14	144.0	61776.3	429.0	153 %	436	156 %
05	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	05/11/24	14	144.0	62930.0	437.0	156 %		
06	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	05/11/24	14	144.0	63540.0	441.3	158 %		
07	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	19/11/24	28	144.0	77815.0	540.4	193 %	547	195 %
08	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	19/11/24	28	144.0	78210.0	543.1	194 %		
09	Concreto con refuerzo de TPU	22/10/24	19/11/24	28	144.0	80130.0	556.5	199 %		

Fuente: Elaboración propia

Encontramos que se cumplió con la resistencia requerida de $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ en los intervalos de maduración de 7, 14 y 28 días con cemento tipo I y con las geoceldas de poliuretano termoplástico, obteniendo un $f'c$ en promedio de 342 kg/cm^2 para los 7 días, 436 kg/cm^2 para los 14 días y 547 kg/cm^2 para los 28 días.

Ilustración 84: Curva de Resistencia a la Compresión f'_c 280 kg/cm²



Fuente: Elaboración propia

Se han obtenido los valores de las resistencias en las tres edades especificadas tanto para concreto reforzado con diamond grid y con geoceldas de poliuretano termoplástico, en donde se demuestra que, si bien las resistencias con la geocelda diamond grid son mayores, las resistencias con geoceldas de poliuretano termoplástico han logrado alcanzar la resistencia requerida, teniendo valores aceptables para calificarlo como un material óptimo y aparentemente eficiente.

Resistencia a la flexión del concreto

A continuación, en la tabla XXVIII nos indica las resistencias que se han alcanzado después de ensayar los especímenes en laboratorio posterior a su desencofrado y curado según los días indicados anteriormente, y finalmente el módulo de rotura.

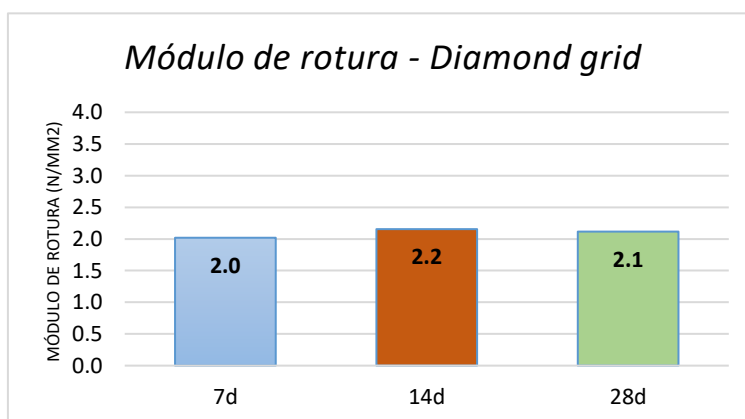
Tabla XXVIII: Resistencia a la flexión - Diamond grid

Muestra Nº	Denominación de Espécimen	Fecha de Curado	Fecha de Ensayo	Carga (Kg)	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (N/mm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
01	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	07/10/2024	64746	7	1.92	2.02
02	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	07/10/2024	68670	7	2.04	
03	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	07/10/2024	70632	7	2.10	
04	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	14/10/2024	67689	14	2.01	2.2
05	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	14/10/2024	71613	14	2.13	
06	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	14/10/2024	78480	14	2.33	
07	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	28/10/2024	65727	28	1.95	2.12
08	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	28/10/2024	70632	28	2.10	
09	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	28/10/2024	77499	28	2.30	

Fuente: Elaboración propia

Se ha realizado la prueba a flexión según los intervalos de maduración de 7, 14 y 28 días con las geoceldas Diamond grid, registrando las cifras indicadas en la tabla XXVIII. Conforme con el Manual de Carreteras [11], nos sugiere que los valores ideales del Módulo de rotura se encuentran entre 1.99 y 3.18, por lo cual según lo ensayado se demuestra que está dentro de los límites y cumple con ellos. Transcurridos 7 días, registra un valor medio de 2.02 kg/cm², después de 14 días 2.20 kg/cm² y finalmente con 28 días 2.12 kg/cm².

Ilustración 85: Módulo de rotura según edades ensayadas-Diamond grid



Fuente: Elaboración propia

Continuando tenemos que, en la tabla XXIX nos indica las resistencias que se han alcanzado después de ensayar los especímenes en laboratorio posterior a su desencofrado y curado según los días indicados anteriormente, y finalmente el módulo de rotura.

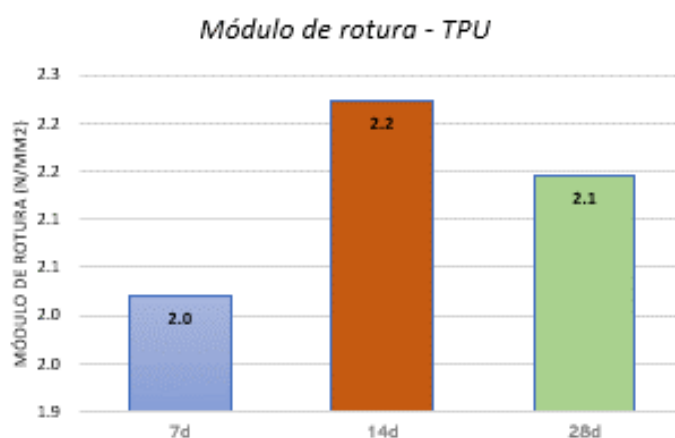
Tabla XXIX: Resistencia a la flexión – TPU

Muestra Nº	Denominación de Espécimen	Fecha de Curado	Fecha de Ensayo	Carga (Kg)	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (N/mm ²)	Módulo de Rotura (N/mm ²) Promedio
01	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	08/11/2024	66708	7	1.98	2.02
02	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	08/11/2024	67689	7	2.01	
03	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	08/11/2024	69651	7	2.07	
04	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	15/11/2024	71613	14	2.13	2.2
05	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	15/11/2024	74556	14	2.21	
06	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	15/11/2024	78480	14	2.33	
07	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	29/11/2024	67689	28	2.01	2.1
08	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	29/11/2024	71613	28	2.13	
09	Concreto con refuerzo TPU	01/11/2024	29/11/2024	77499	28	2.30	

Fuente: Elaboración propia

Se ha realizado la prueba a flexión según los intervalos de maduración de 7, 14 y 28 días con las geoceldas de TPU, presentando los valores indicados en la tabla XXIX. Según el Manual de Carreteras [11], nos sugiere que los valores ideales del Módulo de rotura se encuentran entre 1.99 y 3.18, por lo cual según lo ensayado se demuestra que está dentro de los límites y cumple con ellos. Transcurridos 7 días, registra un valor medio de 2.02 kg/cm², después de 14 días 2.20 kg/cm² y finalmente con 28 días 2.15 kg/cm².

