

FACULTAD DE INGENIERÍA
Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“PAVIMENTOS PERMEABLES COMO
ALTERNATIVA PARA LA ATENUACIÓN DE
IMPACTOS METEOROLÓGICOS EN EL
ENTORNO URBANO DE LA CIUDAD DE
TRUJILLO, 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

Renzo Eduardo Ascon Orbegoso

Jose Wiston Burga Angulo

Asesor:

Mg. Germán Sagástegui Vásquez

<https://orcid.org/0000-0003-3182-3352>

Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Díaz García, Gonzalo	40539624
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	Peche Melo, Nixon	70615775
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	Rubio Herrera, Sonia	42984416
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

DEDICATORIA

A Dios, por su gracia e infinito amor dado al hombre, por dar a mi persona un carácter renovado junto a una nueva vida.

A mis amados padres, José Humberto y Lesly Elvira por haberme inculcado valores y brindar un ambiente óptimo para mi desarrollo.

A mis abuelos, Genaro Angulo y Amalia Arrascue por darse el tiempo de cuidarme y otorgar su hombro cuando estaba débil.

A mi compañero de tesis, Renzo por emprender juntos esta aventura de conocimiento.

Y, a todas las personas que buscan que el mundo sea más justo, igualitario, equitativo y multipolar.

Burga Angulo, José

El presente trabajo de grado va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres que, con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

Asimismo, agradecer a mi compañero José, porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta.

Ascón Orbegozo, Renzo

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su eternal cuidado y amor, por regalarnos el soplo de vida y ser nuestro guía
para nunca desviar.

A nuestro maestro y asesor Mg. Sagastegui Vásquez, German por aleccionar con amor y
paciencia nuestro camino de investigación.

A nuestros familiares y amigos, por brindar un apoyo constante y desmedido con la
voluntad que crezcamos como personas.

A nuestra institución, Universidad Privada del Norte y a la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil por habernos dado la orientación y el conocimiento hacia una vida
profesional de éxitos.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
TABLA DE CONTENIDOS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad Problemática	13
1.2. Formulación del Problema.....	24
1.3. Objetivos	24
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	32
CAPÍTULO III. RESULTADOS	73
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	102
REFERENCIAS	117
ANEXOS	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	34
Tabla 2	35
Tabla 3	36
Tabla 4	37
Tabla 5	71
Tabla 6	72
Tabla 7	73
Tabla 8	74
Tabla 9	75
Tabla 10	76
Tabla 11	77
Tabla 12	78
Tabla 13	79
Tabla 14	80
Tabla 15	81
Tabla 16	83
Tabla 17	85
Tabla 18	89
Tabla 19	90
Tabla 20	91
Tabla 21	92
Tabla 22	97
Tabla 23	125

Tabla 24	126
Tabla 25	127
Tabla 26	127
Tabla 27	128
Tabla 28	129
Tabla 29	130
Tabla 30	130
Tabla 31	131
Tabla 32	135
Tabla 33	138
Tabla 34	139
Tabla 35	140
Tabla 36	140
Tabla 37	141
Tabla 38	141
Tabla 39	142
Tabla 40	142
Tabla 41	143
Tabla 42	143
Tabla 43	144
Tabla 44	144
Tabla 45	145
Tabla 46	145

Tabla 47	146
Tabla 48	147
Tabla 49	148
Tabla 50	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	15
Figura 2	19
Figura 3	21
Figura 4	43
Figura 5	45
Figura 6	47
Figura 7	67
Figura 8	68
Figura 9	69
Figura 10	82
Figura 11	84
Figura 12	93
Figura 13	94
Figura 14	98
Figura 15	98
Figura 16	101
Figura 17	126
Figura 18	129
Figura 19	132
Figura 20	134
Figura 21	149
Figura 22	150
Figura 23	151

Figura 24	152
Figura 25	153
Figura 26	154
Figura 27	155
Figura 28	156
Figura 29	157
Figura 30	158
Figura 31	159
Figura 32	160
Figura 33	161
Figura 34	162
Figura 35	163
Figura 36	164
Figura 37	165
Figura 38	166
Figura 39	167
Figura 40	168
Figura 41	169
Figura 42	170
Figura 43	171
Figura 44	172
Figura 45	173
Figura 46	174

Figura 47	175
Figura 48	176
Figura 49	177
Figura 50	179
Figura 51	180
Figura 52	181
Figura 53	182
Figura 54	183
Figura 55	184
Figura 56	185
Figura 57	186
Figura 58	187
Figura 59	188
Figura 60	189

RESUMEN

Una defectuosa planificación urbana, sistemas deficientes de drenaje, estudios hidrológicos de cuenca en adición a los pavimentos tradicionales, que impiden la penetrabilidad del agua y suscitan al desaprovechamiento y conducción inadecuada de la misma, demostraron que la ciudad de Trujillo no se encuentra en las condiciones de hacer frente a los problemas derivados de la precipitación. Es por ello que, bajo una investigación de tipo aplicada, cuantitativa, experimental cuasiexperimental y explicativa se buscó analizar la influencia del pavimento permeable en el entorno urbano como una alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos que afectan a la localidad en 2022. La técnica de recolección de información fue la observación y empleó como instrumento a la guía de observación; asimismo, como materiales se utilizó la ficha de recolección datos y tablas de información sobre las muestras que fueron los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto poroso con porcentaje de vacíos a 13, 15 y 17. Como resultado del proceso, se encontró que la propuesta de pavimento rígido permeable presentó la oportunidad de mejorar la convivencia humana con la infraestructura vial que dispone la ciudad de Trujillo debido a que al ofrecer una configuración porosa que aminora la escorrentía de agua a la vez que faculta el tránsito común de vehículos genera una seguridad al paso del peatón como de los vehículos por medio del control de lluvias; su aplicación, asimismo, contribuye con el medio natural generando la conservación del ciclo del agua y acerca a Trujillo a ser una ciudad sostenible.

Palabras clave: pavimento rígido permeable, concreto poroso, control de lluvias, ciudad sostenible.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La naturaleza presenta un carácter hostil y espontáneo, su incidencia en la actividad humana es tal que el hombre, en el paso del tiempo, ha buscado la manera de controlar y mitigar la acción de los fenómenos meteorológicos que trae consigo el entorno natural. La búsqueda de estructuras resistentes al paso del tiempo con la función del manejo de aguas y su aprovechamiento fue siempre un tópico primordial en las culturas desarrolladas. Un ejemplo claro es remitirse al legado preincaico que perdura hasta hoy con los Andenes del Valle Sondondo, siendo este un sistema agrario que, por el empleo de distintas capas de materiales en su estructura y su diseño aterrazado escalonado, permite aprovechar las aguas pluviales para riego, controlar la erosión de las montañas, regular la escorrentía, asimismo, de ayudar con la siembra de agua (Delgado, 2019). El ser humano contemporáneo busca enmendar el error de haber omitido la herencia cultural precolombina trayendo la ciencia de aquella época y plasmarla en la actual a fin de reformar las estructuras que rodean al foco urbano, así pues, incrementar las posibilidades para manejar el recurso hídrico en el medio (Freire y Díaz, 2008).

Actualmente, la estructura de mayor extensión longitudinal en las ciudades es el pavimento, estos cubren alrededor del 30 – 45% de las superficies urbanas (Akbari et al. 2009 citado en Jato et. al. 2019). La capa de rodadura del pavimento estándar junto a su diseño estructural impermeable origina que la escorrentía afecte su esqueleto, así mismo, de ser obstrucción para que el agua vuelva a la tierra. El rubro de construcción civil, en necesidad de soluciones a dicho problema, ha indagado en la implementación de pavimentos con capa drenante en vez de una estructura vial impermeable convencional, con el fin de optimizar el

reciclaje del recurso hídrico proveniente de lluvias y seguir obteniendo provecho de sus cualidades como recurso matriz de la sociedad (Esquerre y Silva, 2019).

En virtud de ello, distintos países indagan en el diseño y desarrollo de estructuras viales capaces de satisfacer el crecimiento poblacional, proporcionar una solución al impacto negativo producto de procesos naturales hidrológicos y aprovechar el agua de precipitación. España ha puesto esfuerzo mayor en la materialización de estructuras capaces de ser útiles en operación como en formar parte de un sistema de urbano, hidrológico y paisajístico al cual denominan Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS). La obra del Aparcamiento Permeable de Gijón, desarrollada en Flores Moras (2014), logra una gran funcionalidad como SUDS y muestra posibilidad para que el agua almacenada por la subbase sirva de riego para las zonas verdes por medio de colocación de bombas de riego y puntos de recojo. En suma, se tiene a Amorós y Bendezú (2019), quienes en su trabajo de grado desarrollaron un pavimento permeable de tres capas: capa de rodadura de concreto (15 cm), subbase granular (25 cm) y capa de transición (10 cm) capaz de drenar una escorrentía de agua a 0.0174 m/s concluyendo que el prototipo hecho con concreto permeable es una alternativa ecológica para la filtración de agua y su posible posterior reutilización.

El gigante asiático, la República Popular de China ha puesto como objetivo nacional la creación de nuevas estructuras que vayan en sintonía con el entorno a fin de reducir su huella de carbono generado por las grandes ciudades y campos de producción. Entre ellas se encuentran las autopistas de propiedades permeables que suman a su función de conectar el país el idóneo manejo pluvial (Li et. al, 2022). Sin embargo, el pavimento permeable no solo es aplicado en funciones netamente ligadas a vehículos; sino, también de manera paisajística y urbanística como es evidencia los parques y plazas decorativas hechas en el país para los

Juegos Olímpicos de Beijing 2008 (ver figura 1). Por otro lado, en Jinan – China, el pavimento permeable, a base de ladrillos porosos, muestra referencias útiles para el desarrollo de ciudades esponja y la gestión competente del agua de lluvia; además, alivia eficazmente la escasez de agua urbana, en comparación con el pavimento de cemento tradicional, dando sostenibilidad a la ciudad (Wang et al., 2019).

Figura 1

Uso del concreto permeable en el área de esparcimiento del Parque Olímpico de Beijing, Chaoyang, China.



Nota. Cerca de 250 mil metros cuadrados de concreto permeable se utilizaron para los Juegos Olímpicos de Verano de 2008 en Beijing, China. Adaptado de *Pretty and Pervious: Decorative Options for Pervious Concrete*, por S. Enesey, 2010, *Concrete Decor*, 10 (2).

En América, Estados Unidos en respaldo de la Agencia de Protección Medioambiental (EPA), reconoce al concreto permeable como una de las Buenas Prácticas de Gestión para con el agua de lluvia, o BMP, por sus siglas en inglés (Tennis et. al. 2014, citado en Cárdenas et. al. 2017). Verbigracia, en el estacionamiento del Estadio Finley, de la

comunidad homónima en Tennessee, se instaló por capa de rodadura un concreto poroso con el propósito de captar el agua de lluvia, almacenarla y, mediante una cámara de bombeo, irrigar el campo del estadio, para de esta manera, disminuir costos en el servicio (Ravello y Baldeón, 2020); en la misma línea, Wang, G. (2016) comenta que, con la mira de remediar la pérdida de resistencia del concreto permeable la empresa MultiServ-Harsco del Estado de Carolina del Norte optó por usar escoria de Horno de Arco Eléctrico, lo que dio resultado a una resistencia a la compresión mayor de 280 kg/cm² y una mejora en el drenaje de agua de lluvia en estacionamientos comerciales.

En Perú, la experiencia dejada por el Niño Costero de 2017 acentuó el interés por el diseño e implementación de capas drenantes en zonas sensibles a sufrir afectación por precipitaciones; pese a, pocas son las organizaciones involucradas con vehemencia en su estudio y aplicación. La Planta de Tratamiento de Agua de Huachipa – Lima fue de las primeras obras que vivió la aplicación de este producto; las capas drenantes se utilizaron a manera de recubrimiento de tuberías para su protección, y también como parte de pavimentos con el propósito de garantizar el reintegro de aguas al subsuelo (Guizado y Curi, 2017). La empresa Unión de Concreteras S.A. (UNICON) participó en dicho proyecto; y, en la actualidad, empresas como ECOCRET S.A. y Cementos México se suman al desarrollo de investigaciones con estructuras permeables al sur del país.

Trujillo, capital del departamento de La Libertad, afectada grandemente por el Niño Costero, acogió en repositorios académicos de universidades locales investigaciones científicas involucradas con el estudio, análisis y propuestas de firmes permeables en vías; empero, a pesar de la urgencia de renovar su infraestructura vial que permita hacer frente a

fenómenos meteorológicos de mediana envergadura, no se data de aplicación inmediata y a gran escala, lo que deja a los proyectos como información teórica.

La elaboración de pavimentos en Perú es liderada por la metodología de diseño AASHTO 93 de la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO). Mediante su modelo son la principal guía para determinar el espesor de capas de un pavimento flexible, semirrígido y rígido. De la misma forma, el Instituto Estadounidense de Concreto (ACI), autoridad en manejo y práctica del mismo, mediante su comité 522 elaboró el documento 522R-10 el cual brinda la información técnica y estudios necesarios para la aplicación del concreto hidráulico permeable detallando sus métodos de diseño, materiales, propiedades, proporciones de mezcla, métodos de construcción, pruebas e inspección. Por lo que, si se acoplan las investigaciones que brindan ambas instituciones, con su metodología y estudios técnicos, se muestra posible la construcción de una estructura vial capaz de cumplir con estándares estructurales y adherir a sus funciones la propiedad permeable.

La aplicación de firmes permeables a gran escala se atisba cada vez más cerca en vista que empresas peruanas y extranjeras buscan lograr su implementación en el territorio urbano del país y ayudar con la creación de un entorno resiliente al paso de la naturaleza. En particular, ECOCRET S.A., empresa de concreto y prefabricados, con la incorporación del concreto permeable a su carta de premezclados ofrece a los Gobiernos Locales de Arequipa la implementación del producto en obras urbanas como veredas, bermas y pavimentos de tránsito ligero. Otra empresa interesada en su aplicación es el Grupo UNACEM, la cual trabaja en reducir el impacto ambiental generado por la elaboración y uso de cemento y concreto para el uso urbano (Unión Andina de Cementos, 2022). De manera que, desde 2011

con su empresa UNICON, presentó al concreto permeable como un producto sostenible con la característica de facultar el ingreso de agua en su estructura sin dañarlo internamente. Su obra de mayor relevancia, como se mencionó en párrafos anteriores, respecto al producto fue el revestimiento de tuberías en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huachipa – Lima; y, actualmente, pese a la magnitud inicial que tuvo, el producto se encuentra retirado de su carta. Por otro lado, Cementos México, con sus holdings y subsidiarias en el país, en su catálogo de premezclados vende al concreto poroso como un diseño especial de mezcla capaz de filtrar aguas pluviales con el fin de reducir las inundaciones, recomendando su uso para estacionamientos, caminos de circulación peatonal y orillas de piscinas.