Ilustración 86: Módulo de rotura según edades ensayadas - TPU



Fuente: Elaboración propia

Evaluación económica

Metrados

Considerando una carretera de dos carriles, asumiremos un ancho de: 7.00 m

Consideraremos espesores en función del tipo de método a usar

Convencional	0.20 m
Geo. DG	0.04 m
Geo. TPU	0.04 m

Obteniendo las siguientes áreas:

1.40 m ²
0.28 m ²
0.28 m ²

Por lo que para cada metro cubico se cubre las siguientes longitudes

Convencional	0.71 m
Geo. DG	3.57 m
Geo. TPU	3.57 m

Teniendo un área de recubrimiento para las geoceldas de:

25.00 m ²
25.00 m ²

Con las longitudes por metro cubico obtendremos el volumen necesario por km de carretera propuesta

Convencional	1400.00 m ³
Geo. DG	280.00 m ³
Geo. TPU	280.00 m ³

Evaluación económica por m³

Tabla XXX: ACU'S del pavimento de concreto con f'c 280 kg/cm² por m³

Subpresupuesto **CONCRETO PARA PAVIMENTO RIGIDO FC=280 kg/cm²**

Partida **01.02 CONCRETO F' C = 280 KG/CM2**

Rendimiento	m ³ /DIA	MO.	10.0000	EQ.	10.0000	Costo unitario directo por : m ³	731.08
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra						
0101010009	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	27.71	44.34	
0101010010	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	21.79	34.86	
0101010011	PEON	hh	10.0000	8.0000	19.71	157.68	
					236.88		
	Materiales						
0207010051	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.4280	57.40	24.57	
02070200010002	ARENA GRUESA	m ³		0.3770	45.10	17.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		16.9300	24.60	416.48	
0290130025	AGUA PUESTA EN OBRA	m ³		0.3350	6.14	2.06	
					460.11		
	Equipos						
03012900030011	VIBRADOR A GASOLINA	hm	1.0000	0.8000	7.60	6.08	
03012900030012	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3	hm	1.0000	0.8000	26.12	20.90	
0301440006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	236.88	7.11	
					34.09		

Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXI: ACU'S de concreto f'c de 280 kg/cm² + geoceldas Diamond grid por m³

Subpresupuesto **CONCRETO PARA PAVIMENTO RIGIDO FC=280 kg/cm² + GEOCELDA DG**
 Partida **02.01 CONCRETO F' C = 280 KG/CM² + GEOCELDA DG**

Rendimiento	m3/DIA	MO.	10.0000	EQ.	10.0000	Costo unitario directo por : m3	2,075.08
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010009	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	27.71	44.34	
0101010010	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	21.79	34.86	
0101010011	PEON	hh	10.0000	8.0000	19.71	157.68	
					236.88		
	Materiales						
0207010051	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.4280	57.40	24.57	
0207010052	GEOCELDA DG	m2		25.0000	53.76	1,344.00	
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.3770	45.10	17.00	
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		16.9300	24.60	416.48	
0290130025	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.3350	6.14	2.06	
					1,804.11		
	Equipos						
03012900030011	VIBRADOR A GASOLINA	hm	1.0000	0.8000	7.60	6.08	
03012900030012	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3	hm	1.0000	0.8000	26.12	20.90	
0301440006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	236.88	7.11	
					34.09		

Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXII: ACU'S de la elaboración de geoceldas en 3D por m³

Subpresupuesto **CONCRETO PARA PAVIMENTO RIGIDO FC=280 kg/cm² + GEOCELDA TPU**
 Partida **01.01 ELABORACION DE GEOCELDA EN 3D**

Rendimiento	pza/DIA	MO.	1.0000	EQ.	1.0000	Costo unitario directo por : pza	311.60
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010018	POST TRATAMIENTO DE PIEZAS	pza		1.0000	24.60	24.60	
					24.60		
	Equipos						
03010300060009	IMPRESION DE PIEZAS EN TPU	hm	1.2500	10.0000	28.70	287.00	
					287.00		

Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXIII: ACU'S de concreto f'c de 280 kg/cm2 + geocelda TPU por m3

Partida **01.02** **CONCRETO F'C = 280 KG/CM2 + GEOCELDA TPU**

Rendimiento	m3/DIA	MO.	10.0000	EQ.	10.0000	Costo unitario directo por : m3	8,521.08
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010009	OPERARIO		hh	2.0000	1.6000	27.71	44.34
0101010010	OFICIAL		hh	2.0000	1.6000	21.79	34.86
0101010011	PEON		hh	10.0000	8.0000	19.71	157.68
						236.88	
	Materiales						
0207010051	PIEDRA CHANCADA 1/2"		m3		0.4280	57.40	24.57
0207010053	GEOCELDA TPU		m2		25.0000	311.60	7,790.00
02070200010002	ARENA GRUESA		m3		0.3770	45.10	17.00
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bol		16.9300	24.60	416.48
0290130025	AGUA PUESTA EN OBRA		m3		0.3350	6.14	2.06
						8,250.11	
	Equipos						
03012900030011	VIBRADOR A GASOLINA		hm	1.0000	0.8000	7.60	6.08
03012900030012	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3		hm	1.0000	0.8000	26.12	20.90
0301440006	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	236.88	7.11
						34.09	

Fuente: Elaboración propia

Comparación de presupuestos por Km

Tabla XXXIV: Comparación de presupuestos por km

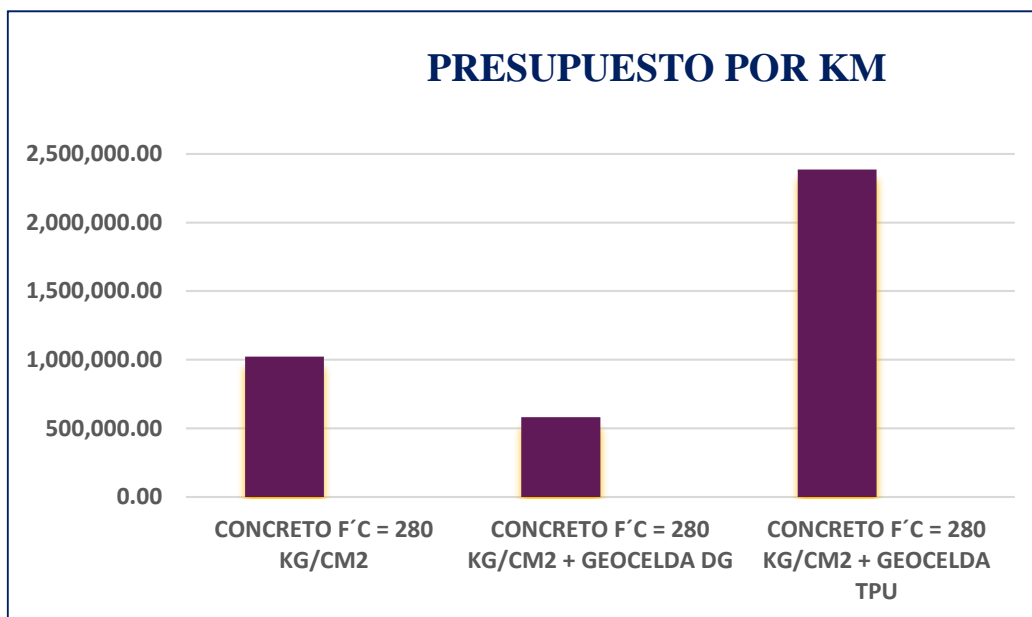
Presupuesto **COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAVIMENTO DE CONCRETO REFORZADO CON DIAMOND GRID Y UNO CON GEOELDAS DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO**

Lugar **LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO**

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	CONCRETO F'C = 280 KG/CM2				1,023,512.00
01.02	CONCRETO F'C = 280 KG/CM2	m3	1,400.00	731.08	1,023,512.00
02	CONCRETO F'C = 280 KG/CM2 + GEOCELDA DG				581,022.40
02.01	CONCRETO F'C = 280 KG/CM2 + GEOCELDA DG	m3	280.00	2,075.08	581,022.40
3	CONCRETO F'C = 280 KG/CM2 + GEOCELDA TPU				2,386,214.00
3.01	ELABORACION DE GEOELDAS EN 3D	pza	1.00	311.60	311.60
3.02	CONCRETO F'C = 280 KG/CM2 + GEOCELDA TPU	m3	280.00	8,521.08	2,385,902.40

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 87: Comparación de presupuestos por Km



Fuente: Elaboración propia

Se ha elaborado los ACUS correspondientes a tres tipos de comparación de pavimentos, siendo estos el pavimento rígido con $f'c$ de 280 kg/cm², pavimento rígido con integración de geoceldas Diamond Grid y finalmente pavimento rígido con integración de geocelda Polythermocell, en donde los costos unitarios por m³ resultaron ser de S/ 731.08, S/ 2,075.08 y S/ 8,521.08 respectivamente.

También se calculó el presupuesto por km, en donde se obtuvo valores de: S/ 1,023,512.00 para un pavimento rígido convencional con $f'c$ de 280 kg/cm², S/ 581,022.40 para pavimento rígido con geoceldas diamond grid y S/ 2,386,214.00 para pavimento rígido con geoceldas Polythermocell.

Discusión:

En función del objetivo principal, comparar las propiedades mecánicas del pavimento de concreto reforzado con Diamond Grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico, los ensayos de laboratorio permitieron verificar que las dos categorías de refuerzo se alinean con los parámetros normativos establecidos para la evaluación a compresión y a flexión, conforme a lo estipulado [11]. No obstante, se identificó un rendimiento superior en el sistema Diamond Grid, que registró un valor medio de resistencia de 681 kg/cm^2 a los 28 días, frente a los 547 kg/cm^2 obtenidos por las geoceldas de TPU. En cuanto a la resistencia a la flexión, ambas soluciones se ubicaron dentro del intervalo normativo (1.99 a 3.18 kg/cm^2), lo cual confirma su idoneidad como elementos de refuerzo estructural en pavimentos. Estos resultados coinciden con lo reportado en estudios previos. Por ejemplo, se demostró [8] que la tecnología Diamond Grid no solo optimiza la capacidad estructural del pavimento, sino que también representa una alternativa económicamente viable. Asimismo, confirmaron [10] que el uso de geoceldas puede minimizar el espesor del pavimento y, por ende, sus costos asociados. En relación con el TPU, investigaciones [3][4][5] destacan sus destacadas propiedades mecánicas, su comportamiento elástico y su capacidad para mejorar su desempeño con el uso de aditivos o geometrías internas optimizadas. Desde el enfoque teórico, esta investigación se apoya en lineamientos establecidos por normas ASTM y ACI [25] a fin de ejecutar ensayos experimentales en el laboratorio y el diseño de mezclas.

Continuando con los objetivos específicos, en primer instancia tenemos que elaborar la configuración geométrica de una geocelda en el programa Solidworks con las mismas dimensiones que las geoceldas Diamond grid, en donde se definieron las proporciones físicas necesarias para proceder con la fabricación de las geoceldas, durante el proceso de diseño, se identificó que la estructura romboidal de la Diamond Grid ya presenta una configuración eficiente para distribuir cargas, mientras que la geocelda elaborada en TPU fue concebida con una forma más compacta y flexible, adaptada a las propiedades del material termoplástico. Este desarrollo se vincula con trabajos previos [1], quien evidenció que el diseño geométrico tiene un impacto directo en el desempeño estructural de los refuerzos, y con un estudio [4], resalta cómo la configuración interna de estructuras poliméricas puede influir en su comportamiento mecánico. Desde el enfoque teórico, el diseño de geoceldas se sustenta en fundamentos de la mecánica de materiales y el análisis estructural, buscando siempre una forma que permita

distribuir de manera eficiente los esfuerzos. Para ello, se utilizó SolidWorks como herramienta CAD, lo que facilitó una visualización detallada del diseño antes de su fabricación.

En segundo lugar, se encuentra imprimir en 3D el diseño elaborado de las nuevas geoceldas de poliuretano termoplástico, que se llevó a cabo con éxito, demostrando que esta técnica es adecuada para producir elementos de refuerzo con geometrías complejas. Estos resultados coinciden con los hallazgos anteriores [3], quienes emplearon la impresión 3D para desarrollar componentes de TPU con propiedades mecánicas aptas para su uso en estructuras. Asimismo, guardan relación con lo ya señalado [5], quienes resaltaron la capacidad del TPU impreso en 3D para adaptarse a diferentes exigencias estructurales. Bajo un enfoque técnico, la impresión brinda la posibilidad de fabricar refuerzos personalizados con materiales termoplásticos como el TPU, siempre que se controlen cuidadosamente los parámetros del proceso, como la temperatura, la velocidad de impresión y la retracción, para garantizar la calidad y solidez de la pieza final.

Tercero tenemos, identificar las características físico-mecánicas de las probetas con Diamond grid y las probetas con poliuretano termoplástico, los cuales demostraron que tanto el Diamond Grid como las geoceldas fabricadas en TPU contribuyen a mejorar la capacidad estructural del concreto. En las evaluaciones a compresión, ambas alternativas superaron el valor normativo de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, destacando un mejor desempeño en el caso de la Diamond Grid que alcanzaron promedios de 340 kg/cm^2 a los 7 días, 531 kg/cm^2 a los 14 días y 681 kg/cm^2 a los 28 días. Por su parte, las que utilizaron geoceldas de TPU registrando cifras de 342 kg/cm^2 , 436 kg/cm^2 y 547 kg/cm^2 en los mismos periodos. En cuanto a la resistencia a la flexión, ambas soluciones cumplieron con los rangos establecidos [11], ubicándose entre 1.99 y 3.18 kg/cm^2 , registrando el sistema Diamond Grid valores de 2.02 , 2.20 y 2.12 kg/cm^2 , y el sistema con TPU, 2.02 , 2.20 y 2.15 kg/cm^2 , a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Estos hallazgos se alinean con los estudios mencionados [10], quienes señalaron que el uso de geoceldas incrementa notablemente la resistencia del concreto. También coinciden con las conclusiones anteriores [5], quienes observaron que la estructura celular del TPU puede mejorar el rendimiento mecánico del concreto reforzado. Desde la perspectiva técnica, este comportamiento se interpreta a través de la teoría del confinamiento lateral y la distribución de tensiones, la cual plantea que una estructura celular actúa limitando la deformación del concreto y, en consecuencia, optimiza su capacidad estructural.

En cuarto término, corresponde efectuar un análisis comparativo fundamentado en los datos encontrados durante los ensayos de laboratorio. Se evidenció que el pavimento reforzado con geoceldas Diamond Grid resultó considerablemente más económico, con un costo de S/ 581,022.40 por kilómetro, en comparación con el sistema reforzado con TPU, que alcanzó los S/ 2,386,214.00 por kilómetro. Incluso, fue más rentable que el pavimento rígido tradicional, cuyo costo se estimó en S/ 1,023,512.00 por kilómetro. Este hallazgo respalda lo señalado en los antecedentes [8], en donde se indicó que el uso de geoceldas Diamond Grid permite reducir significativamente los costos sin comprometer el desempeño estructural. En contraste, aunque el TPU mostró un buen comportamiento mecánico, su alto costo limita su viabilidad para obras de gran envergadura. Desde una perspectiva técnico-económica, la eficacia de un sistema de refuerzo no se mide únicamente por su resistencia, sino también por factores como disponibilidad de materiales, costos de producción, facilidad de instalación y mantenimiento. En este sentido, la Diamond Grid se presenta como una alternativa más equilibrada entre eficiencia estructural y viabilidad económica.