La construcción año a año ha ido creciendo en importancia dado que satisface las necesidades de los diferentes sectores de una población al proveer de vías de acceso, vivienda, lugares de esparcimiento y trabajo. Pero, esto se ve afectado por los fenómenos naturales recurrentes en todo el país y las cuestiones inherentes de ejecución; los cuales, si no se tiene un plan para manejarlos, generan desastres de diferentes magnitudes. Dentro de ellos, las aguas provenientes del Niño Costero 2017 fueron las que ocasionaron daños a la vida y salud de las personas dejando un saldo de 1 millón 782 mil personas damnificadas, perjuicio a tierras de cultivo en 131 mil 600 hectáreas afectadas, menoscabo a la infraestructura pública y privada, y el deterioro paulatino o inmediato de las estructuras viales tradicionales, construidas para hacer frente al crecimiento poblacional, en 234 mil 50 kilómetros de carreteras (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2017, pp. 13-15) (Ver figura 2). Además, si se considera zonas de frío andino se suma el agravante derivado de la granizada tanto en su estado congelado como líquido. Puesto que, el agua superficial contribuye en la oxidación del asfalto, más aún cuando ingresa por los poros de la capa de

rodadura; sin embargo, el mayor efecto destructivo se manifiesta en forma combinada con las cargas del tráfico ya que el agua alojada en las fisuras, poros e intersticios del pavimento por efecto de la presión de los neumáticos genera una presión de vacíos que gradualmente destruye el pavimento asfáltico tradicional (Obando, 2017).

Figura 2

Vías circundantes a la Plaza de Armas de Trujillo inundadas por el Niño Costero, Perú.



Nota. El Niño Costero de 2017 afectó la estructura de las vías y edificaciones de la Ciudad de Trujillo dejándolas sensibles a graves daños ante sismos de pequeña escala. Tomado de “Trujillo: edificaciones peligran tras Fenómeno El Niño costero”, por Gonzales, T, 2017, RPP noticias.

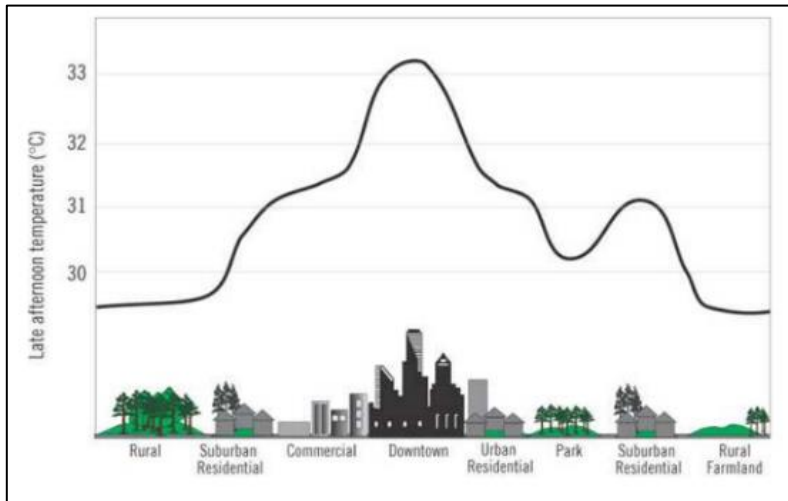
De la misma forma, el rápido crecimiento poblacional con la inherente y paulatina ampliación longitudinal de viviendas han generado problemas al Estado para ejecutar infraestructuras modernas que suplan la necesidad urbana, medioambiental y que acompañen al progreso económico (Abusada, 2018); además de, ralentizar la implementación del plan de ordenamiento territorial que nace con el objetivo de proteger áreas ambientales, proveer áreas seguras para vivienda, fomentar la inclusión social y diseñar una adecuada

pavimentación a fin de lograr bienestar a la población. (Ministerio del Ambiente, 2015, pp. 8-10). Consecuencia de ello, para el diseño de la infraestructura vial en las ciudades, en el afán de abastecer la creciente urbanización, se procede a priorizar principalmente el criterio de la resistencia dejando de lado, indirectamente, aspectos de diseño importantes como el drenaje de agua y condiciones ambientales olvidando la posible alteración de ciclos naturales. Dicho accionar conjunto, de desplazamiento no previsto de la población y priorización de resistencia, agrava aún más la creciente impermeabilización de suelos por actividad antropogénica. La impermeabilización del suelo por actividades humanas, como la urbanización, altera la capacidad de infiltración del mismo y puede volverse un proceso irreversible por el uso de materiales como el asfalto o el concreto (Romero et. al. 2011 en Salas et. al. 2019).

La isla de calor, problema cadena de la impermeabilización de suelos, es una anomalía climática consistente en la acumulación de calor debido a las enormes masas de materiales de construcción de edificaciones, como el concreto y asfalto, y la falta de conductividad térmica. De modo que, las consecuencias que trae consigo son la contaminación de aire, emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), enfermedades; y, mortalidad de animales relacionada con el aumento excesivo de temperatura de la capa externa del pavimento. Las islas de calor presentan una relación directa entre la temperatura de la superficie y el uso de suelo urbano (Connors et. al. 2013). El fenómeno se manifiesta con mayor temperatura en superficies artificiales las cuales se componen por calles, andenes, edificios y techos que en áreas de cobertura vegetal (Trujillo, 2012). (ver figura 3).

Figura 3

Modelación del efecto de las Islas de Calor según el uso del suelo.



Nota. El fenómeno de las Islas de Calor tiene su causa principal en la acumulación de edificaciones, como concretos y asfaltos, haciendo que las zonas urbanas experimenten temperaturas mayores a las periféricas de la ciudad en un incremento que va desde 1°C hasta 3°C. Tomado de “Estimación de temperatura superficial en el valle de Aburrá mediante técnicas de percepción remota”, por Trujillo, S, 2012, Universidad EIA.

Una defectuosa planificación urbana, sistemas deficientes de drenaje en adición a pavimentos que impiden la penetrabilidad del agua, que a su vez suscitan al desaprovechamiento y conducción inadecuada de la misma, generan alteración funcional no solo al medio urbano sino también al ambiente. El criterio urbanístico de suprimir la apertura al marco sostenible y la arquitectura bioclimática por apresurar la implementación de una infraestructura consuetudinaria, ante una urbanización cada vez mayor, genera que el sellado de suelos, la pérdida de la fertilidad de terrenos circundantes y la alteración del ciclo del agua sea más común; conllevando, per se a una degradación de la capacidad de carga medioambiental (Rodríguez et. al. 2019); es por ello que, se hace prioridad el observar con

detenimiento la aplicación de estructuras eco amigables como las que incorporan el recubrimiento poroso a su mecánica operacional para así disminuir los efectos negativos procedentes de la alteración continua del entorno.

La población mundial para mediados del Siglo XXI, según estimaciones de las Naciones Unidas, será de 9,700 millones con una aproximación a los 11000, en suma, a la investigación de Huntington (2006, citado en Jato et. al., 2019) quien afirma que la severidad y frecuencia de las tormentas aumentarán por el cambio climático generando un posible colapso de las estructuras que no estén preparadas para soportar su paso, proporcionan una incertidumbre para el ser humano en el cómo suplir el *boom* de expansión poblacional y comercial que vaya de la mano con un manejo óptimo de los impactos meteorológicos, causados por los fenómenos naturales, sin afectar la permeabilidad natural del suelo.

Los datos de incremento demográfico, así como los estudios sobre la incidencia progresiva de precipitaciones y tormentas deben formar parte crucial en los parámetros iniciales de búsqueda de estructuras capaces de mantener su funcionalidad inclusive bajo condiciones climáticas adversas. Un pavimento tradicional, por la priorización de la resistencia, no logra ser un instrumento dual que entregue funciones simultaneas como el tránsito de vehículos y el paso continuo del agua hacia el terreno. Por otra parte, el esqueleto del pavimento tradicional al no estar facultado de evacuar internamente el agua, el agua alojada en la estructura combinada con el efecto de la presión de los neumáticos, generara una presión de poros al interior del pavimento que lo destruye progresivamente del interior hacia el exterior (Obando, 2017). Ante esto, las precipitaciones con miras a incrementar su intensidad se hacen un problema premonitorio para el sistema vial urbano del país puesto que existe una relación inversamente proporcional de hacer frente a un fenómeno relacionado

con este tipo configuración a presentar inundaciones en el camino, una continua erosión del suelo compactado, además de, saturar las obras de drenaje.

En el desconcierto de no encontrar estructuras viales nuevas y el apañeo de realizar una rápida pavimentación de zonas rurales se omite la importancia de evitar la impermeabilización del terreno. La progresiva impermeabilidad de suelos por las capas compactadas de un pavimento tradicional, problema intrínseco al crecimiento de las ciudades, permiten que las aguas servidas y escurrimientos saturan los materiales inestables y afecten las características naturales del terreno, lo que provoca efectos negativos tales como la pérdida de capacidad de retención y filtración del agua de lluvia. (Rodríguez, 2018). A su vez influye, también, en la inertización y desertización de la superficie terrestre, el aumento de la temperatura ambiente en las ciudades, el deterioro de la calidad atmosférica, la alteración paisajística y la desnaturalización del entorno.

El desarrollo de estructuras viales capaces de dar solución a la problemática derivada de fenómenos meteorológicos y brindar una doble funcionalidad es el foco de búsqueda principal de muchos países y empresas inmersas en la sostenibilidad. Jato et. al. (2019) menciona que los pavimentos permeables ofrecen una oportunidad para reducir los impactos de fenómenos, ayudando a restaurar el ciclo natural del agua y contribuyendo a hacer las ciudades más resilientes. De la misma manera, Cárdenas et. al. (2017) integran, con la estructura porosa, una opción de diseño diferente al convencional alcanzando beneficios sociales, ambientales y económicos que con solo el diseño clásico impermeable no se puede obtener. En respuesta a la problemática mencionada, presente en los países alrededor del mundo, el pavimento permeable explora la alternativa de ser un nexo entre ser una estructura

contemporánea capaz de resistir el paso de vehículos y permitir el paso del agua sin generar daños extremos en su estructura.

En tanto este trabajo planea realizar una investigación de propósito aplicada, de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental y de nivel explicativo a fin de analizar la aplicación de pavimentos permeables como alternativa para la reducción de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo. Donde, las variables de estudio serán los pavimentos permeables y los impactos meteorológicos; la unidad de estudio serán los pavimentos permeables y la delimitación geográfica y temporal será la ciudad de Trujillo, Perú en el año 2022.

1.2. Formulación del Problema

¿De qué manera influyen los pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo, 2022?

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Analizar la influencia de los pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo, 2022.

Objetivos Específicos

- Establecer las propiedades físicas de los agregados destinados a la fabricación del pavimento permeable.

- Determinar las características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco y estado endurecido según las Normas Técnicas Peruanas y Normas ACI.
- Elaborar el diseño estructural del pavimento rígido permeable según el Manual de Suelos y Pavimentos del Perú.
- Determinar los impactos meteorológicos capaces de ser mitigados con la aplicación de pavimentos permeables en el entorno urbano.

Hipótesis General

Los pavimentos permeables influyen significativamente en la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo, 2022.

Antecedentes Teóricos

Estrada y De la Cruz (2017) en su investigación "Pavimentos permeables como alternativa de drenaje en las principales calles de la ciudad de Ayacucho, Perú", avalado por la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, tuvo como objetivo describir y analizar estructuras viales permeables modelo, desde el diseño hasta el ensayo en laboratorio, con el fin de proponer un diseño en base a las características de la ciudad andina de Ayacucho. Su enfoque y diseño de investigación fue aplicado - experimental, para el cual, se requirió diseños de mezcla de concreto con diferentes propiedades mecánicas, hidráulicas y ambientales considerando variables que pueden influir en su periodo de vida útil. Los diseños de mezcla de concreto, para la capa de rodadura, fueron elaborados con porcentajes de 15 y 25 de vacíos, husos granulométricos del N°4 al N°8 para los cuales no se consideró como

ingrediente al agregado fino; y, posteriormente a su fraguado, fueron probados en resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días obteniendo un total de 18 muestras de estudio por cada día de rotura. Posteriormente a la obtención de valores mecánicos se procedió a probar la resistencia a la colmatación con cajones de muestra para los cuales se tuvo incidencia por pendientes de infiltración de agua de 0%, 2%, 4%, 6% y 10%. La recolección de datos fue mediante equipos como el Cono de Abrams para la trabajabilidad, prensa hidráulica para la resistencia a la compresión y cántabro fijo para el ensayo de colmatación de muestras. El diseño del pavimento se concibió mediante la metodología brindada por la Asociación de Concretos & Productos de Florida (FCPA), la Asociación de Cementos Portland (PCA) y la Comisión Regional de Atlanta (ARC) para un pavimento rígido, de bajo tránsito con una media diaria de 1696 vehículos. El pavimento fue preparado estructuralmente para resistir e infiltrar 3200m³ de agua en su periodo útil de vida para el cual requirió de un espesor final de 680 mm (240mm para la losa y 440 mm para subbase). El autor concluye que la aplicación del concreto poroso en los pavimentos permeables está limitada a las zonas de tráfico ligero por su baja resistencia a la compresión; además, determinó que la gradación del agregado influye en las propiedades mecánicas y en la permeabilidad del concreto poroso.

Guerra (2019) en su investigación “Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiani del sector nor-oeste de la ciudad de Juliaca” tuvo como objetivo principal el diseño de un pavimento rígido permeable hecho mediante la metodología americana AASHTO a base a agregados de la ciudad de Juliaca con incorporación de fibras de polipropileno en distinto porcentaje. Se consideró losa, sub base granular y una tubería perforada de evacuación como

el diseño final de la estructura. La investigación fue aplicada - pre experimental en la cual se evaluó tres diseños de mezcla con nueve especímenes por cada uno de ellos, los cuales se sometieron a pruebas de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad. Como materiales empleados se tuvo al cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y fibras de polipropileno con incidencia a 0%, 0.05% y 0.10%; y, como sustento de fiabilidad se utilizó las normas: ASTM C39, ASTM C293/02 y la ACI 522R para ensayos de resistencia, flexión y permeabilidad, respectivamente. El diseño estructural para el pavimento se basó en la metodología AASHTO, el cual se ideó para tener una proyección vial a 15 años con transitabilidad baja tomando en consideración las características locales de Juliaca a fin de tener el mejor funcionamiento in situ. Por medio de los ensayos de laboratorio, el autor concluye que la mezcla de concreto desarrollada con 0.05 de porcentaje de polipropileno fue la de mejor desempeño por alcanzar una resistencia a compresión a los veintiocho días de 196.92 Kg/cm² junto a un módulo de rotura de 31.74 MPa capaz de drenar a una velocidad de 0.463 cm/segundo. Como losa del pavimento se utilizó la de mejor desempeño obteniendo una altura final de capas de: 20 cm para la capa de rodadura, 30cm para la subbase granular agregando una capa de transición de 5cm a manera de filtro protector. Como conclusión del autor se indicó que en una estructura vial permeable de poco tránsito el pavimento se puede utilizar también como drenaje urbano proporcionando una infiltración excelente; a la vez que, se logra un drenaje urbano sostenible para la ciudad.

Esquerre y Silva (2019) en su estudio “Propuesta de diseño de un pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú” tuvo como objetivo realizar el diseño de once mezclas de concreto drenante y proponer a uno de ellos como capa

exterior de rodadura para vías de moderado tránsito con propiedad de recibir aguas pluviales. El diseño de investigación fue aplicado – experimental donde se empleó porcentajes de vacíos a 10, 13, 15 y 20; una relación agua cemento (a/c) de 0.27, 0.30, 0.32 y 0.34. agregado grueso de ½” y de 0% a 10% de agregado fino. Como delineación a los parámetros de diseño, los autores hicieron un tope a la resistencia mínima a la compresión, al módulo de rotura y la filtración tomando en cuenta el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos del MTC con el fin de obtener la mezcla idónea bajo las normas peruanas de transitabilidad. El diseño elegido hizo que el concreto asegure una resistencia a la compresión de 280 Kg/cm², un módulo de rotura de 42 Kg/cm² y una filtración de 60 litros/m²/min. Lo cual provocó que después del ensayo, la mezcla con mejor desempeño, tomando en cuenta las características mencionadas, fuera la Mezcla M10. Como conclusión, para alcanzar un diseño apropiado para el norte peruano el peso del material cementante debe ser de 465Kg por m³, relación de agua-cemento de 0.30 con un porcentaje de 13% de vacíos y aditivo reductor de agua de alto rango al 0.24% del peso del material cementante. Agregó, además, que es posible utilizar concreto drenante como capa de rodadura en vías urbanas de tránsito moderado, bajo exigencias mecánicas y de performance.