Finalmente, la evaluación global de los resultados de laboratorio evidenció que, si bien ambas geoceldas contribuyen a mejorar el desempeño del concreto, la Diamond Grid se destacó por ofrecer una mayor resistencia a la compresión y un costo más competitivo. Por su parte, la geocelda de TPU mostró un rendimiento satisfactorio dentro de los estándares establecidos, especialmente en lo que respecta a su comportamiento a flexión. Estos hallazgos están en consonancia con los antecedentes revisados, que resaltan la eficacia del sistema Diamond Grid y reconocen el potencial del TPU como material innovador en aplicaciones de ingeniería. No obstante, su elevado costo representa una barrera para su uso a gran escala. Desde el sustento teórico, los principios relacionados con los materiales geosintéticos y los polímeros refuerzan esta conclusión, al señalar que la elección de un sistema de refuerzo debe basarse no solo en su capacidad estructural, sino también en su viabilidad económica y en la practicidad de su implementación en obra.

Conclusiones

Se consiguió diseñar exitosamente las geoceldas de TPU en el software Solidworks con las mismas dimensiones (1000x1000mm) que las geoceldas Diamond grid. Este paso fue fundamental para conseguir la equivalencia geométrica de ambas propuestas, lo que logró realizar una comparación pareja entorno a las propiedades mecánicas.

La impresión en 3D de las geoceldas con TPU fue lograda satisfactoriamente y sin complicaciones, obteniendo estructuras con buena precisión. Demuestra así la viabilidad del uso de manufactura aditiva en la elaboración de elementos para refuerzo estructural.

Las probetas con geoceldas Diamond grid obtuvieron mayores valores de desempeño en compresión a lo largo de las tres etapas temporales evaluadas alcanzando promedios de 340 kg/cm² a los 7 días, 531 kg/cm² a los 14 días y 681 kg/cm² a los 28 días, mientras que las que utilizaron geoceldas de TPU obtuvieron valores de 342 kg/cm², 436 kg/cm² y 547 kg/cm² en los períodos temporales equivalentes, cumpliendo los parámetros de acuerdo a sustento teórico y antecedentes mencionados previamente. También demostraron un buen desempeño en su resistencia a flexión, en donde el Diamond Grid obtuvo valores de 2.02, 2.20 y 2.12 kg/cm², y el TPU, 2.02, 2.20 y 2.15 kg/cm², a los 7, 14 y 28 días correspondientemente.

Las probetas con geoceldas TPU obtuvieron resultados mecánicos aceptables, principalmente en el módulo de rotura. A pesar de que no superaron al Diamond grid durante la evaluación de su resistencia mecánica bajo carga compresiva debido a que demostró una sutil disminución de 134 kg/cm² en su resistencia a los 28 días posiblemente por características del material frente al confinamiento del concreto, los valores obtenidos fueron adecuados y dentro de los rangos normativos aceptables, suficientes para tomar en cuenta al TPU como una opción viable en algunas aplicaciones.

El estudio experimental posibilitó evidenciar diferencias y similitudes significativas. Mientras que el Diamond grid brinda mayor resistencia, el TPU ofrece adaptabilidad, menor peso y posibilidades de personalización. En temas de comportamiento flexional, ambas geoceldas fueron comparables.

En el análisis de costos reflejó que las geoceldas de TPU son más costosas debido al precio del material y al proceso de impresión en 3D. Sin embargo, en relación donde se destaquen elementos como la sostenibilidad, personalización o innovación, el TPU puede simbolizar una opción estratégica.

Recomendaciones

Se recomienda perfeccionar más el diseño de las geoceldas con TPU, anexando variaciones geométricas que faciliten la optimización mayor de su desempeño mecánico, principalmente tratando de incrementar su capacidad resistente frente a esfuerzos compresivos de 547 kg/cm².

Ampliar más los conocimientos sobre el programa SolidWorks, e indagar con qué otros softwares se puede realizar el mismo trabajo.

Tomar en cuenta otros métodos de fabricación de las geoceldas de TPU para una producción masiva y a la vez reducir costos y aumentar su viabilidad comercial.

Ampliar los ensayos experimentales como pruebas de durabilidad, resistencia al impacto y comportamiento expuesto a condiciones climáticas extremas, para así obtener una evaluación integral del TPU como refuerzo estructural.

Realizar pruebas de campo a escala real en pavimentos con tránsito vehicular bajo o moderado para validar los resultados extraídos en laboratorio.

Referencias

- [1] Vargas Jiménez, J., Moncayo Theurer, M., Córdova Rizo, J., Maza, C., Barzola Zambrano, I., Velasco Cevallos, G., Salcedo, I., Guzhñay, J., & Lucio, S., "La geomalla como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles", *Ingeniería*, Vol. 21, núm.1, 2017. [En línea] <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46752305006>
- [2] Diamond grid, "Guía de información e instalación". [Enlínea] <https://diamondgrid.squarespace.com/grid-specifications/#downloads>
- [3] S. Hernández, A. Casas y W. Aperador, "Design and manufacture of a protective device for elbows using flexible polymeric material with high mechanical resistance, through 3D additive manufacturing", *Scientia et Technica*, vol. 25, diciembre 2020. [Enlínea] <https://doi.org/10.22517/23447214.23881>
- [4] T. Xu, W. Shen, X. Lin, and Y. M. Xie, "Mechanical Properties of Additively Manufactured Thermoplastic Polyurethane (TPU) Material Affected by Various Processing Parameters", *Polymers*, Vol. 12, no. 12, p. 3010, Dec. 2020. [En línea] <https://doi.org/10.3390/polym12123010>
- [5] T. Allami, A. Alamiery, MH Nassir y AH Kadhum, "Investigating Physio-Thermo-Mechanical Properties of Polyurethane and Thermoplastics Nanocomposite in Various Applications", *Polymers*, vol. 13, núm. 15, págs. 1–24, julio 2021. [En línea] <https://doi.org/10.3390/polym13152467>
- [6] L. Rodríguez-Parada, S. de la Rosa, y PF Mayuet, "Influence of 3D-Printed TPU Properties for the Design of Elastic Products", *Polymers*, vol. 13, no. 15, p. 2519, Julio 2021. [En línea] <https://doi.org/10.3390/polym13152519>
- [7] J. Briceño, G. González, B. Briceño y P. Castellanos, "Comparación del desprendimiento de material en pavimentos rígidos reforzados con malla electrosoldada o fibras", *Ciencia e ingeniería*, vol. 40, no. 3, pp. 331-338, agosto-noviembre 2019 [Enlínea] <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507567854012>

- [8] P. A. Llerena de los Ríos, *"Implementación del nuevo sistema de pavimentos compuestos con Diamond Grid para el mantenimiento de vías deterioradas en el Centro Portuario Tramarsa en la ciudad de Ilo, Moquegua"*, Tesis de Ingeniería Civil, Univ. Ricardo Palma, Lima, Perú, 2021. [En línea] <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4409>.
- [9] M. E. Lázaro Linarez y L. S. Telles Córdova, *"Influencia del sistema Diamond Grid en el mejoramiento de la resistencia a la compresión en un pavimento en la ciudad de Trujillo 2018"*, Tesis de Ingeniería Civil, Univ. Nacional de Trujillo, Perú, 2018. [En línea] <https://hdl.handle.net/11537/22193>
- [10] E. L. Pinto Condori y P. Rojas Huamanca, *"Análisis comparativo entre un pavimento rígido convencional y un pavimento rígido con geoceldas en la Av. Augusto B. Leguía, Ciudad de Puquio, Ayacucho - 2021"*, Tesis, Univ. Privada del Norte, Lima, Perú, 2021. [En línea] <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72338>
- [11] Manual de carreteras (2014). Suelos, geología, geotecnia y pavimentos.
- [12] Instituto de la Construcción y Gerencia, *"Manual de pavimentos de concreto"*, Lima, Perú, 2016.
- [13] Asociación de Productores de Cemento, *"Propiedades del cemento Portland"*. Lima, Perú, 2018.
- [14] Asociación de Productores de Cemento, *"Clasificación de cementos"*, Lima, Perú, 2019.
- [15] Asociación de Productores de Cemento, *"El papel del agua en la construcción"*, Lima, Perú, 2020.
- [16] *"Agregados Grueso y Fino"*, Materiales de Construcción. [En línea] <https://materialesdeconstruccion.org/agregados-grueso-y-fino/>

- [17] E. M. Palmeira, "Geosintéticos en la Ingeniería de Caminos", International Geosynthetics Society, 2021. [En línea] <https://library.geosyntheticssociety.org/wp-content/uploads/resources/educational-documents/Road%20Engineering/Espanol.pdf>.
- [18] *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, American Society for Testing and Materials ASTM C 136, 2006.
- [19] *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*, American Society for Testing and Materials ASTM C 29, 1997.
- [20] *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Course*, American Society for Testing and Materials ASTM C 127, 2015.
- [21] *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*, American Society for Testing and Materials ASTM C 128, 2015.
- [22] *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*, American Society for Testing and Materials ASTM C 566, 2007.
- [23] *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, American Society for Testing and Materials ASTM C 39, 2014.
- [24] *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*, American Society for Testing and Materials ASTM C 78, 2022.
- [25] American Concrete Institute, "*ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*", Farmington Hills, 2002.

Anexos

Ficha técnica Cemento Portland Tipo I



CEMEX **d'imat**
Mataderos

CEMENTO PORTLAND TIPO I

Cemento Portland de altas resistencias, permite construir estructuras de gran calidad y fortaleza.

Comparativo de Resistencias



Edad (Días)	NTP 334.008 / ASTM C-150	CEMEX TIPO I - USO ESTRUCTURAL
28 días	~25	~375
70 días	~250	~450
90 días	~350	~500

Características Técnicas
Cemento Portland Tipo I
cumple con:
Norma Técnica Peruana: NTP 334.008
Norma Técnica Americana: ASTM C-150
Presentación: sacos de 42.5 kgs y Big Bag de 2 ton

PROPIEDADES FÍSICAS	Unidad	Norma TIPO I	Requisitos NTP 334.008 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	5.9	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.05	Máximo 0.80
Densidad	g/cm ³	3.15	No específico

Tiempo de fraguado Vicat	Unidad	Norma TIPO I	Requisitos NTP 334.008 / ASTM C-150
Fraguado inicial	min	150	Mínimo 45
Fraguado final	min	192	Máximo 375

PROPIEDADES

- Cemento Portland Tipo I.
- Excelente en el desempeño de resistencias iniciales y finales
- Rápido desmoldado.
- Tiempo de fraguado óptimo.
- Excelentes resistencias mecánicas a la compresión, flexión y tracción.
- Excelente manejabilidad y trabajabilidad.
- Estabilidad y uniformidad en sus características.

USO Y APLICACIONES

- Es un cemento ideal para la construcción de elementos estructurales tales como columnas, vigas, losas, muros y cimentaciones en diversos tipos de edificaciones y obras de infraestructura.
- Por el comportamiento de su curva de resistencia permite producir concretos que requieran una mayor resistencia inicial.
- Tiene un excelente comportamiento en la elaboración de prefabricados (postes de concreto, vigas pretensadas y postensadas, piscas, adoquines, blocks, etc.)



Ficha técnica Diamond grid

ESPECIFICACIONES

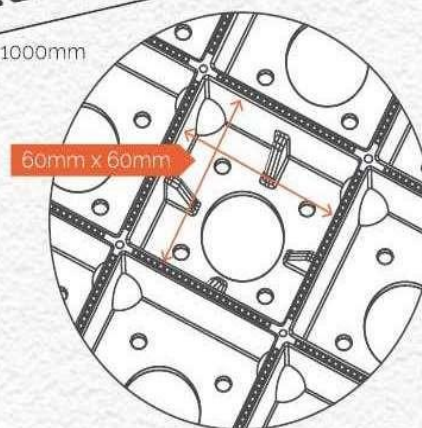
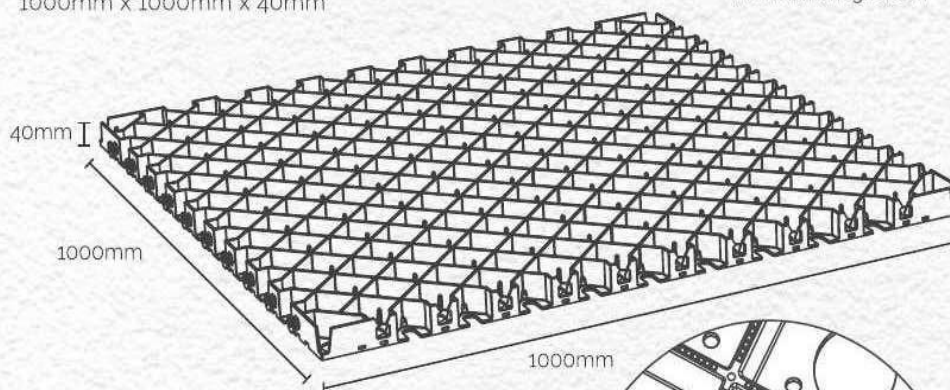
DIAMOND GRID HD

1000mm x 1000mm x 40mm



PROYECTOS
CIVILES / MINERÍA / AGROINDUSTRIA

www.diamondgrid.com



Medidas	1000mm W x 1000mm L x 40mm H
ASTM D 2166 Resistencia a la compresión (prueba con relleno)	1000+ ton/m ²
ASTM D 2166 Resistencia a la compresión (prueba sin relleno)	300 ton/m ²
ASTM C 293 Resistencia a la flexión (prueba con relleno)	2.2 ton
ASTM C 293 Resistencia a la flexión (prueba sin relleno)	0.2 ton
Peso por celda	6 Kg.
Razón de llenado por celda	1 metro cúbico de relleno x 25m ²
Permeabilidad	Hasta 98%
Relleno	Material base: grava, guijarros, pasto, tierra, concreto, alquitrán
Instalación	Ver la siguiente página / Contáctenos

Diamond Grid HD está reforzado con escuadras de alta resistencia al desgaste y más espacios vacíos para permitir mayor permeabilidad del agua.

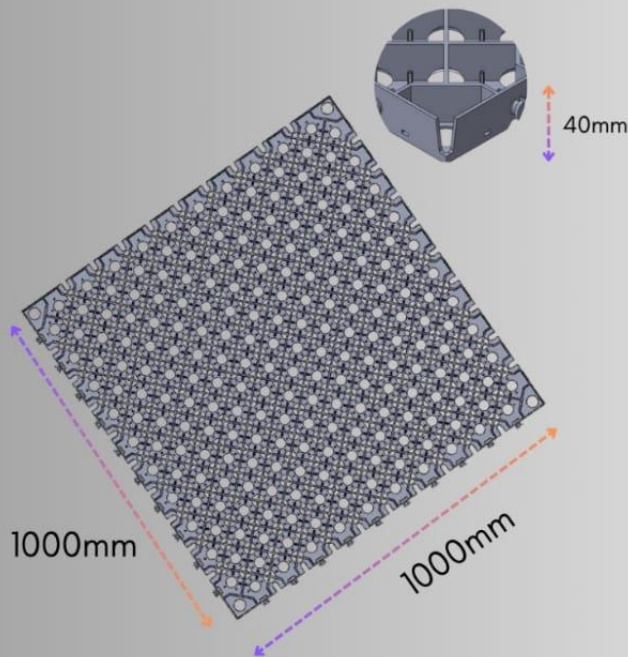
DIAMOND GRID HD esta especialmente diseñado para aplicaciones civiles, mineras y agroindustriales. Su tamaño extremadamente adaptable de 1000mm x 1000mm, protege el suelo contra la erosión, mejora el drenaje, fortalece el terreno en vías de acceso, losas de concreto para patio de maniobras, estacionamientos, refuerzos con bitumen asfáltico y muchas aplicaciones más. Diamond Grid asegura la durabilidad frente a cargas pesadas y al uso constante.