Flores (2014) en su trabajo de investigación “Construcción del aparcamiento de firmes permeables de la guía, Gijón” tuvo como objetivo el diseño y aplicación de pavimentos permeables en un aparcamiento de la ciudad española, perteneciente a la comunidad de Cantabria, Gijón para el control y recojo de agua de lluvia; para así, disminuir impactos derivados de fenómenos meteorológicos y daños en estructuras adyacentes. El diseño fue aplicativo – experimental para el cual se necesitó de estudios geológicos y

meteorológicos los cuales recopilaron datos de precipitación, temperatura media y cortes geológicos zonales. El pavimento permeable elaborado fue mediante mezclas bituminosas porosas de tipo PA16 en dos capas de 50 mm de espesor para cada una, arena natural sin finos con geotextil filtrante, una zahorra sin finos y, por último, se empleó un geotextil punzonado no tejido de fibra continua para la filtración y refuerzo en las capas superiores. Además, hace hincapié en contar con un control de calidad mayor que con el resto de pavimentos debido a que los posibles errores en su ejecución pueden repercutir directamente la vida útil del mismo. Por último, a manera de conclusión, esta técnica constructiva contemporánea logra la posibilidad de hacer uso del agua de lluvia almacenada en la subbase para el riego de zonas verdes y el abastecimiento para maquinaria pública de limpieza de calles; además, de brindar mayor seguridad al eliminar el agua superficial. Asimismo, recalcó que el diseño de pavimentos permeables debe considerar la ubicación del proyecto en la ciudad, el tipo de explanada, la topografía del contorno y el régimen de precipitaciones.

Vela y Cruz (2019) en su estudio “Pavimentos permeables como sistema alternativo para el drenaje urbano en la localidad de Molinopampa, Amazonas, 2018” propusieron como objetivo el diseño de un pavimento rígido para un área de influencia de seis (6) calles en la localidad de Molinopampa. En su desarrollo, se comenzó con determinar el área de influencia por calles, las cuales sirvieron para hallar el coeficiente de escorrentía ponderado. Posteriormente, con la precipitación máxima en 24 horas y la aplicación del modelo Frederick Bell (1969) se calculó la lluvia máxima asociada a diferentes periodos de retorno. El sistema de drenaje planteado, referentes a los datos mencionados, fue de una tubería perforada de PVC de 15cm de diámetro, la cual fue instalada dentro del pavimento. Y, el

diseño del pavimento con tránsito menor a 5 millones de Ejes Equivalentes, con uso de normas peruanas y extranjeras, se determinó una capa de rodadura de 15 cm, una base de 15 cm, una subbase de 20 cm y una subrasante de espesor generalizado de 15cm para todas las calles estudiadas. Por último, los autores afirman que un concreto permeable con 20% de vacíos es capaz de mantener frente a una pulgada de agua de lluvia, pero, si se colocase la estructura en una capa de piedra triturada la capacidad aumentaría a dos pulgadas y media de lluvia; por lo tanto, un pavimento permeable será determinado por las necesidades estructurales y no su permeabilidad.

Loyola (2017) en su documento de investigación "Propuesta de un Pavimento de Concreto Permeable $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ para la Prolongación Malecón Grau en el Pueblo Joven Florida Baja y Pueblo Joven Florida Alta, Chimbote – 2017" tuvo por objetivo determinar la incidencia estructural generada por la propuesta de un pavimento de estructura porosa a fin de encontrar una alternativa de solución a fenómenos como la presencia de agua de mar en la Calle Prolongación Malecón Grau en los pueblos mencionados. Frente a lo planteado, requirió de diseñar la mezcla de concreto para la capa externa, identificar la resistencia a la compresión y flexión del concreto, encontrar la velocidad de infiltración y proponer el diseño de la estructura. El diseño de mezcla se fijó alcanzar como mínimo una resistencia a la compresión de $f'c=210\text{kg/cm}^2$; para el cual, mediante la metodología ACI, con dosificación por tanda de: 1 bolsa de cemento, 1 bolsa de arena, 4.67 bolsas de piedra y 17.46L de agua agregando 250ml de aditivo superplastificante por bolsa de cemento, se alcanzó una resistencia de 210.84Kg/cm^2 a los 28 días. Respecto a la flexión, se elaboró vigas de 50cm con luz entre apoyos de 45cm y obtuvieron en promedio 34.67Kg/cm^2 por

módulo de rotura. La velocidad de infiltración conforme a los días que el curado fue alcanzando los 28 días empezó a disminuir y se tuvo por promedio una permeabilidad K de 0.0051m/s. Finalmente, por diseño final del pavimento mediante la metodología AASHTO93 se obtuvo una capa externa de concreto permeable de 25cm, una base granular de 30 cm con piedra de ½" y el uso de un geo sintético drenante para evacuar el agua del mar junto a cámaras de drenaje. El diseño del pavimento se hizo para un Número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) de 620 mil 965 lo que lo clasificó como un pavimento para cargas ligeras. Como recomendación, el autor comentó que, si se decidiese incidir en la resistencia y durabilidad del concreto frente a agentes salinos y suelos sulfatados se sugiere utilizar un aditivo inclusor de aire y plastificante; además de, usar un cemento portland de Tipo V; y, recalcó que se debe tener en cuenta que el agregado grueso conserve su tamaño homogéneamente, pues puede suceder que perjudique las propiedades del concreto si contuviese piedras de otras gradaciones.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación

Por su propósito

El tipo de investigación por su propósito es de tipo aplicada debido a que usa el conocimiento existente para la solución del problema de investigación; asimismo, se basa en los hallazgos, descubrimientos y soluciones que se planteó en el objetivo. (Arias y Covinos, 2021, p. 76). Por su parte, Vargas (2009) entiende a la investigación aplicada como la utilización de los conocimientos teóricos en la práctica, para encontrar una mejora y servir de provecho de la sociedad, además de, crear nuevo bagaje que enriquezca la disciplina.

Por su enfoque

El enfoque empleado en la investigación es el cuantitativo, puesto que, según Vega et al. (2014) en él se analizan los hechos de manera deductiva y lógica mediante procesos de experimentación estandarizados a fin permitir el estudio de variables sin alteraciones, asimismo, de contar con la medición numérica y el análisis de datos como pilares para la contrastación de las hipótesis preestablecidas. Por su parte, en Hernández et al. (2014) disertan que un enfoque cuantitativo es un conjunto de procesos de carácter secuencial y probatorio que nacen de una revisión sistemática y un marco teórico para dar respuesta a un problema de estudio delimitado y concreto; añadiendo que, para demostrar las hipótesis y objetivos trazados se utilizan la medición de variables recopilando y analizando la información de experimentaciones para extraer conclusiones y comparar las predicciones iniciales.

Por su diseño

El diseño aplicado es de corte experimental, en virtud que Arias y Covinos (2021) argumentan que su principal característica es verificar cuantitativamente la causalidad de una variable sobre otra, lo que implica el control de la variable independiente mediante la elaboración de un plan de acción que establezca un programa de intervención de forma nivelada y con parámetros de rango; dentro de los cuales, el investigador manipula para probar los efectos sobre la variable dependiente. En otro orden de ideas, Arias (2012) presenta a la investigación de diseño experimental como el proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), de manera que sea posible observar, identificar y analizar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). Asimismo, el tipo de diseño experimental escogido es el cuasiexperimental o cuasi experimentos, puesto que, los sujetos a intervenir serán preelegidos mediante el criterio del investigador. Estos diseños se aplican a situaciones reales en los que no se pueden formar grupos aleatoriamente, pero pueden manipular la variable experimental (Hernández et al 2006, citado en Ñaupas et. al. 2018).

Por su tipo

Se designó por tipo de investigación al modelo explicativo, debido a que busca establecer y determinar la causa y el efecto entre las variables de estudio. Gallardo (2017, p. 54) confirma así al mostrar que en el alcance o tipo de investigación explicativo se busca el porqué de los hechos, eventos y fenómenos físicos o sociales mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto. Además, como su nombre lo indica, el interés del presente alcance se centra explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. (Hernández et al. 2014, p. 95)

De este modo, el esqueleto metodológico de la investigación se materializa en un enfoque cuantitativo, de propósito aplicada, con diseño experimental – cuasiexperimental y nivel explicativo.

Tabla 1

Esqueleto metodológico del estudio

Diseño de Investigación			
Propósito	Enfoque	Diseño	Tipo/ Nivel
Aplicada	Cuantitativo	Experimental - Cuasiexperimental	Explicativo

La clasificación de variables de estudio se da de manera que se conozca la relación entre ambas, la naturaleza, escala de medición, dimensión y la forma en que se miden. Existen dos variables: características mecánico-hidráulicas e impactos meteorológicos; y, entre ellas forman una relación de dependencia, siendo las características mecánicas e hidráulicas la variable independiente dejando a los impactos meteorológicos como variable dependiente. Esto es así, ya que de las propiedades que pueda tener el pavimento se identificará que fenómenos climáticos puede afrontar.

Tabla 2

Matriz de clasificación de variables

Variables	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Características mecánicas e hidráulicas	Independiente	Cuantitativa	Intervalos	Física	Directa
Impactos meteorológicos	Dependiente	Mixta	Intervalos	Física	Directa

Matriz de operacionalización de variables

Tabla 3

Matriz de Operacionalización de Variable 1

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de medición
Pavimento permeable	Los pavimentos permeables son un tipo especial de pavimento, que gracias a su diseño permite la infiltración del agua por medio de su estructura y permite el almacenamiento temporal de la misma en la subbase, para su posterior disposición o infiltración en el terreno. (Falcon & Santos, 2016). Estos forman parte del conjunto de medidas que pueden llevarse a cabo para atender criterios de sustentabilidad ambiental en materia de construcción de infraestructura para el transporte, en particular los relacionados con la conservación, el aprovechamiento y manejo de las aguas de lluvia. (Cárdenas, et. al. 2017)	La obtención de las características mecánicas e hidráulicas del pavimento se obtiene por medio del diseño, ejecución y ensayo de muestras las cuales se fundamentan en una serie parametrizada de Normas Técnicas aprobadas por Comités Profesionales nacionales y extranjeros. La recolección de datos se realiza por instrumentos de laboratorio que miden el trabajo de las muestras a la tracción, compresión, permeabilidad y densidad acorde a pruebas previamente concebidas. Asimismo, los valores probables que se obtengan de aquellos ensayos tienen un grado de error característico que deben encontrarse dentro del rango esperado por el reglamento; los que cumplan, se mostrarán en tablas y/o cuadros para su interpretación y retroalimentación al diseño conceptual.	Propiedades mecánicas e hidráulicas	Contenido o porcentaje de vacíos (%)	Hoja de recolección de datos y Ficha Técnica.	Intervalo
				Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Hoja de recolección de datos y Ficha Técnica.	
				Permeabilidad (cm/s o L/min)	Hoja de recolección de datos y Ficha Técnica.	
				Resistencia a la tracción (Kg/cm ²)	Hoja de recolección de datos y Ficha Técnica.	

Tabla 4

Matriz de Operacionalización de Variable 2

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de medición
Impactos meteorológicos	<p>Los fenómenos meteorológicos y climáticos presentan una gran incidencia en todos los sectores de la sociedad y de la economía. Los eventos meteorológicos afectan profundamente a la estructura de los asentamientos humanos, la rutina de la vida cotidiana, la salud de las economías nacionales y la calidad del medio natural. (Cocero et al., 2018). La sociedad, en relación a los fenómenos naturales, debe analizarse bajo una perspectiva dual, pues se desenvuelve como causa y víctima en muchos desastres. Un factor multiplicador de los efectos destructivos de un fenómeno natural es la degradación ambiental, trayendo consigo consecuencias en el presente y futuro de la población. (Secretaría General OAS, 1987).</p> <p>El Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos español clasifica las lluvias por su intensidad en fuertes, muy fuertes y torrenciales, siendo estos considerados en riesgos meteorológicos, los cuales van desde 15mm/hora hasta superior 60 mm/hora. El impacto que pueden provocar es: destrucción de cultivos y líneas vitales, aislamiento de poblaciones, erosión de bancos y terrazas, etc.; siendo estos fenómenos destructivos cada vez más frecuentes. (Secretaría General OAS, 1987).</p>	<p>Se realiza la búsqueda de información referente al comportamiento de impactos meteorológicos en el entorno urbano de Trujillo por medio de revistas indexadas, repositorios académicos y/o reportes periódicos de la condición meteorológica del país. Los trabajos seleccionados deben cumplir con el criterio profesional para posteriormente ser muestras de observación y análisis. De esta manera, de los documentos seleccionados se extraerá información esencial para el diseño de estructuras viales, esto comprende las intensidades de lluvia por periodo de retorno en años; tablas, gráficos y tablas de Curvas Intensidad – Duración y Frecuencia (IDF), impactos meteorológicos capaces de mitigar, desempeño en estructuras viables estructurales y especiales. Por último, la información recopilada será empleada en el diseño y concepción de un pavimento permeable aplicado al entorno urbano.</p>	Clasificación de precipitación	Intensidad de precipitación (mm/hora)	Reportes anuales, mensuales y diarios de precipitación del SENAMHI e INDECI	Intervalo

Población y Muestra

Población se define como la totalidad de individuos, hechos, fenómenos, conglomerados o elementos en los cuales puede presentarse determinada característica para ser estudiada, los cuales son medibles y constituyen una unidad de investigación (Valdivia, 2009, citado en Ñaupas et al. 2018). En concordancia, Arias (2012, p. 81) la puntualiza como un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, la cual se encuentra demarcada por el problema y objetivos del estudio. Así pues, en la investigación se considera como población al diseño de pavimento permeable para vías urbanas de Trujillo.

Derivado de esto, la muestra es el subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. Su extracción se da mediante fórmulas, lógica o criterios con el objeto de guardar representatividad de la población (López, 2004). Esto se corrobora con Ander-Egg (1995, citado en Ñaupas et al. 2018, p. 334) al establecer que la muestra es una parte o fracción representativa de una población, universo o colectivo, que ha sido obtenida con el fin de investigar ciertas características del mismo. La muestra del proyecto son especímenes de concreto permeable las cuales son diseñadas con 13%, 15%, 17 % de vacíos, con el fin de conocer el mejor diseño de concreto para ser empleado como capa de rodadura de una vía de la ciudad de Trujillo.

Técnicas e Instrumentos de Recolección y Análisis de Datos

Materiales

Cárdenas et al. (2017) indica que la estructura convencional de un pavimento permeable consta usualmente de tres capas; la primera, la capa de rodadura de materiales como asfalto o concreto poroso que permiten el paso del agua; la segunda, de una capa de material granular fino como espacio de transición; y por tercera, la sub base compuesta de material granular de gran tamaño. Es por ello que, los materiales empleados fueron los siguientes:

Como material cementante, se utilizó al Cemento Portland tipo I de la marca local Pacasmayo. Asimismo, los agregados utilizados se obtuvieron de la cantera El Milagro, los cuales fueron comprados a granel para ser empleados en los diferentes diseños de mezclas, fueron recogidos del centro de las rumas y transportados al laboratorio para su evaluación, uso y análisis. El agua fue de la misma localidad siendo la que dispone Sedalib S.A. para consumo humano; para, por último, tener como aditivo para el concreto al plastificante y reductor de agua SikaCem Plastificante. Tanto el cemento como el aditivo incluyeron las fichas técnicas respectivas y las normas guía para su uso.