* Probado por: Facultad de Ingeniería y Centro de Exstencia de Estudios en Compuestos de Fibra Artificial, Universidad de Southern Queensland.

FICHA TÉCNICA

POLYTHERMO CELL

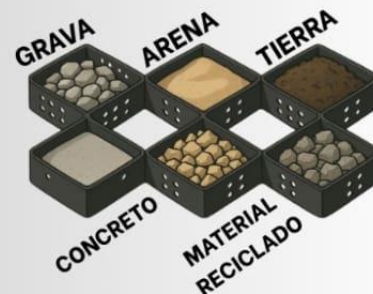


Peso por geocelda	5.8 kg
Material	Poliuretano termoplástico
Medidas	1000mm W x 1000mm L x 40mm H
Resistencia a la compresión promedio a los 28 días (según ASTM C 39)	546.7(kg/cm ²)
Módulo de rotura promedio a los 28 días	2.12 (N/mm ²)

USOS

Diseñado especialmente para reforzar el terreno de losas de concreto, estacionamientos, senderos, pistas de aterrizaje, almacenes, entre otros, debido a su facilidad de adaptación a cualquier terreno y su fácil transporte, ya que es liviano, y a la vez garantiza un sistema estructural con precios menores de mantenimiento y alta efectividad.

RELLENO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

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

INFORME N° LEM USAT 017-2025-I

FECHA: 22 de Mayo 2025

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Vanessa Sullón Montenegro

TITULO DE LA TESIS: Comparación de las propiedades mecánicas del pavimento de concreto reforzado con diamond grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico.

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

- Contenido de humedad
- Análisis granulométrico del agregado grueso y fino
- Peso específico y absorción del agregado grueso y fino
- Peso unitario del agregado grueso y fino
- Resistencia a la Compresión y flexión del concreto con refuerzo diamond grid y con refuerzo de poliuretano termoplástico
- Diseño de mezcla $F'c=280\text{kg/cm}^2$.

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



Henry
Rivadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



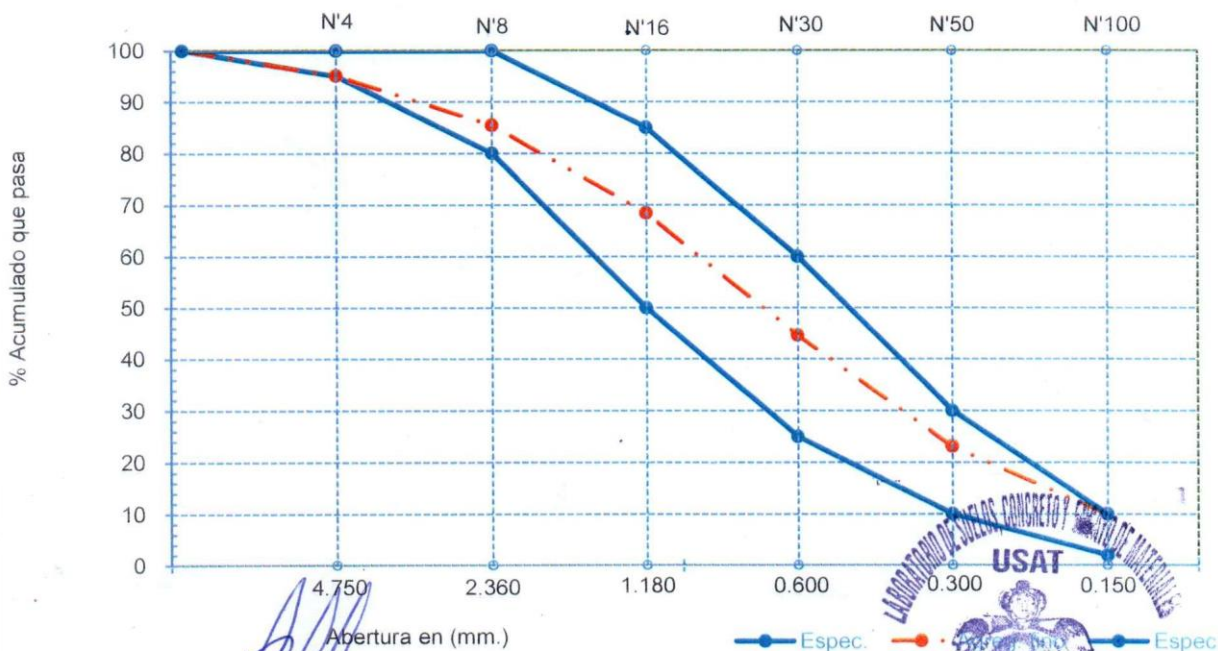


Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceladas de poliuretano termoplástico.
Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : "La Victoria" - Pátapo P. Inicial H. 500.0
 P. Inicial S. 500.0

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	24.6	4.9	4.9	95.1	95	100
Nº 08	2.360	48.4	9.7	14.6	85.4	80	100
Nº 16	1.180	84.9	17.0	31.6	68.4	50	85
Nº 30	0.600	119.2	23.8	55.4	44.6	25	60
Nº 50	0.300	107.68	21.5	77.0	23.0	10	30
Nº 100	0.150	65.8	13.2	90.1	9.9	2	10
Fondo		49.42	9.9	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.736			
Abertura de malla de referencia				9.500			

CURVA GRANULOMETRICA



Henry Ritadeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



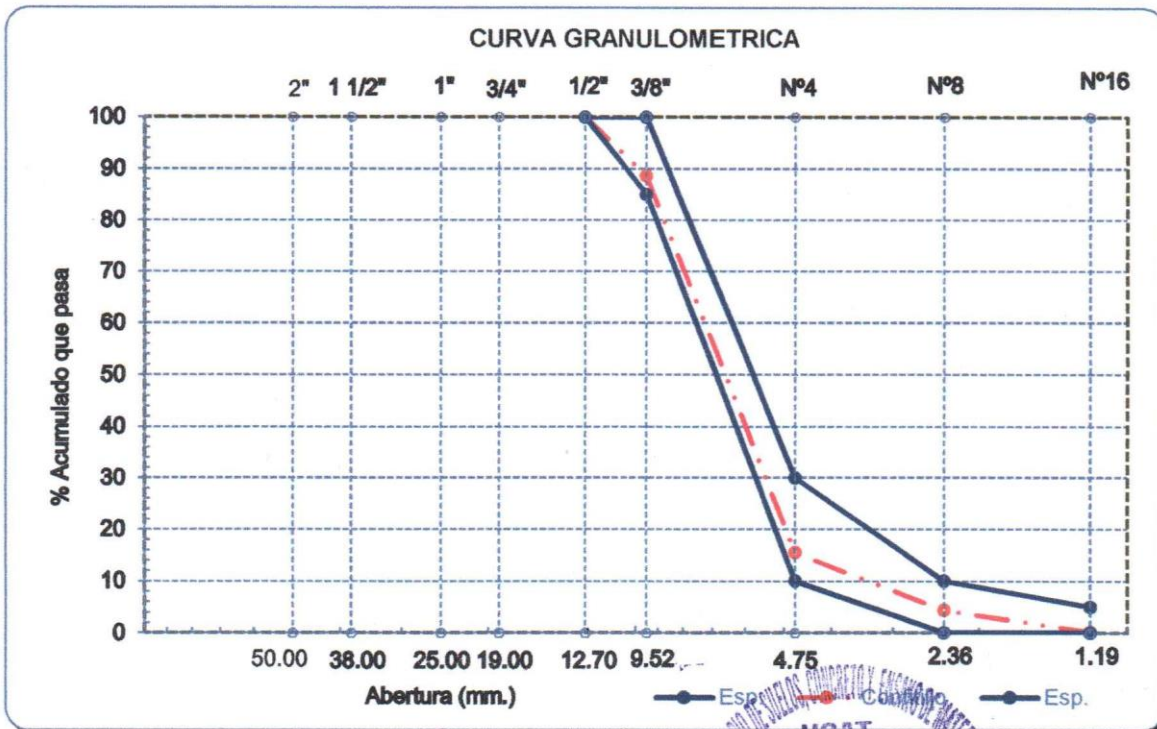
TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceladas de poliuretano termoplástico.
Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del confitillo
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : "La Victoria" - Pátapo **P. Inicial H.** 2666.26