El material para el recojo de datos se utilizó las fichas de recolección, matrices de categorización y cuadros de registro de información.

Técnicas de Recolección de Datos

Técnica de observación es definida como el procedimiento o forma particular de obtener datos e información. Por otra parte, Ñaupas et al. (2018) señala que el control, manipulación y observación son los tres elementos científicos que caracterizan la investigación experimental; es por ello que, como autores, al tener el control sobre la elaboración de mezclas y al operar deliberadamente con la variable independiente, se tiene como técnica de recolección a la observación puesto que busca ver, analizar y ensayar en los laboratorios lo concerniente a cómo está constituido con pavimento permeable y sus capas. Campos y Lule (2012) precisan que la observación es una técnica que forma una vinculación concreta y constante entre el investigador y el hecho o fenómeno ciñéndose a la lógica, procedimientos e interrelaciones que se suscitan dentro de la realidad estudiada. La observación y análisis de ensayos se realizaron con la ayuda de las normas posteriormente mencionadas.

Para determinar las características físicas de los agregados, siendo estos la primera aproximación para determinar los diseños de mezcla, se tuvo como guía a la NTP 400.012, a la NTP 339.185, a la NTP 400.021 y NTP 400.022, asimismo, la NTP 400.017, relacionadas con el análisis granulométrico de agregados, el contenido de humedad, peso específico de los agregados y el peso unitario de los mismos, respectivamente. Se incluyó, además, la extracción y preparación de muestras de estudio, bajo tutela de la NTP 400.010.

Por otro lado, a fin de establecer las características del concreto en su estado fresco se tuvo por orientación a la NTP 339.035, la NTP 339.046 y la NTP 339.184; siendo estas las encargadas de guiar los ensayos del asentamiento del concreto o slump, el peso unitario y la temperatura, correspondientemente.

Asimismo, con el propósito de conocer el desempeño del concreto en su estado endurecido se tuvo por dirección, para su observación y medición, a la NTP 339.183, la NTP 339.034, la NTP 339.078 y ACI 522R-10; encargadas estas de la elaboración y curado de especímenes de concreto, del ensayo a la compresión, ensayo a la tracción, y permeabilidad del mismo, respectivamente.

Por último, con el objetivo de plantear un diseño de pavimento estructural se tomó al Manual de Suelos y Pavimentos 2014 como principal referente puesto que especifica la metodología con el cual se concibe.

Instrumentos

Arias (2012) señala que un instrumento es todo recurso, dispositivo o formato que se utiliza para registrar y guardar la información. Para esta investigación se estableció a la guía de observación puesto que es un formato en el cual se pueden recolectar los datos de manera sistemática y uniforme con una revisión clara y objetiva de los hechos. Para así, de esta manera ordenar los datos y poder responder a las variables y elementos del problema de investigación. (Tamayo, 2004, en Campos y Lule, 2012). Esto, a fin de anotar todo de manera clara y ordenada según indique cada ensayo realizado.

De la misma forma, se contó, dentro del marco instrumental, con instrumentos propios de un laboratorio de concreto, que permitieron alcanzar la caracterización de materiales pétreos, la elaboración de especímenes de hormigón, su curado y ensayo; así como, establecer las propiedades en estado fresco y estado endurecido del concreto.

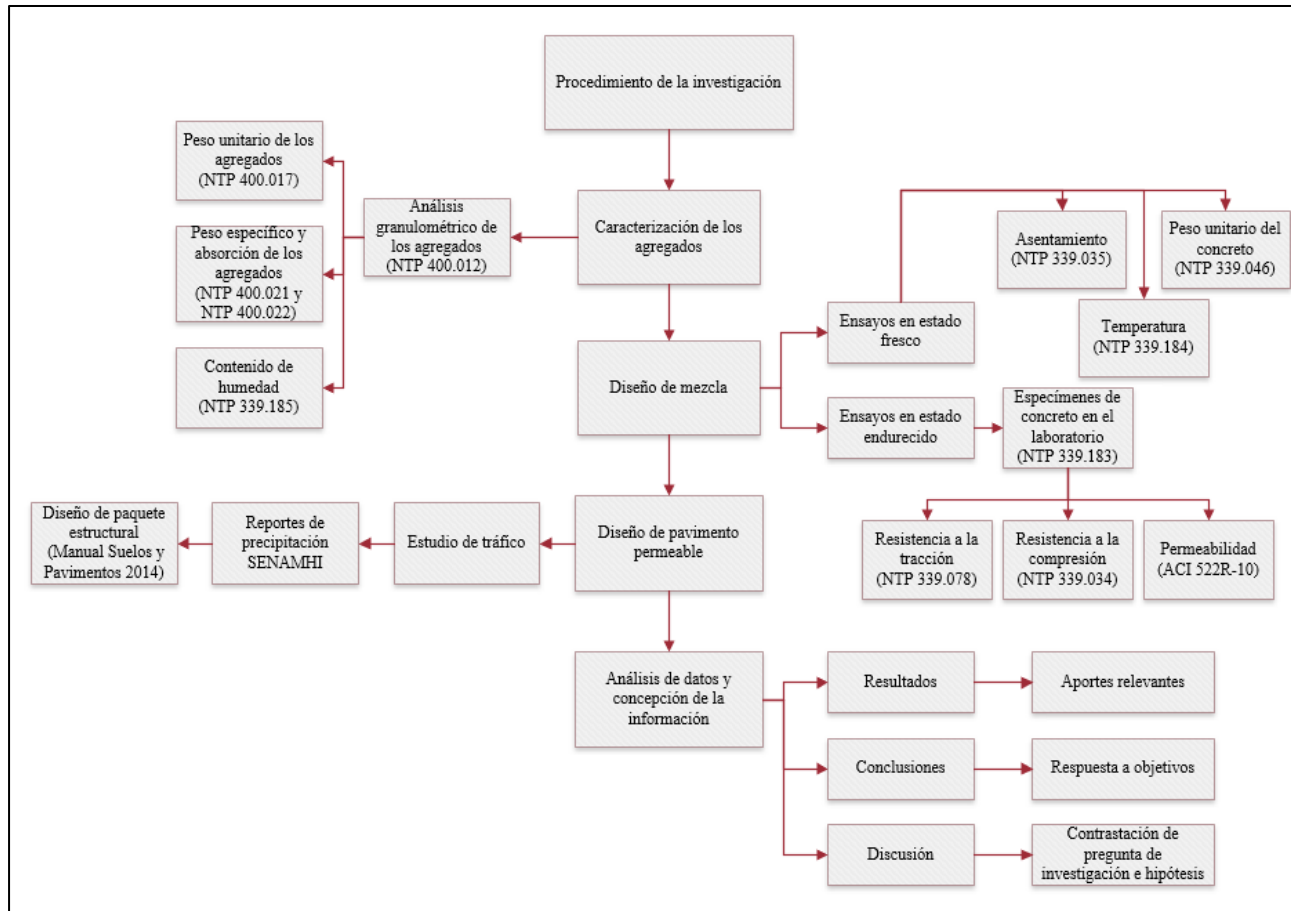
Análisis de Datos

Para llevar a cabo el proceso y análisis de datos, posterior a los ensayos mencionados párrafos anteriores, se ha utilizado el programa Microsoft Excel para elaborar tablas, gráficas y porcentajes describiendo así los resultados finales de las variables; asimismo, se hizo uso del paquete Office de Microsoft.

Procedimiento

Figura 4

Procedimiento de la Investigación



El proyecto de investigación, una vez trazado metodológicamente, se puso en marcha mediante determinar el laboratorio en el cual se llevaría a cabo la serie de ensayos mencionados en la Figura 4; este, requirió que proporcione un lugar amplio, seco y ventilado con el fin de poder almacenar los materiales pétreos y cementantes necesarios en la concepción de un concreto permeable, asimismo, de contar con personal técnico y profesional que cercioren y orienten cada ensayo. Posterior a ello, se realizó la compra del material siendo estos los agregados pétreos de la cantera El Milagro, agua potable, cemento Portland Tipo I y el aditivo SikaCem plastificante, contando estos dos últimos con su ficha técnica correspondiente.

Caracterización de los agregados

La caracterización del agregado comprende el entender cómo sus propiedades y sus componentes físicos y químicos son indispensables para lograr un diseño de mezcla capaz de satisfacer las necesidades intrínsecas del proyecto; estos al tener su forma, textura y gradación influyen en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido (León y Ramírez, 2010); es por ello que, se aplicó cinco ensayos para conocer sus propiedades. Siendo estos: extracción y preparación de muestras, análisis granulométrico de los agregados, peso unitario y peso específico de los mismos, y contenido de humedad.

Extracción y preparación de muestras (NTP 400.010)

El primer ensayo, extracción y preparación de muestras basado en la Norma Técnica Peruana 400.010, tuvo por objeto el procedimiento del muestreo de agregados con el fin de

estudiar la fuente abastecimiento y determinar si los materiales son aptos para mezclas de concreto.

Los equipos y herramientas fueron una pala, un depósito para manejo y almacenaje de agregados y balanza.

Se procedió con la obtención del material fino y grueso de un punto de distribución que descargue material de la Cantera El Milagro, el cual se extrajo con el recojo aleatorio de material de las rumas. Como material fino, se fijó a la arena gruesa de TMN 5mm y para el agregado grueso, un TMN de 19mm. Posterior a ello, se pesó 10 kg de arena gruesa y 25 kg de piedra de 19mm; los cuales cumplen con la masa mínima aproximada de muestra de campo (ver figura 5) para su análisis en laboratorio. Se obtuvo, tres unidades de muestras mínimas por tipo de agregado.

Figura 5

Medida de muestra mínima de campo por TMN del agregado.

Tamaño máximo nominal del agregado ^A	Masa mínima aproximada para la muestra de campo kg ^B
Agregado fino	
2,36 mm	10
4,76 mm	10
Agregado grueso	
9,5 mm	10
12,5 mm	15
19,0 mm	25
25,0 mm	50
37,5 mm	75
50,00 mm	100
63,00 mm	125
75,00 mm	150
90,00 mm	175

Nota. Tomado de *Norma Técnica Peruana 400.010*, por INDECOPI, 2001.

Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (NTP 400.012)

El ensayo para el análisis de los agregados se fundamentó en la Norma Técnica Peruana 400.012, y, tuvo por fin la determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado, base para el correcto diseño de mezclas.

Los aparatos utilizados fueron un horno graduado a temperaturas de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, tamices, balanza con aproximación de 0.1g para el agregado fino, balanza con aproximación de 0.5g para agregado grueso y de bandejas para manipulación de muestras.

Se inició con determinar el muestreo necesario por tipo de agregado, procediendo con la mezcla y reducción del material por medio del cuarteo según norma ASTM C 702, tomando como especímenes a los dos extremos diagonales; y, debido a que se estipula un mínimo para muestra y esta requiere ser secada en el horno, se optó por tomar un 10% más. Del muestreo se tomó 5500g para el agregado grueso de huso 67 (19 mm); mientras que, para el agregado fino se tomó 1100g (Ver figura 6). Luego de ello, se llevó las muestras al horno a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas hasta estar secas, pasado el tiempo, se tomó y pesó la muestra, 1000g y 5000g para el agregado fino y grueso, respectivamente. Para el agregado grueso se utilizó los tamices, de forma descendente, de malla 1 ½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, N.º 4, N.º 8, N.º 16 y la bandeja ciega; mientras que, para el agregado fino, igualmente de forma descendente, se utilizó los tamices de 3/8”, N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50, N.º 100, N.º 200 y el fondo o bandeja ciega. Respecto al tamizaje, fue de manera manual y se realizó con cuidado de no saturarlo. Para, posteriormente, ir pesando lo retenido por cada tamiz.

El cálculo consistió en obtener el porcentaje que pasa por cada tamiz. Para ello, se empezó con hallar el dato de % retenido, consistente en dividir el peso retenido por el tamiz

entre la masa total de la muestra seca y multiplicarlo por 100. Luego, se halló el % retenido acumulado, basado en sumar cada % retenido hasta llegar al 100%. Inmediatamente a ello, se procedió a restar a 100 el % retenido acumulado y encontrar finalmente el % que pasa. Se procedió a comparar los resultados obtenidos con los requisitos estipulados por la Norma ASTM C33, homóloga de la NTP 400.037.

Figura 6

Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global a ensayar

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Nota. Tomado de *Norma Técnica Peruana 400.012*, por INDECOPI, 2001.

Peso unitario de los agregados (NTP 400.017)

El desarrollo para encontrar el peso unitario de los agregados tuvo fundamento en la Norma Técnica Peruana 400.017, la cual dio los parámetros del ensayo con el objeto de determinar la masa del agregado en condición suelto y compactado; además de, calcular los vacíos entre agregados. Siendo este último prescindible para el presente estudio.

Los instrumentos utilizados fueron una balanza con graduación de 0.05 kg, una varilla apisonadora lisa de acero de 16mm de diámetro y 600 mm de longitud con ambos extremos

redondeados, un recipiente metálico con asas de 0.0091 m³, cucharón de acero, y un martillo de goma.

Para el procedimiento se contó con un molde previamente calibrado por agua, es por ello que, se inició con determinar la muestra para el ensayo que fue el 150% de lo requerido para llenar el recipiente, posterior a ello, se secó el material en un horno a 110°C ± 5 °C con el fin de desarrollar el ensayo con las muestras totalmente secas. Una vez conocida la masa y el volumen el molde, el ensayo del peso unitario seco suelto empezó con llenar el recipiente metálico con el agregado a evaluar hasta rebosar cuidando de no exceder en la descarga una altura de 50 mm más que del borde superior del recipiente, posterior a ello, con la varilla lisa se enrasó el material y se procedió a pesar el recipiente con la muestra. En cambio, para el peso unitario compactado, con el recipiente pesado y las muestras secas, se procedió a llenar la tercera parte del recipiente con el agregado para posterior a ello compactar con la varilla usando 25 golpes distribuidos de forma circular, para, inmediatamente, dar 12 golpes laterales al recipiente, 3 por lado, con el martillo de goma con el fin de acomodar el agregado. De la manera descrita se procedió hasta terminar los 2/3 restantes. Por último, se utilizó la varilla a manera de regla para eliminar el material restante y proceder a pesar. Cabe resaltar que, al momento de varillar por capas, en la primera no se debe golpear con excesiva fuerza con el fin de no tocar el fondo del recipiente; y, para las dos restantes, la varilla solo debe alcanzar la última capa de agregado colocado.

Para el cálculo, tanto de peso unitario seco como compactado, se utilizó las fórmulas descritas en la norma. Donde M es la densidad de masa del agregado en kg/m³, G es la masa del agregado + el recipiente en kg, T es la masa del recipiente en kg, y, V es el volumen en m³ del recipiente; siendo la fórmula $M = (G - T) \div V$ (Ecuación 1).

Peso específico de los agregados (NTP 400.021 y NTP 400.022)

Para el desarrollo y obtención del peso específico del agregado se hizo uso de la Norma Técnica Peruana 400.021 y 400.022, la primera, tuvo por fin determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso; mientras que, la segunda, marcó por objetivo encontrar la densidad promedio de partículas, la densidad relativa y la absorción del agregado fino.