P. Inicial S. 2666

Malla		Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Ret.	Que Pasa		
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.70	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.52	303.5	11.4	11.4	88.6	85.0	100.0
Nº 04	4.75	1949.3	73.1	84.5	15.5	10.0	30.0
Nº 08	2.36	298.3	11.2	95.7	4.3	0.0	10.0
Nº 16	1.19	109.5	4.1	99.8	0.2	0.0	5.0
Fondo		5.7	0.2	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1/2"	12.70			
Tamaño Maximo Nominal			3/8"	9.52			



Henry Rivadenebra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

 TECNICO DE LABORATORIO

Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
Escuela : Ingenieria Civil
Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico.
Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024
Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9330	9320
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9330	9320
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1691	1690
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1680	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	10415	10405
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		10415	10405
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1888	1886
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1875	

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

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1481.77	1481.77
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	500	500
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	196.4	196.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.64	



Henry Rivalanegra
 Ingeniero Civil
 Laboratorio USAT




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT



Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
 Escuela : Ingenieria Civil
 Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico.
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024
 Ensayo : Peso unitario del confitillo
 Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8000	7990
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8000	7990
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1450	1448
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1443	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8985	8975
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8985.0	8975.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00552	0.00552
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1629	1627
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1621	

Ensayo : Contenido de humedad del confitillo

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2666.26	2666.26
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	2666	2666.26
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.0	0.0
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.45	



Henry Ribadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceladas de poliuretano termoplástico.
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024
 Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino
 Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

Datos			
1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	1004.4	1004.4
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	697.77	697.77
3.- Peso del Agua	(g)	306.7	306.67
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	695	695.05
5.- Peso del Frasco	(g)	197.77	197.77
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500
Resultados			
A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.572	
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.586	
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.609	
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.55	

Ensayo : Peso específico y Absorción del confitillo

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

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

Datos			
1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	1979	1979
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	2006	2006
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2169	2169
4.- Peso de la canastilla	(g)	894	894
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1275	1275
Resultados			
A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.709	
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.745	
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.811	
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.34	


 Henry Rwadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
Escuela : Ingeniería Civil
Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceladas de poliuretano termoplástico.
Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024
Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1481.77	1481.77
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1472.28	1472.28
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.64	0.64
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.64	

Ensayo : Contenido de humedad del confitillo

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1619.8	1619.8
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1612.6	1612.6
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.45	



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



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



Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceldas de poliuretano termoplástico.
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

F'c = 280 kg/cm²

CEMENTO:

- 1.- Tipo de cemento : Cemento Portland Tipo I
- 2.- Peso específico : 3150 Kg/m³

AGREGADOS :

Agregado fino :

Cantera : "La Victoria" - Pátapo

- 1.- Peso específico de masa : 2.572 gr/cm³
- 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.5863 gr/cm³
- 3.- Peso unitario suelto : 1680 Kg/m³
- 4.- Peso unitario compactado : 1875 Kg/m³
- 5.- % de absorción : 0.5 %
- 6.- Contenido de humedad : 0.6 %
- 7.- Módulo de fineza : 2.736

Agregado grueso :

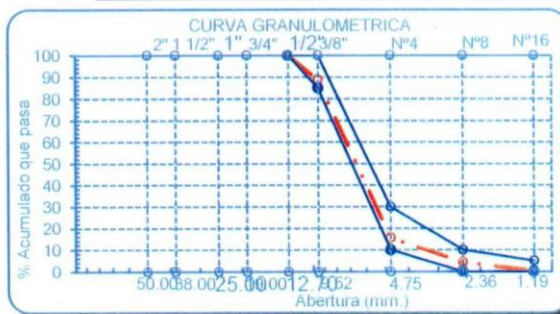
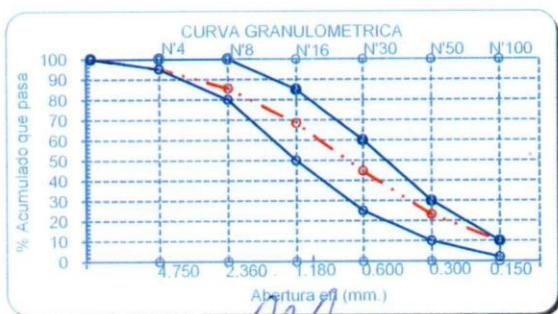
Cantera : "La Victoria" - Pátapo

- 1.- Peso específico de masa : 2.709 gr/cm³
- 2.- Peso específico de masa S.S.S. : 2.745 gr/cm³
- 3.- Peso unitario suelto : 1443 Kg/m³
- 4.- Peso unitario compactado : 1621 Kg/m³
- 5.- % de absorción : 1.3 %
- 6.- Contenido de humedad : 0.4 %
- 7.- Tamaño máximo : 1/2" Pulg.
- 8.- Tamaño máximo nominal : 3/8" Pulg.

Granulometría :

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
Nº 04	4.9	95.1
Nº 08	9.7	85.4
Nº 16	17.0	68.4
Nº 30	23.8	44.6
Nº 50	21.5	23.0
Nº 100	13.2	9.9
Fondo	9.9	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	0.0	100.0
1/2"	0.0	100.0
3/8"	11.4	88.6
Nº 04	73.1	15.5
Nº 08	11.2	4.3
Nº 16	4.1	0.2
Fondo	0.2	0.0



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

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



Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceladas de poliuretano termoplástico.
 Lugar : Chiclayo, Lambayeque, Lambayeque
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

F'c =	280	kg/cm ²
-------	-----	--------------------

Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido : 4 Pulgadas
 Peso unitario del concreto fresco : 2306 Kg/m³
 Factor cemento por M³ de concreto : 16.93 bolsas/m³
 Relación agua cemento de diseño : 0.465

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	720	Kg/m ³
Agua	335	L
Agregado fino	635	Kg/m ³
Agregado grueso	616	Kg/m ³

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	0.88	0.86	19.8	Lts/pie ³
Proporción en volumen :	1.00	0.79	0.89	19.8	Lts/pie ³


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT Universidad Católica

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Tesista : Sullón Montenegro Vanessa
 Atención : Escuela de Ingeniería Civil
 Tesis : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceladas de poliuretano termoplástico.
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 19 de Noviembre del 2024