Para el ensayo con el agregado grueso se utilizó una balanza sensible a 0.5g con capacidad para 5000g equipada con un gancho capaz de suspender una cesta en agua y pesar la piedra, una cesta con malla de alambre de 7L para un tamaño máximo nominal de 37.5 mm, un depósito de agua para sumergir la cesta, tamiz de 4.75 mm y una estufa u horno capaz de lograr temperaturas de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para el ensayo con el agregado fino, se requirió de una balanza de 1000g sensible a 0.1g, un picnómetro o matraz de 500 cm³, molde metálico en forma de cono de diámetro inferior de 90 ± 3 mm, de diámetro superior de 40 ± 3 mm, y 75 ± 3 mm de altura, pistón de metal de masa 340 ± 15 g y con una extensión de 25 ± 3 mm.

El procedimiento para el agregado grueso consistió en seleccionar una muestra representativa de 4 kg, puesto que 3kg el mínimo estipulado para un agregado de huso 67, para a posteriori, ser secada haciendo uso del horno de temperatura promedio de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante. Se dejó reposar hasta que la muestra sea manipulable al tacto, para transcurrido el tiempo, pesarla. Luego de ello, se la sumergió en un depósito con agua que supere al nivel de la muestra en al menos 50 mm y se dejó reposar por el lapso de 24 ± 4 h; transcurrido el tiempo, se secó superficialmente con un paño absorbente hasta eliminar toda partícula de agua visible y se pesó para encontrar el peso del agregado saturado superficialmente seco. Inmediatamente, se colocó la muestra en la cesta de alambre

previamente tarada y se determinó su peso en agua con el cuidado de eliminar toda burbuja de aire.

Para el cálculo, se efectuaron las siguientes fórmulas:

Peso específico de la masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{B-C} \quad (02)$$

Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)

$$PeSSS = \frac{B}{B-C} \quad (03)$$

Peso específico aparente (Pea)

$$Pea = \frac{A}{A-C} \quad (04)$$

Absorción (Abs)

$$Abs (\%) = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (05)$$

Donde, A es el peso de la muestra seca en el aire en gramos, B es el peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire en gramos y C es el peso en el agua de la muestra saturada.

Por otro lado, el procedimiento para obtener el peso específico del material fino se inició con realizar el cuarteo de la muestra, extrayendo 550 g como mínimo y sumergiéndolo en agua por 24h para saturarlo. Subsiguiente, se eliminó el agua con el cuidado de no eliminar finos; luego de ello, se llevó la muestra saturada a una estufa a 110 ± 5 °C con el fin de que

evapore el agua gradualmente y lograr una muestra saturada superficialmente seca. Una vez obtenido ello, se utilizó una bandeja, el cono y el pistón para conocer el estado superficialmente seco del material, que consistió en gradualmente llenar el cono a tres capas con 25 golpes por cada una. Al momento de levantar el cono, si hay un derrumbe medio y mantiene su forma es que la muestra es correcta. Una vez comprobado el estado del material, se procedió a pesar 500 gr del mismo a la vez que se pesó el matraz o picnómetro de 500 cm³, inmediatamente, se procedió en verter la mezcla al matraz y llenar con agua hasta obtener la marca de 500 cm³; la eliminación del aire dentro del matraz se a través por agitarlo, rodarlo y el uso de una servilleta. Se dejó reposar 12h hasta el asentamiento de finos, luego, se pesó el total del frasco, muestra y agua. Pasado ello, se removió el agregado fino y se secó a la estufa para luego pesarlo una vez esté a una temperatura ambiente.

En el cálculo se empleó las siguientes fórmulas:

Densidad relativa saturada superficialmente seca (gravedad específica) (SSD)

$$Densidad\ relativa\ SSD = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (06)$$

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

$$Gravedad\ específica\ aparente = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (07)$$

Densidad saturada superficialmente seca

$$Densidad\ (SSD) \left(\frac{kg}{m^3}\right) = 997.5 \times \frac{S}{(B+S-C)} \quad (08)$$

Densidad aparente

$$\text{Densidad aparente (SSD)} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) 997.5 \times \frac{A}{(B+A-C)} \quad (09)$$

Absorción

$$\text{Absorción (\%)} = 100 \times \left(\frac{S-A}{A} \right) \quad (10)$$

En el cual, A es la masa de la muestra seca al horno, B es la masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca calibrada, C es la masa del picnómetro lleno con la muestra y el agua hasta la marca calibrada y S es la masa de la muestra saturada superficialmente seca.

Contenido de humedad (NTP 339.185)

Para determinar el porcentaje total de humedad evaporable del agregado fino y grueso se hizo uso de la Norma Técnica Peruana 339.185 que da los parámetros y procedimiento del ensayo. En este ensayo no se incluye el agua químicamente combinada con ciertos minerales de agregados y que no es susceptible a evaporación.

Los aparatos usados en el proceso fueron una balanza con sensibilidad de 0.1g, una balanza de sensibilidad 0.5g, recipientes metálicos de acero y un horno graduado de 110 °C ± 5 °C.

El procedimiento trató de realizar el cuarteo de ambos materiales, se separó mínimo 3000 g de muestra para el agregado grueso de huso 67; mientras que, para el fino, 700g. Se colocó las muestras en recipientes separados y se procedió a pesarlos; posteriormente, se los introdujo al horno a una temperatura promedio de 110 °C ± 5 °C y se dejó por 24h. Inmediatamente después, se pesó la muestra sacada del horno junto a su recipiente. Por último, después de todo el proceso se debe conocer el peso individual por cada recipiente.

La norma indica el uso de la fórmula $P = 100 (W - D)/D$ (Ecuación 11); por lo que, los datos ingresados deben estar libre del peso de los recipientes. De la expresión, P es el contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje, W es la muestra húmeda original en gramos; y, por último, D hace referencia a la masa seca en gramos.

Diseño de mezcla

El diseño de mezcla es el proceso en el cual se determinan las proporciones y cantidades de los materiales involucrados para la obtención de cualidades, propiedades y requerimientos peculiares elegidos por el autor. Es por ello que, existen virtudes a las que se requiere llegar, las cuales fijan como se comportará un concreto en estado fresco como endurecido, éstas son la trabajabilidad, cohesión, resistencia y apariencia. Por su parte, Torre (2004, p. 88) define al diseño de mezclas como el proceso que, fundado en la aplicación técnica y práctica de conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, permite lograr un producto que satisfaga eficientemente los requerimientos peculiares del proyecto constructivo. Del mismo modo, Ríos (2022) refiérelo como el proceso donde se realiza la selección de ingredientes idóneos a emplear, así como la configuración exacta de sus cantidades, en orden a conseguir los objetivos delineados por el proyecto, tales como trabajabilidad, resistencia, durabilidad y aplicación.

Para el proyecto, se fijó que el concreto a elaborar pueda desempeñar una doble función, la de permitir el paso de vehículos constante como la de permitir el paso del agua a través de su esqueleto. La guía de elaboración de pavimentos rígidos expuesta por el Manual de Suelos y Pavimentos 2014 requiere que para un tránsito diseño de hasta 5 millones de ejes equivalentes se debe tener una capa de rodadura de concreto con resistencia a la compresión

de 280 kg/cm² y un módulo de rotura de 40 kg/cm²; por otro lado, al fijarse como muestras de estudio a los especímenes de concreto a diferentes porcentajes de vacíos, específicamente de 13, 15 y 17, con el propósito de lograr tener una estructura permeable, se detentó, por consiguiente, tres diseños de mezcla orientados a cumplir con las especificaciones antes mencionadas. Por esta razón, de los tres diseños de mezclas se seleccionó al de mejor rendimiento a fin de considerarlo en el diseño de un pavimento rígido permeable en el entorno urbano de la Ciudad de Trujillo.

En antecedente al diseño de mezcla, basado en el método ACI 211.1 y el ACI 522R 10, se empleó siete ensayos con el fin de estudiarlo y poder determinar sus proporciones, estas fueron: para su estado fresco, se empleó el ensayo de asentamiento, peso unitario del concreto y temperatura; mientras que, para el estado endurecido se fijó cuatro ensayos, la elaboración y curado de especímenes de concreto, el de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión o tracción y permeabilidad.

Ensayos en estado fresco

El estado fresco del concreto, denominado también estado plástico, es el proceso previo a la hidratación del mismo, en el que presenta condición para ser transportado o manejado antes de lograr que el cemento inicie el proceso químico de endurecimiento y rigidez; siendo este definido por Ayuque (2019) como el transcurso en que la pasta está blanda y permanece como estado plástico hasta que empieza a fraguar el concreto.

Para determinar sus características se desarrolló tres ensayos, el de slump o asentamiento, peso unitario y temperatura.

Asentamiento del concreto (NTP 339.035)

El ensayo de asentamiento sirvió para medir indirectamente la trabajabilidad o consistencia del concreto; además de, observar la cohesión de los materiales. Para su desarrollo y estudio se aplicó la Norma Técnica Peruana 339.035.

Durante el proceso se utilizó un molde metálico, que cumplió con características de: forma de un tronco de cono, un espesor mínimo de 15mm, una base inferior de 200 mm, una base superior de 100 mm y una altura de 300 mm, conocido como Cono de Abrams, una barra cilíndrica punta redondeada de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, un flexómetro y un cucharón de metal.

Como primer paso a seguir fue el humedecer el molde y una bandeja de metal en la cual se realizó el experimento, esto para que la superficie no absorba agua y reste mérito a la mezcla. Consecuentemente, se colocó el molde sobre la superficie, sujetando con los pies las aletas, y se procedió a llenarlo con concreto a tres capas, dividiendo al molde imaginariamente en tres partes; por cada capa se dio 25 golpes con la varilla de manera helicoidal. Posterior a ello, en un tiempo menor a 5 segundos, se levantó el molde de manera vertical y midió la diferencia entre la altura del cono y la altura final de la muestra al centro desplazado una vez retirado el molde. Se repitió el proceso tres veces para hallar un promedio; asimismo, recalcar que todo el proceso descrito debe durar menos de 150 segundos.

El cálculo se basó en la diferencia de alturas medido en pulgadas y con una aproximación al cuarto de pulgada.

Peso unitario del concreto (NTP 339.046)

El ensayo de peso unitario del concreto tuvo por objeto determinar la densidad el concreto fresco, su rendimiento y el contenido de aire del mismo. Entendiéndose rendimiento como el volumen de concreto producido con una cantidad de materiales componentes conocidos. El documento que guio todo el proceso fue la Norma Técnica Peruana NTP 339.046.

Los aparatos empleados durante la actividad fueron una balanza con precisión de 50 g, una barra cilíndrica punta redondeada de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, un contenedor cilíndrico de acero de capacidad de $7 \text{ L} \pm 0.6 \text{ L}$, una plancha niveladora metálica, un mazo de goma y un cucharón de metal para manejar la mezcla.

En el desarrollo, primero, se determinó el peso del recipiente metálico, en seguida, se procedió con humedecer la totalidad de los equipos a emplear y eliminar todo resto de agua superficial con una esponja húmeda a fin de que no sume o reste agua a la mezcla. Posteriormente, se realizó el vaciado de concreto dentro del recipiente a tres capas de igual volumen, asimismo, de controlar que no se realice un vaciado irregular sino homogéneo para no afectar la segregación. Una vez ello, con la barra compactadora se realizó 25 golpes por capa uniformemente distribuidos por toda la superficie cuidando de no golpear el fondo en la primera o exceder en más de 25mm la anterior cuando se realice la segunda y tercera. Al termino de cada tanda de golpes por capa, se dividió el recipiente mentalmente en cuadrantes golpeando 3 veces en cada uno de ellos. Por último, una vez lleno el molde, con una plancha niveladora se enrasó la superficie de este, además de, limpiar el concreto adherido a paredes exteriores.

El cálculo se dio mediante las fórmulas propuestas por la norma, que son las siguientes:

Densidad (peso unitario)

$$D \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{Mc - Mm}{Vm} \quad (12)$$

Contenido de vacíos

$$U (\%) = \frac{T - D}{T} \times 100 \quad (13)$$

Rendimiento

$$Y(m^3) = \frac{M}{D} \quad (14)$$

Donde, D es el peso unitario del concreto en kg/m³, Mc es la masa del recipiente lleno con la mezcla en kg, Mm es la masa del recipiente en kg, Vm es el volumen del molde en m³, U es el porcentaje de vacíos del concreto permeable fresco en %, T es la densidad teórica del concreto libre de aire en kg/m³, Y es el rendimiento del concreto en m³, M es la masa total de los materiales en la tanda en kg.

Temperatura (NTP 339. 184)

Encontrar la temperatura del concreto en estado fresco fue mediante la aplicación de la Norma Técnica Peruana 339.184; y, se realizó inmediatamente culminado el proceso de peso unitario.

Como instrumentos para realizar el ensayo fueron un recipiente metálico que permita el recubrimiento de 75mm en todas las direcciones alrededor del termómetro, y; un medidor de temperatura con intervalos de 0 a 50 °C, con una precisión de 0.5 °C.

Para su desarrollo, se utilizó la muestra de concreto del ensayo de peso unitario, para lo cual se introdujo el termómetro en la mezcla de forma que existan 75 mm en todas las direcciones, y para evitar lecturas de la temperatura ambiente se presionó el concreto alrededor de la aguja a fin de cerrarlo. La lectura y registro de temperatura se realizó una vez el termómetro se estabilizó; y, como recomendación, la lectura se debe dar antes de 5 minutos vaciado el concreto.

Ensayos en estado endurecido

El concreto utiliza la pasta, que viene a ser la unión entre el material cementante y el agua, para unir a sus materiales componentes; esto es debido, a que al entrar en su proceso químico de fraguado genera cristales hidratados que une las partículas de los agregados haciendo que el gel producido vaya solidificándose hasta lograr el estado endurecido. Por lo que, el estado endurecido del concreto debe entenderse como la etapa en que un concreto pasa del estado plástico al de endurecimiento en el cual va ganando resistencia y endurecimiento conforme va pasado el tiempo (Ayuque, 2019).

Para este proceso, con el fin de entender sus propiedades y características físico químicas se realizó cuatro ensayos; los cuales fueron la elaboración y curado de especímenes de concreto, de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad.

Elaboración y curado de especímenes de concreto (NTP 339.183)

Antes de realizar las pruebas de resistencias del concreto a fuerzas externas y permeabilidad, se procedió a elaborar los especímenes de concreto y su curado con un cuidado exhaustivo. Para esto, se utilizó la Norma Técnica Peruana 339.183.

Los instrumentos y equipos utilizados fueron moldes rígidos lisos metálicos y cilíndricos de 4” x 8”, moldes rígidos lisos metálicos y prismáticos de 6” x 6” x 22”, dos varillas de compactación, una larga de 16 mm de diámetro y 600 mm de largo, y otra corta de 10 mm de diámetro y de 300 mm de largo, ambas de con punta redondeada, martillo con cabeza de goma de 600 g, mezclador de 9 HP y 9 P3, y herramientas de laboratorio.

El procedimiento fue llevado a cabo para tres diseños de mezcla; por lo que, en orden ascendente de vacíos se procedió a elaborarlos dentro de la mezcladora. Cada diseño fue preparado, así como, evaluado en su asentamiento, peso unitario y temperatura, de modo que pueda ser apto a ser colocado en moldes. Antes de iniciar con el proceso, se buscó una superficie nivelada dentro del laboratorio que esté libre de alteraciones por vibración con el objetivo de evitar cambios en la mezcla; luego de ello, se prosiguió con el humedecimiento de la mezcladora y el racionamiento del material para elaborar una tanda de 30 litros. Acto seguido, con la mezcladora en movimiento, se vertió la piedra chancada y la arena gruesa buscando amalgamarlas por 1 minuto, para, culminado el tiempo, echar la mitad de proporción del agua y alear por otro minuto más. Seguidamente, con el material ya cohesionado, se introdujo el cemento y se lo mezcló por 2 minutos; finalmente, se agregó el agua restante y el aditivo de modo que los materiales se entremezclen por 3 minutos más y así lograr el concreto esperado. Se hace resaltar que se requirió dos tandas por diseño, una para moldear las probetas cilíndricas y la otra, para las prismáticas. Posteriormente, se engrasó cada molde a utilizar con grasa vegetal de modo que facilite la extracción de la probeta y se los llenó. Para las probetas cilíndricas de 4” x 8”, se realizó un vaciado a dos capas, con varillado de 25 golpes por cada una, con una varilla corta; mientras que, para las vigas o prismas de 6” x 6” x 22”, se vació a dos capas, con un golpe por cada pulgada

cuadrada de superficie, por lo que llegó a 60 golpes por capa, todo esto con la varilla larga. Cabe resaltar que por cada llenado de capa y al finalizar el proceso de varillado, se dio diez golpes con el martillo de goma al molde. Como último paso, se procedió a enrasar y uniformizar la superficie eliminando todo material excedente, posterior a ello, se colocó una lámina plástica en la superficie del molde para evitar perder humedad. Pasado 24h desde su elaboración, se extrajo las probetas y se sumergieron en una piscina con agua y cal hasta su extracción por cada día especificado a la rotura.

Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 339.034)

El método de ensayo normalizado de resistencia a la compresión fue elaborado mediante la dirección de la Norma Técnica Peruana 339.034, para esto se aplicó una carga axial a cilindros de concreto hasta que estos fallen, siendo estudiados a diferentes días de rotura.

Los equipos empleados fueron una prensa hidráulica digital, almohadillas de neopreno, platos de retención y un vernier; asimismo, los especímenes a ensayar fueron las probetas cilíndricas de 4” x 8”.

La prueba se realizó primeramente extrayendo los ejemplares del pozo de curado, se los limpió ligeramente el exceso de agua con un paño húmedo e inmediatamente se los dispuso para ser ensayados en la prensa previa medición con el vernier de los diámetros y alturas de los mismos. Para los especímenes de concretos ensayados a los 3, 7 y 28 días, se tuvo una tolerancia de edad de ± 2 horas, ± 6 horas y ± 20 horas respectivamente. A continuación, se limpió la plataforma de rotura, montó los especímenes y verificó que la máquina muestre su indicador de presión en cero. Una vez alineadas las probetas con las

almohadillas se encendió la prensa hidráulica y con un rango constante de carga de 0.25 MPa/s o 2.55 kg/cm²/s se incrementó la fuerza axial hasta alcanzar la resistencia máxima a la compresión. La lectura de la fuerza axial se da con una aproximación de 0.1 kN, de la misma forma, el reporte de la máxima resistencia a la compresión se da con una aproximación de 0.1 MPa.

Los cálculos realizados fueron guiados por la fórmula de $R = P/A$ (Ecuación 15); siendo, R la resistencia a la compresión en kg/cm², P la máxima carga aplicada en kg, y, A el área de la probeta en cm².

Ensayo de resistencia a la flexión con cargas en los tercios de la luz (NTP 339.078)

El método de ensayo a flexión se realizó con ayuda de la Norma Técnica Peruana 339.078, la cual dio los pasos para llevarla a cabo; dentro de la prueba, se aplicó a los testigos de concreto cargas a los tercios de la luz y comprobó su resistencia máxima a la tracción.

Los aparatos que se utilizaron fueron una prensa hidráulica, cabezal de ensayo a la flexión a los tercios y un vernier metálico. Los especímenes a probar fueron las probetas prismáticas de 6”x 6”x 22”.

Como primer paso, se retiró los especímenes del pozo de curado, se los secó con un paño el exceso se agua y se los dispuso para ser ensayados. Como parte del proceso, se midió las dimensiones finales de los prismas con precisión al milímetro y se guardó los datos para luego ser empleados en los cálculos. Listo esto, se giró las muestras a uno de los lados respecto a la base del moldeado, a los bloques se los encajó y reguló de modo que haga contacto directo con las rótulas del cabezal y los apoyos. Una vez ello, se comprobó que el

dial este calibrado para posteriormente aplicar una carga de incremento constante hasta alcanzar la rotura del espécimen, la carga de incremento fue de 0.9 MPa/min hasta 1.2 MPa/m. Se leyó su máxima carga aplicada y se realizó los cálculos en gabinete. El ensayo se dio para especímenes con 28 días de curado.

En los cálculos, se emplearon dos fórmulas, que son las siguientes:

Módulo de rotura si la falla es dentro del tercio medio de la luz

$$Mr = \frac{PL}{bh^2} \quad (16)$$

Módulo de rotura si la falla es fuera del tercio medio de la luz; y, no es mayor al 5% de la luz libre

$$Mr = \frac{3Pa}{bh^2} \quad (17)$$

Significando Mr el módulo de rotura en MPa, P la carga máxima de rotura en N, L la luz libre entre apoyos en mm, b el ancho promedio de la viga en mm, h la altura promedio de la viga en mm; y, por último, a, que es la distancia promedio entre la línea falla y el apoyo más cercano en mm.

Ensayo de permeabilidad (ASTM 522R - 10)

La prueba de infiltración de agua se concibió siguiendo los pasos descritos en el reporte 522 R – 10 por parte de Instituto Estadounidense del Concreto, conocido por sus siglas **ACI 522R 10**.

Los instrumentos empleados fueron un permeámetro de carga variable, una cintra métrica y un cronómetro. Las probetas cilíndricas utilizadas fueron las de dimensiones de 4” x 8”.

Primeramente, se lavaron las probetas extraídas del pozo de curado, esto a los 28 días puesto que teóricamente alcanza la resistencia requerida y están listas para probar su permeabilidad. Como segundo paso, se cubrió las partes laterales de los especímenes con una membrana plástica para proteger que el agua a inmiscuir no escape por los laterales, posterior a ello, se purgó el sistema para eliminar cualquier impureza que afecte la salida del agua y se asentó la probeta dentro del permeámetro. Luego, se colmató el permeámetro hasta que el agua esté al nivel máximo graduado buscando que el agua al fluir elimine cualquier cápsula de aire. Seguidamente, se cierra la válvula, para iniciar un nuevo proceso de colmatación, y llena el tubo hasta la altura inicial marcada. Después, se abre la válvula y se mide el tiempo que demore el agua en transcurrir de una altura h_1 (medida inicial marcada) a una altura h_2 (salida del sistema). Durante todo el proceso, los datos a extraer del sistema son la altura inicial y final de agua, área de la probeta, área del tubo de ensayo y longitud de la probeta.

El cálculo de la capacidad de infiltración o permeabilidad empleó el uso de la Ecuación 18 extraída de Bautista (2018).

$$K = \frac{L}{T} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (18)$$

Donde K es el coeficiente de permeabilidad en cm/s, L la longitud del espécimen de concreto en cm, T el tiempo en que el agua demora en transcurrir entre dos puntos en segundos, a el área del tubo de ensayo en cm^2 , A el área promedio del espécimen de concreto en cm^2 , h_2 la altura de carga de agua al inicio de la prueba en cm, y h_1 la altura de carga de agua al final de la prueba en cm.

Diseño de pavimento permeable

El diseño de pavimento rígido es el proceso en el cual se define su composición, materiales a intervenir, espesor de capas y capacidad de diseño; así pues, es orientado a tener una vida útil que garantice un comportamiento estructural frente a las cargas variables y condiciones ambientales para los cuales fue concebido. (Corredor Muller, 2011 en Ayquipa y Vilca, 2020, p. 18). Sus principales características a reunir son una resistencia a las cargas viales del tránsito, resistencia a agentes externos y presentar una textura superficial adaptada a velocidades vehiculares promedio; en consecuencia, el pavimento debe presentar regularidad superficial longitudinal como transversal, ser durable en el tiempo y ofrecer seguridad al peatón como al tránsito. (Gómez, 2014, en Sánchez, 2019). En el mismo orden de las ideas, Rojas (2019) añade que un pavimento rígido al tener a la losa de concreto como componente principal estructural alivia las tensiones de las capas subyacentes del mismo; y, es conformado por una subrasante, subbase y losa, respectivamente.

De modo que, para proponer un diseño de pavimento vial permeable, después de conocer el diseño de mezcla que mejor se adecua al proyecto, se realizó el estudio de tráfico, el estudio de precipitaciones de la región y el estudio geotécnico de los tramos a intervenir. El Manual de Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) fue la piedra angular en que se apoyó el proceso.

Estudio de tráfico vial

El capítulo 6 del Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos, indica que un Estudio de Tráfico vial tiene dos objetivos, los cuales son conocer la capacidad de los tramos viales para mantener volúmenes de tráfico

durante su vida útil y ser un indicador de cuantas repeticiones de ejes equivalentes puede estimarse para formar parte del diseño estructural. El índice medio diario anual (IMDA) se realiza por tipo de vehículos y se pueden obtener mediante una intervención directa o por consulta en las estaciones del MTC. A partir de ello, se elaboró los cálculos de repeticiones de ejes equivalentes, presión de neumáticos, tipo de tráfico, tasas de crecimiento de crecimiento vehicular y el Eje de Carga Simple Equivalente (ESAL).

Para ello, se estudió a la Av. Antenor Orrego, para los tramos ubicados entre la Av. Jesús de Nazareth y Ca. Los Colibríes, en el que tuvo una longitud de 1.590 km. Siendo en nuestro caso, hecho con muestreos en campo para encontrar la demanda volumétrica actual. Se realizó el conteo en una semana típica de la Ciudad de Trujillo, sin mediar días festivos o feriados.

Reportes de precipitación de SENAMHI e INDECI

El fenómeno hidrológico interviniente en el estudio son las precipitaciones anuales en la ciudad de Trujillo, por lo que, la cuenca estudiada tiene por nombre la Cuenca del Río Moche. Como herramienta para el proceso, se utilizó el Módulo de Estimación de Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) que proporciona el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Este módulo proporcionó la visualización numérica y gráfica de las curvas IDF; además, ayudó a determinar las intensidades de precipitación para periodos de retorno desde los 2 hasta los 1000 años y duraciones entre 1 y 24 horas. Para el proyecto, se estudió la duración e intensidad de lluvias en la cuenca para un periodo de retorno de 2, 5, 10 y 30 años de retorno.

Diseño de paquete estructural (Manual Suelos y Pavimentos 2014)

La metodología descrita en el Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos, en adelante el Manual, para el diseño de un pavimento rígido es la desarrollada por la AASHTO 93. La cual tiene como proceso la iteración de espesor de losa hasta encontrar el que mejor se adecue para hacer frente a una vida útil de cargas de tránsito. En consecuencia, se hace uso de la Ecuación 19, siendo:

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{M_r C_{dx} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right) \quad (19)$$

Para el cual, W_{82} es el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas en el periodo de diseño, Z_r es la desviación normal estándar, S_o es el error estándar combinado en la predicción de tránsito, D es el espesor del pavimento de concreto en mm, ΔPSI es la diferencia entre índices inicial y final, P_t es el índice de servicio final, M_r es la resistencia a la flexo tracción del concreto a los 28 días en MPa, C_{dx} es el coeficiente de drenaje, J es el coeficiente de transmisión de carga en las juntas, E_c es el módulo de elasticidad del concreto en MPa y K el módulo de reacción.

Al mismo tiempo, el Manual describe que los parámetros que intervienen en el proceso son dos, el periodo de diseño y las variables. El primero, especifica el mínimo tiempo de diseño a ser empleado en la concepción de firmes rígidos son 20 años; el cual puede adaptarse por medio de evaluar las condiciones del entorno y requerimientos de la obra. Por otra parte, las variables se subdividen en ocho:

Tránsito (ESALs)

El tránsito o ESAL es la cantidad de ejes equivalentes de 8.2 ton de peso que se estiman del Estudio de Tráfico e intervienen en el estudio respecto al periodo de carril de diseño. El valor se determina por el estudio de tráfico.

Serviciabilidad

La serviciabilidad, por su parte, es la capacidad del pavimento de servir al tránsito que transita por la vía. Este se determina con una escala de 0 a 5, en el cual 0 significa que la vía es intransitable y 5 es el valor ideal para transitar; pero, en la realidad no se puede llegar puesto a ser un idóneo. Otra manera de entenderla es la apreciación numérica con el cual se evalúa el deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento. La figura 7 indica los valores a recomendados por el MTC.

Figura 7

Según rango de tráfico, Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i), Final (P_t) y Diferencial (ΔPSI)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_i)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (P_t)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P1}	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P2}	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P3}	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	T _{P4}	750 001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P15}		>30'000,000	4.50	3.00	1.50

Nota. Tomado del Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (p. 265), por MTC, 2014.

Confiabilidad

La confiabilidad es la manera en que se cuantifica la variabilidad de los materiales, procesos de construcción y supervisión. Es considerado como un valor de seguridad puesto que incrementa la proporción de tránsito previsto a lo largo de la vida del pavimento. De la misma forma que la anterior variable, se determinan de tablas propuestas por el Manual. La figura 8, muestra los valores.

Figura 8

Según rango de tráfico, Nivel de Confiabilidad (R) y Desviación Estándar Normal (Zr) recomendados.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	100,000	150,000	65%	-0.385
	T _{P1}	150,001	300,000	70%	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	75%	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	80%	-0.842
	T _{P4}	750,001	1,000,000	80%	-0.842
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
	T _{P15}	>30'000,000		95%	-1.645

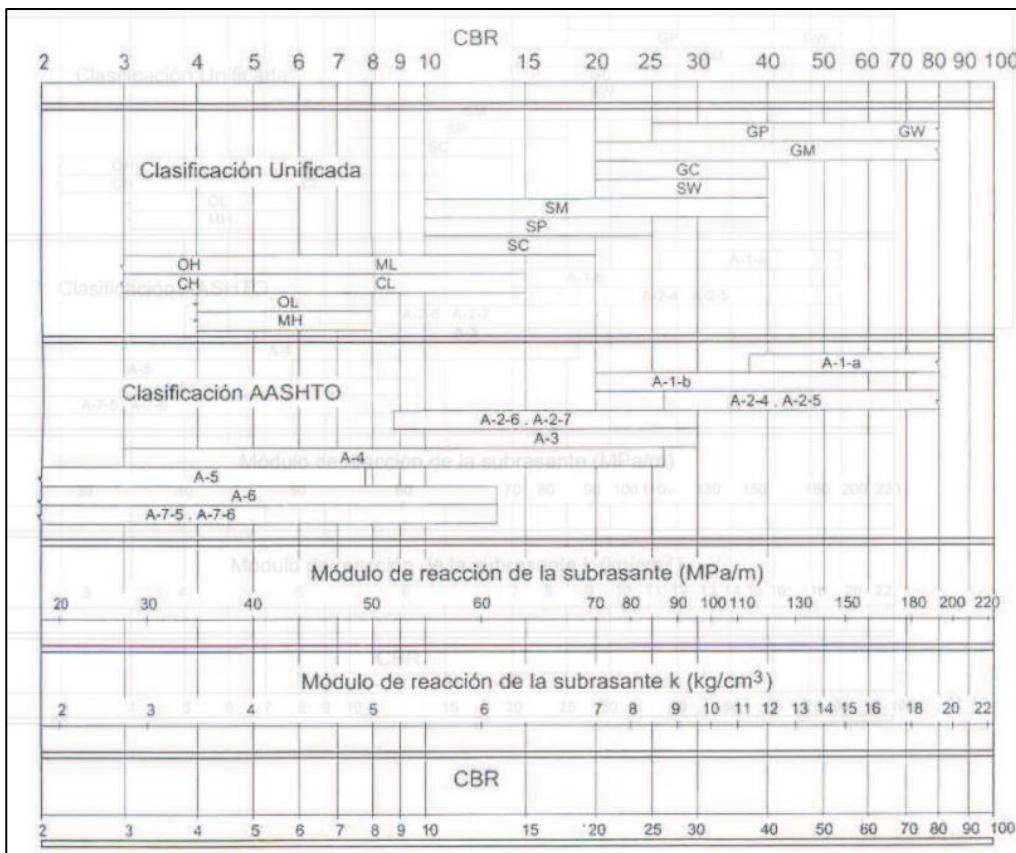
Nota. Tomado del Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (p. 266), por MTC, 2014.