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

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

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	8/10/2024	7	330.7
02	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	8/10/2024	7	339.0
03	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	8/10/2024	7	348.8
04	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	15/10/2024	14	524.1
05	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	15/10/2024	14	527.9
06	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	15/10/2024	14	540.5
07	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	29/10/2024	28	637.3
08	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	29/10/2024	28	697.9
09	Concreto con refuerzo Diamond grid - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	1/10/2024	29/10/2024	28	707.4
10	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	29/10/2024	7	334.6
11	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	29/10/2024	7	341.8
12	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	29/10/2024	7	348.4
13	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	5/11/2024	14	429.0
14	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	5/11/2024	14	437.0
15	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	5/11/2024	14	441.3
16	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	19/11/2024	28	540.4
17	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	19/11/2024	28	543.1
18	Concreto con refuerzo de TPU - f _c = 280 kg/cm ² - CEMENTO TIPO I	22/10/2024	19/11/2024	28	556.5


 Henry Avadameyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT



RECIBIDO EL

Tesisistas : Sullón Montenegro Vanessa
 Atención : Escuela de Ingeniería Civil
 Proyecto : Comparación de las propiedades mecánicas entre un pavimento de concreto reforzado con Diamond grid y uno con geoceladas de poliuretano termoplástico
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de presentación : 19/05/2025

Norma : N.T.P. 399.078 - 2012
 Título : Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Muestra Nº	Denominación de Espécimen	Fecha de Curado	Fecha de Ensayo	Carga (Kg)	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (N/mm ²)	Módulo de Rotura (N/mm ²) Promedio
01	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	7/10/2024	64746	7	1.92	2.02
02	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	7/10/2024	68670	7	2.04	
03	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	7/10/2024	70632	7	2.10	
04	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	14/10/2024	67689	14	2.01	2.2
05	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	14/10/2024	71613	14	2.13	
06	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	14/10/2024	78480	14	2.33	
07	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	28/10/2024	65727	28	1.95	2.12
08	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	28/10/2024	70632	28	2.10	
09	Concreto con refuerzo Diamond grid	30/09/2024	28/10/2024	77499	28	2.30	
10	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	8/11/2024	66708	7	1.98	2.02
11	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	8/11/2024	67689	7	2.01	
12	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	8/11/2024	69651	7	2.07	
13	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	15/11/2024	71613	14	2.13	2.2
14	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	15/11/2024	74556	14	2.21	
15	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	15/11/2024	78480	14	2.33	
16	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	29/11/2024	67689	28	2.01	2.15
17	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	29/11/2024	71613	28	2.13	
18	Concreto con refuerzo TPU	1/11/2024	29/11/2024	77499	28	2.30	



 RIVADENEYRA
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

 USAT

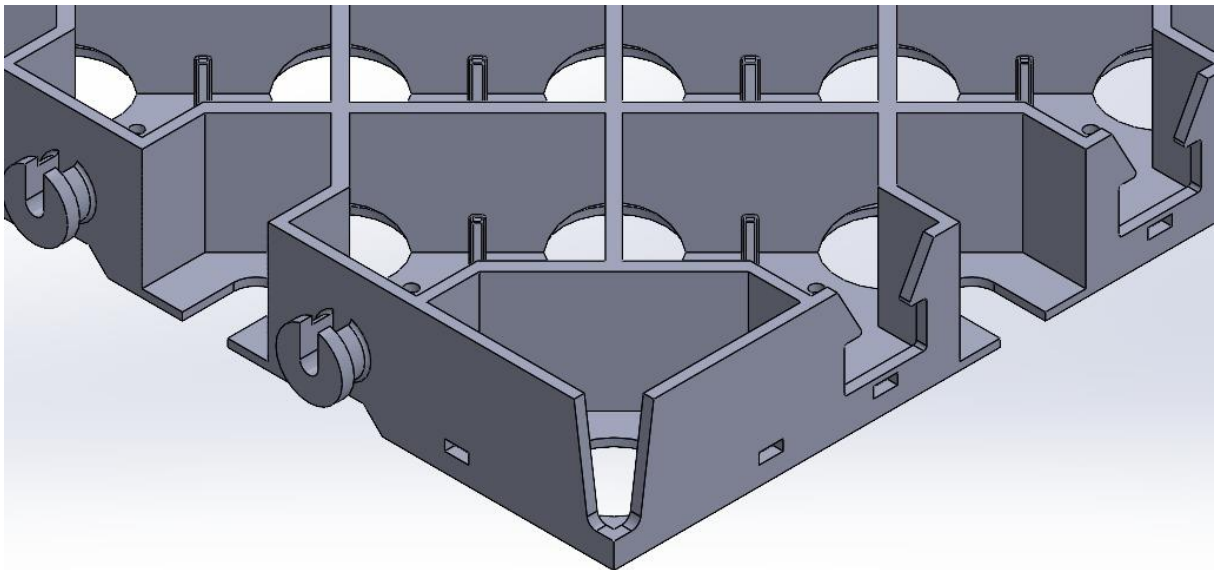
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Materiales utilizados para la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Detalles de las geoceldas diseñadas en Solidworks



Fuente: Elaboración propia

Corte de las geoceldas Diamond grid a medidas solicitadas



Fuente: Elaboración propia

Moldes con geoceldas insertadas para próximo vaciado



Fuente: Elaboración propia

Vaciado del concreto en las probetas con geoceldas para ensayo a flexión



Fuente: Elaboración propia

Vaciado del concreto en las probetas con geoceldas para ensayo a compresión



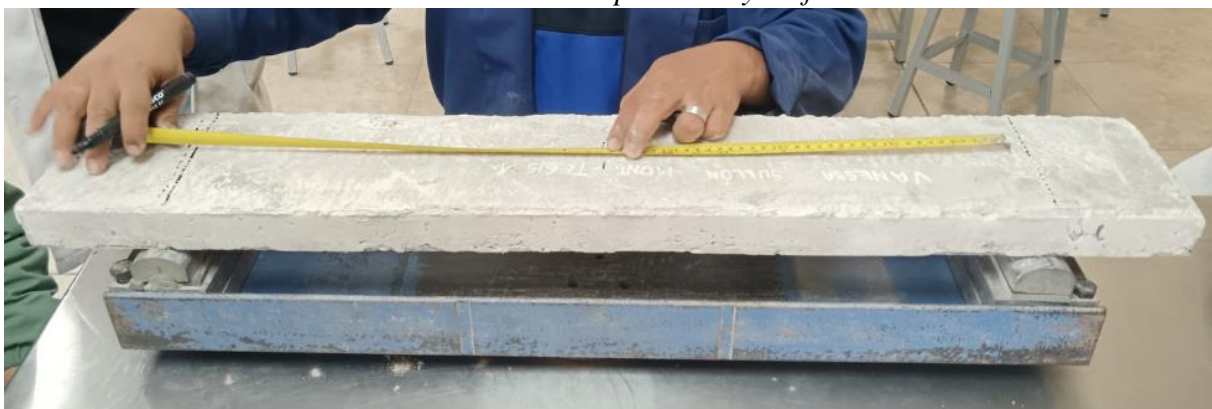
Fuente: Elaboración propia

Curado de probetas según edades especificadas



Fuente: Elaboración propia

Marcado a los tercios para ensayo a flexión



Fuente: Elaboración propia

Muestra después de ser sometida a cargas de compresión con geocelda DG



Fuente: Elaboración propia

Muestra después de ser sometida a cargas de flexión con geocelda DG



Fuente: Elaboración propia