Módulo de reacción de subrasante

En cuanto a el efecto de módulo de reacción de la subrasante (K_c), el Manual incluye dos formas de poder determinarlo; el primero, es mediante la ejecución del ensayo ASTM D – 119 y AASHTO T -222 para obtener la presión en Mpa para deformar 13 mm de suelo y se expresa en Mpa/m; mientras que, el segundo, es mediante la correlación del CBR de la subrasante y la subbase según Figura 9. En esta investigación, se realizó el segundo método, previa realización de un estudio de suelos para la vía a intervenir. Se requirió el uso de la Ecuación 20.

Figura 9

Correlación CBR y Módulo de Reacción de Subrasante



Nota. Tomado del Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (pp. 267 - 268), por MTC, 2014.

Coeficiente de ecuación combinado (K_c)

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{0.5} \times K_0 \quad (20)$$

Donde K_c es el coeficiente de reacción combinado en kg/cm^3 , h el espesor de base granular en cm , K_1 el coeficiente de reacción de la subbase granular en kg/cm^3 y K_0 el coeficiente de reacción de la subrasante en kg/cm^3 .

Resistencia a la flexotracción del concreto

La resistencia a la flexotracción de la capa de rodadura de concreto (MR) especifica que el valor mínimo a alcanzar es 40 kg/cm^2 . Este va relacionado con la resistencia a compresión del mismo y se relacionan mediante la norma ACI 363. Siendo $Mr = a \sqrt{f'c}$ (Ecuación 21) la expresión que los relaciona, del cual, a es un valor entre 1.99 y 3.18; mientras que, $f'c$ es la resistencia del concreto a la compresión en kg/cm^2 . Respecto al proyecto, se realizó el propio ensayo, por lo que, no es necesario determinarlo mediante fórmula. No obstante, se corroboró con ambos datos tomando el mayor.

Módulo elástico del concreto

Por su parte, para determinar el módulo elástico del concreto, que es predicho mediante correlación al ensayo de resistencia a la compresión, se necesitó la aplicación de la expresión dada por el ACI $E = 57\,000 f'c^{0.5}$, (Ecuación 22); donde, E es el módulo elástico y $f'c$ es la resistencia a la compresión, ambas en PSI.

Drenaje

El Manual define al coeficiente de drenaje (Cd) como la forma de estimar desempeño de la estructura bajo la losa frente a la retención o drenaje de agua. Si es proclive a retener la humedad, se considera malo, mientras que, si tiene un buen drenaje, se considera excelente; todo está supeditado a la calidad de materiales empleados, tipo y diseño de drenaje empleado.

Tabla 5

Coeficiente de Drenaje de las Capas Granulares (Cd)

Calidad del Drenaje	% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximo a la saturación			
	<1%	1 a 5%	5 a 25%	>25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 - 0.90	0.9 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (p. 271), por MTC, 2014.

Transferencias de carga

La transferencia de cargas (j) es un parámetro en el cual se mide la capacidad de la estructura como transmisor de cargas entre juntas y fisuras. El tipo de pavimento a implementar, la existencia o no de berma y tipo, y; la existencia o no de *dowels* afectarán su valor final.

Tabla 6

Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga (J)

Tipo de berma	J			
	Granular o asfáltica		Concreto Hidráulico	
Valor de J	Sí (con pasador)	No (con pasador)	Sí (con pasador)	No (con pasador)
	3.2	3.8 - 4.4	2.8	3.8

Nota. El MTC dentro del Manual asume el uso del valor de 3.2 para definir las secciones de pavimento. Adaptado del Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (p. 271), por MTC, 2014.

Aspectos éticos de la investigación

La información descrita, antecedentes mostrados, fuentes consultadas y todos los datos recuperados se realizaron bajo la conformidad del método científico y la pertinente piedra angular de la veracidad, puntos en que se fundamenta el estudio. Todo lo expuesto en el informe de tesis se puede contrastar y verificar a través de la consulta de referencias bibliográficas. Por todo lo especificado, se tuvo una investigación competente y real.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

O.E. 1. Establecer las propiedades físicas de los agregados destinados a la fabricación del pavimento permeable.

Propiedades físicas de los agregados

Tabla 7

Caracterización del agregado grueso

AGREGADO GRUESO			
PIEDRA CHANCADA 3/4" HUSO 67			
Ensayo	U.M	Norma	Resultado
Tamaño máximo nominal (TMN)	pulg	NTP 400.012	3/4
Módulo de Finura	-	NTP 400.012	6.53
Peso unitario suelto	kg/m ³	NTP 400.017	1625.00
Peso unitario compactado	kg/m ³	NTP 400.017	1785.00
Peso específico	gr/cm ³	NTP 400.022	2.56
Absorción	%	NTP 400.022	1.40
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	0.70

Nota. Los valores presentados fijan el resultado promedio de cada ensayo realizado al agregado grueso de huso 67. Se rigió conforme a la normatividad vigente y la unidad de medida respectiva.

Tabla 8

Caracterización del agregado fino

AGREGADO FINO			
ARENA GRUESA ZARANDEADA			
Ensayo	U.M	Norma	Resultado
Módulo de Finura	-	NTP 400.012	2.50
Peso unitario suelto	kg/m ³	NTP 400.017	1670.00
Peso unitario compactado	kg/m ³	NTP 400.017	1917.00
Peso específico	gr/cm ³	NTP 400.022	2.56
Absorción	%	NTP 400.022	0.80
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	1.00

Nota. Los valores presentados fijan el resultado promedio de cada ensayo realizado al agregado fino concretamente a la arena gruesa zarandeada. Se rigió conforme a la normatividad vigente y la unidad de medida respectiva.

O.E. 2 Determinar las características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco y estado endurecido según las Normas Técnicas Peruanas y Normas ACI.

Diseño de mezcla del concreto permeable

Tabla 9

Diseño de Mezcla para Concreto Permeable con 13% de vacíos

Diseño de Mezcla N.º 1 (13% de vacíos)			
Material	Volumen (m3)	Masa (kg/m3)	Tanda 30L (kg)
Cemento	0.145	455.300	13.659
Agua	0.137	146.311	4.389
Agregado Grueso	0.551	1420.434	42.613
Agregado Fino	0.029	74.982	2.249
Aditivo (SikaCem Plastificante)	0.010	4.553	0.137
% de vacíos	0.130	-	-
Total	1.001	2101.580	63.047

Nota. Peso de los materiales a emplear por m3 de mezcla para un Concreto Permeable con 13% de vacíos; asimismo, se detalla los materiales para tanda de 30L, en conformidad al tamaño de muestra mínimo requerido por NTP. 339.036. Diseño de mezcla obtenido mediante el uso de metodología ACI 522R-10.

Tabla 10

Diseño de Mezcla para Concreto Permeable con 15% de vacíos

Diseño de Mezcla N.º 2 (15% de vacíos)			
Material	Volumen (m3)	Masa (kg/m3)	Tanda 30L (kg)
Cemento	0.130	409.400	12.282
Agua	0.131	140.081	4.202
Agregado Grueso	0.522	1345.674	40.370
Agregado Fino	0.058	149.965	4.499
Aditivo (SikaCem Plastificante)	0.010	4.094	0.123
% de vacíos	0.150	-	-
Total	1.001	2049.214	61.476

Nota. Peso de los materiales a emplear por m3 de mezcla para un Concreto Permeable con 15% de vacíos; asimismo, se detalla los materiales para tanda de 30L, en conformidad al tamaño de muestra mínimo requerido por NTP. 339.036. Diseño de mezcla obtenido mediante el uso de metodología ACI 522R-10.

Tabla 11

Diseño de Mezcla para Concreto Permeable con 17% de vacíos

Diseño de Mezcla N.º 3 (17% de vacíos)			
Material	Volumen (m3)	Masa (kg/m3)	Tanda 30L (kg)
Cemento	0.121	381.700	11.451
Agua	0.130	138.016	4.140
Agregado Grueso	0.485	1249.002	37.470
Agregado Fino	0.086	221.069	6.632
Aditivo (SikaCem Plastificante)	0.010	3.817	0.115
% de vacíos	0.170	-	-
Total	1.001	1993.604	59.808

Nota. Peso de los materiales a emplear por m3 de mezcla para un Concreto Permeable con 15% de vacíos; asimismo, se detalla los materiales para tanda de 30L, en conformidad al tamaño de muestra mínimo requerido por NTP. 339.036. Diseño de mezcla obtenido mediante el uso de metodología ACI 522R-10.

Características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco

Tabla 12

Registro de ensayos del concreto en estado fresco

Ensayos en estado fresco del concreto			
Muestra	NTP 339.184	NTP. 339.035	NTP. 339.046
	Temperatura (°C)	Asentamiento (pulg)	P.U.C (kg/m³)
Diseño de mezcla con 13% de vacíos	20.0	5.00	2426.00
Diseño de mezcla con 15% de vacíos	20.0	5.25	2380.00
Diseño de mezcla con 17% de vacíos	22.5	5.50	2360.00

Nota. Los valores presentados fijan el resultado promedio de cada ensayo realizado a cada diseño de concreto según su % de vacíos. Se rigió conforme a la normatividad vigente y la unidad de medida respectiva.

Características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado endurecido

Resistencia a la compresión

Tabla 13

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 3, 7 y 28 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 13% de vacíos							
Edad de ensayo (días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Área de sección promedio (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Tipo de Fractura
3	D13-P01	10.20	81.60	90.70	113.34	117	5
	D13-P02	10.24	82.40	84.50	104.57		2
	D13-P03	10.27	82.80	107.70	132.63		2
7	D13-P04	10.20	81.60	136.00	169.95	156	2
	D13-P05	10.22	82.00	124.10	154.32		2
	D13-P06	10.19	81.60	116.10	145.08		2
28	D13-P07	10.16	81.10	184.70	232.23	220	2
	D13-P08	10.18	81.30	167.70	210.34		2
	D13-P09	10.26	82.70	173.70	214.17		2
	D13-P10	10.25	82.50	190.50	235.67		2
	D13-P11	10.20	81.70	172.20	214.92		2
	D13-P12	10.30	83.30	174.50	213.61		2

Nota. Datos de resistencia a la compresión obtenidos en laboratorio para un concreto permeable con 13% de vacíos ensayados a una edad de curado de 3, 7 y 28 días bajo la guía de NTP 339.034. Para cada probeta evaluada, se agregó su tipo de fractura.

Tabla 14
Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 3, 7 y 28 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 15% de vacíos							
Edad de ensayo (días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Área de sección promedio (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Tipo de Fractura
3	D15-P01	10.17	81.20	112.70	141.53	134	2
	D15-P02	10.20	81.60	102.80	128.46		2
	D15-P03	10.21	81.80	106.80	133.13		2
7	D15-P04	10.16	81.00	155.70	196.01	189	2
	D15-P05	10.12	80.40	139.50	176.93		2
	D15-P06	10.15	80.90	154.00	194.11		2
28	D15-P07	10.18	81.30	212.50	266.53	263	2
	D15-P08	10.32	83.60	207.90	253.58		2
	D15-P09	10.24	82.40	221.10	273.61		2
	D15-P10	10.30	83.30	199.40	244.09		2
	D15-P11	10.29	83.20	219.80	269.39		2
	D15-P12	10.27	82.80	217.60	267.98		2

Nota. Datos de resistencia a la compresión obtenidos en laboratorio para un concreto permeable con 15% de vacíos ensayados a una edad de curado de 3, 7 y 28 días bajo la guía de NTP 339.034. Para cada probeta evaluada, se agregó su tipo de fractura.

Tabla 15

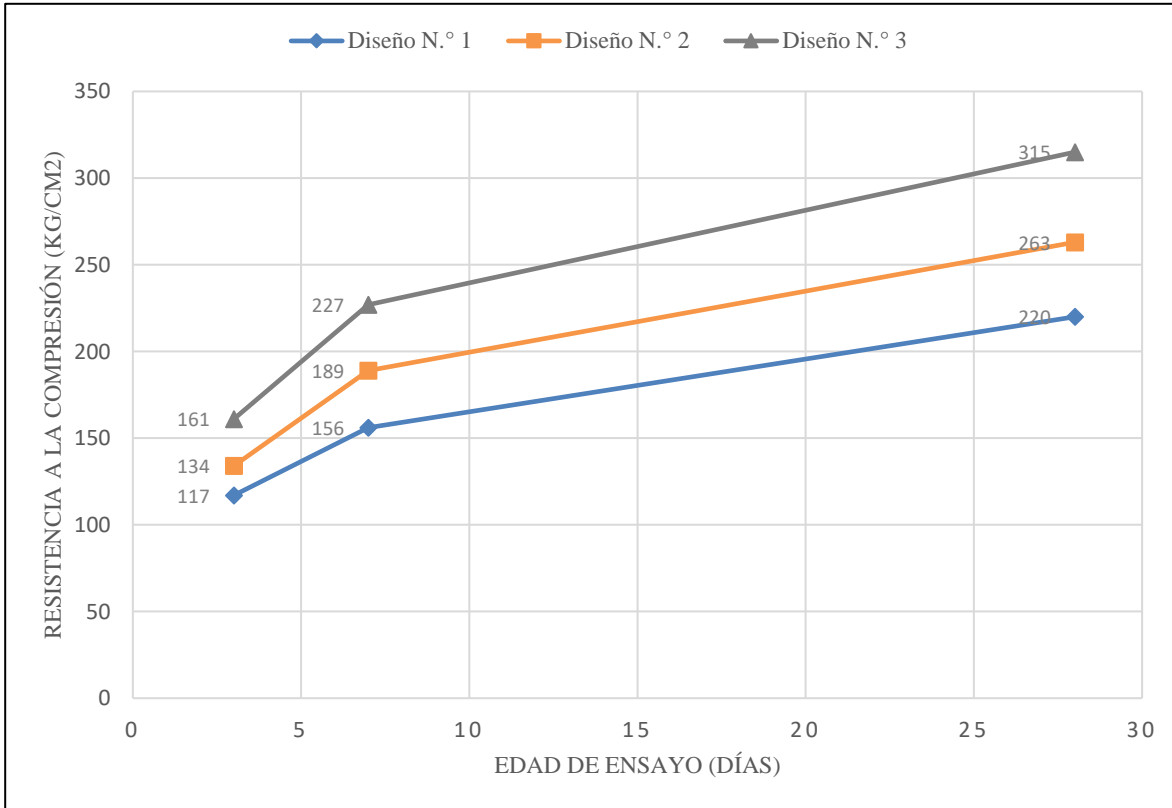
Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 3, 7 y 28 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 17% de vacíos							
Edad de ensayo (días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Área de sección promedio (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Tipo de Fractura
3	D17-P01	10.19	81.50	118.70	148.51		2
	D17-P02	10.21	81.90	138.20	172.07	161	2
	D17-P03	10.21	81.80	131.00	163.30		2
7	D17-P04	10.14	80.70	188.00	237.55		2
	D17-P05	10.18	81.40	171.90	215.34	227	2
	D17-P06	10.13	80.60	180.00	227.72		2
28	D17-P07	10.26	82.60	260.70	321.84		2
	D17-P08	10.23	82.10	259.80	322.68		2
	D17-P09	10.30	83.20	256.50	314.37	315	2
	D17-P10	10.20	81.60	241.20	301.41		2
	D17-P11	10.20	81.70	262.00	327.00		2
	D17-P12	10.24	82.30	244.30	302.69		2

Nota. Datos de resistencia a la compresión obtenidos en laboratorio para un concreto permeable con 17% de vacíos ensayados a una edad de curado de 3, 7 y 28 días bajo la guía de NTP 339.034. Para cada probeta evaluada, se agregó su tipo de fractura.

Figura 10

Resistencia a la compresión promedio del Concreto Permeable por cada tipo de diseño de mezcla a 3, 7 y 28 días



Nota. Se muestra los valores promedio de resistencia a la compresión obtenidos para el Diseño de Mezcla N.º 1, N.º 2 y N.º 3 de concreto permeable con 13, 15 y 17% de vacíos, respectivamente, ensayados a 3, 7 y 28 días. Se logra apreciar que el Diseño Tercero, perteneciente al concreto con 17% de vacíos, logra mayor incidencia para cada día de rotura que sus homólogos, dando como resultado un concreto apto para la aplicación en losas de pavimentos rígidos, puesto que, supera el mínimo requerido de 280 kg/cm² que estipula el Manual de Suelos y Pavimentos 2014 del MTC.

Resistencia a la flexión

Tabla 16

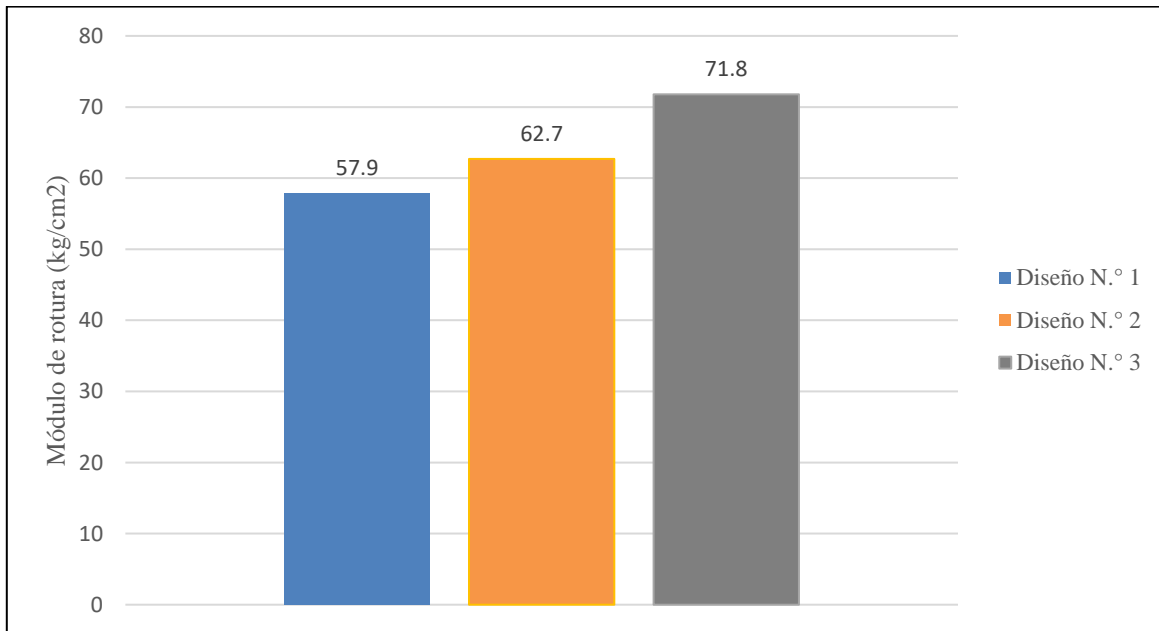
Resistencia a la flexión del Concreto Permeable según diseño a 13, 15 y 17% de vacíos ensayado a 28 días

Resistencia a la flexión de vigas de concreto permeable según Diseño										
Edad de ensayo (días)	Diseño	Muestra	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud de tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Falla	
28	N.º 1	D13-V01	14.90	15.00	49.00	40.00	59.7	57.9	Tercio Central	
		D13-V02	14.90	15.20	49.10	38.30	55.7		Tercio Central	
		D13-V03	15.20	15.20	49.10	41.00	58.4		Tercio Central	
	N.º 2	D15-V01		15.00	15.50	49.00	47.40	65.7	62.7	Tercio Central
		D15-V02		15.00	15.30	49.00	46.40	66.1		Tercio Central
		D15-V03		15.00	15.40	49.00	40.20	56.5		Tercio Central
	N.º 3	D17-V01		15.00	15.50	49.00	44.70	61.9	71.8	Tercio Central
		D17-V02		15.00	15.00	49.00	50.70	75.0		Tercio Central
		D17-V03		15.00	15.00	49.00	52.90	78.3		Tercio Central

Nota. Datos de resistencia a la flexión, obtenidos en laboratorio para un concreto permeable con 13, 15 y 17% de vacíos, según diseño, ensayados a una edad de curado de 28 días bajo la guía de NTP 339.078. A cada probeta evaluada, se especificó su tipo de falla.

Figura 11

Resistencia a la flexión promedio del Concreto Permeable por cada tipo de diseño de mezcla a 28 días



Nota. Se muestra los valores promedio de resistencia a la flexión, llamado también Módulo de Rotura, obtenidos para el Diseño de Mezcla N.º 1, N.º 2 y N.º 3 de concreto permeable con 13, 15 y 17% de vacíos, respectivamente, ensayados en su máxima resistencia teórica de 28 días. Se logra apreciar que la totalidad de los Diseños alcanzan y superan el mínimo requerido de 40 kg/cm² que estipula el Manual de Suelos y Pavimentos 2014 del MTC; no obstante, el Tercer Diseño tiene mayor prevalencia. El último diseño cumple a su vez con el mínimo de resistencia a la compresión tal como se especifica en la Figura 10.

Permeabilidad

Tabla 17

Permeabilidad del Concreto Permeable según diseño a 13, 15 y 17% de vacíos

Ensayo de permeabilidad de probetas de concreto permeable según Diseño										
Diseño	Muestra	Longitud promedio (cm)	Tiempo de descarga (s)	Área tubo de ensayo (cm ²)	Área promedio (cm ²)	Altura de carga inicial (cm)	Altura de carga final (cm)	K (cm/s)	K (mm/m)	Promedio (mm/m)
N.º 1	D13-K1	20.20	19.33	81.10	80.12	38.17	32.00	0.19	111.90	119.84
	D13-K2	20.30	17.67	81.10	81.00	38.17	32.00	0.20	121.68	
	D13-K3	20.50	17.50	81.10	79.80	38.17	32.00	0.21	125.94	
N.º 2	D15-K1	20.40	98.00	81.10	80.80	38.17	32.00	0.04	22.10	18.43
	D15-K2	20.15	132.00	81.10	80.12	38.17	32.00	0.03	16.35	
	D15-K3	20.30	127.68	81.10	81.03	38.17	32.00	0.03	16.83	
N.º 3	D15-K1	20.10	145.00	81.10	80.12	38.17	32.00	0.02	14.84	15.99
	D15-K2	20.35	105.00	81.10	79.20	38.17	32.00	0.03	20.99	
	D15-K3	20.30	182.60	81.10	78.54	38.17	32.00	0.02	12.14	

Nota. Datos de permeabilidad obtenidos en laboratorio para un concreto permeable con 13, 15 y 17% de vacíos, según diseño, ensayados en probetas cilíndricas. La totalidad de especímenes evacuaron el mismo volumen de agua de 500 cm³, que, expresados en columna de agua en centímetros fue de 6.17.

O.E. 3 Elaborar el diseño estructural del pavimento rígido permeable según el Manual de Suelos y Pavimentos del Perú.

Estudio de tráfico vial

Índice Medio Diario

El procedimiento fue llevado a cabo primeramente con precisar el número de vehículos según su tipo por cada día de una semana representativa de la ciudad de Trujillo en la avenida a intervenir. Concretamente fue la totalidad de la Av. Antenor Orrego, que nace en la intersección con la Av. Jesús de Nazareth y culmina con la Ca. Los Colibríes, dando como resultado una longitud estudiada de tráfico de 1.590 km. Para lo cual, se hizo un conteo diario, de domingo a sábado, de manera manual y continua por un periodo de 16h desde las 5:00 hasta las 21:00 horas, con la intención de obtener el Índice Medio Diario (IMD) para cada vehículo y así proyectar los Ejes Equivalentes según indica el Manual de Suelos y Pavimentos. En el conteo de vehículos se logró ubicar diez tipos de configuración vehicular siendo el más común el auto liviano por parte del tránsito ligero; mientras que, por parte del tránsito pesado se tuvo al camión de dos ejes simple. Lo descrito se especifica en la Tabla 18 al igual que el IMD.

Factor vehículo pesado

Posteriormente, se calculó el Factor de Vehículo Pesado (Fvp) que consistió en determinar el peso por cada eje, así como, la relación de carga de cada uno con el objeto de realizar la sumatoria individual de cada configuración; por lo que, para llevar a cabo esto se requirió la carta de especificaciones de cada vehículo promedio y la configuración por eje que especifica el Manual (Ver Anexo N.º 3). El desarrollo se condensó en la Tabla 19.

Factor direccional y Factor carril

El cálculo siguiente fue el Factor Direccional (Fd) y el Factor Carril (Fc) de la calzada, que se puntualizó en 0.5 y 0.8 respectivamente, porque la Av. Antenor Orrego cuenta con 2 calzadas con separador central y 2 sentidos.

Factor presión de neumáticos

Al mismo tiempo, se precisó el factor de ajuste por presión de neumáticos (Fp) según tipo de vehículo. Para encontrar este valor se consideró un posible espesor de capa de rodadura de 160mm y se estimó la presión según el tránsito. En un tránsito ligero se tomaron valores entre 1.12 y 1.24; mientras que, para un tránsito pesado, valores entre 1.47 y 1.59. El criterio lógico que se tuvo fue que un vehículo de tránsito mayor requiere una presión superior de aire en los neumáticos con la intención de garantizar una conducción segura al igual que un agarre firme a la calzada.

La multiplicación de valores entre IMD, Fvp, Fd, Fc y Fpi definió los Ejes Equivalentes por día-carril. (Tabla 20).

Tasa de crecimiento acumulado

En suma, como tasas de crecimiento y proyección de tránsito se consideró dos tipos. Para un tránsito de vehículos de pasajeros se tomó el valor de 1.28%, debido a la interpolación de tasas de crecimiento poblacional propuestas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática en su informe “*Estado de la población peruana 2020*” para los años 2020 y 2025 que fueron de 1.70 y 1.00, correspondientemente. Por el contrario, para un tránsito de vehículos de carga fue de 5.96% que corresponde al crecimiento del PIB de la región La Libertad en el área de Transporte, Almacenaje, Correos y Mensajería en el último informe

que data del año 2021. A esto, para hallar el Factor de Crecimiento Acumulado (Fca) por vehículo, se utilizó la Ecuación 23.

Tasa de Crecimiento Acumulado

$$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (23)$$

Siendo Fca la tasa de crecimiento acumulado, r la tasa de crecimiento correspondiente al tipo de vehículo; y, n el periodo en años a proyectar.

Finalmente, el Valor de Ejes Equivalentes por vehículos se logra por medio de multiplicar el valor de EE día – carril por el Fca y los 365 que trae el año. Esto se detalló en la Tabla 21.

Entonces, como conclusión, se tiene que la proyección de tránsito para la Av. Antenor Orrego, así como, el número de repeticiones de Ejes Equivalentes en su vida útil de 20 años como carretera de pavimento rígido permeable fue de 4 mil 810 vehículos por día y de 4 millones 588 mil 372 de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2tn. En consideración de la clasificación de tránsito propuesta por el MTC el proyecto se ordena dentro del parámetro TP7.

Tabla 18

Demanda de volumen de tráfico de Av. Antenor Orrego, Trujillo, 2022

Estudio de tráfico Vial Av. Antenor Orrego a Ca. Los Colibríes									
Configuración Vehicular	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total Semanal	IMD
Auto liviano	2981	3924	3677	4307	3635	2768	3895	25187	3598
Camioneta SUV	395	663	507	706	514	512	596	3893	556
Pick up	243	473	420	546	335	260	353	2630	376
Combi	45	85	80	96	110	108	134	658	94
Camión 2 ejes (1RS + 1RS)	56	53	70	85	81	64	72	481	69
B2	56	51	53	71	66	58	64	419	60
C2 - Camión 2 ejes (1RS+1RD)	24	27	37	59	52	39	58	296	42
C3 - Camión de 2 ejes (1RS+1 Tándem (2RD))	7	11	6	11	10	7	13	65	9
T2S1	6	3	4	7	4	8	9	41	6
Total de vehículos por tipo								33670	4810

Nota. Número de vehículos por tipo e Índice Medio Diario (IMD) durante una semana representativa en la Ciudad de Trujillo para la Av. Antenor Orrego. El conteo de vehículos se dio por un periodo de 16 horas día, desde 5:00 a 21:00 horas.

Tabla 19

Factor vehículo pesado (Fvp) para un pavimento rígido permeable según configuración vehicular de Av. Antenor Orrego, Trujillo

Configuración vehicular	Equivalencia y Factor vehículo por ejes						FVP
	Peso por eje en Tn			Factor Ejes Equivalentes			
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 1	Eje 2	Eje 3	
Auto liviano	0.75	0.75	-	0.00013	0.00013	-	0.00027
Camioneta SUV	1.25	1.25	-	0.00109	0.00109	-	0.00218
Pick up	1.50	1.50	-	0.00230	0.00230	-	0.00460
Combi	1.875	1.875	-	0.00574	0.00574	-	0.01149
Camión 2 ejes (1RS + 1RS)	7.00	7.00	-	1.27283	1.27283	-	2.54567
B2	7.00	11.00	-	1.27283	3.33483	-	4.60766
C2 - Camión 2 ejes (1RS+1RD)	7.00	11.00	-	1.27283	3.33483	-	4.60766
C3 - Camión de 2 ejes (1RS+1 Tándem (2RD))	7.00	18.00	-	1.27283	3.45800	-	4.73084
T2S1	7.00	11.00	11.00	1.27283	3.33483	3.33483	7.94249

Nota. El Manual de Suelos y Pavimentos 2014 define al Factor Vehículo Pesado (Fvp) como la sumatoria de cada factor Eje Equivalente de 8.2tn propio de cada vehículo. Para el cálculo de este último se necesitó del peso por eje, el cual se extrajo del Censo de Carga del MTC.

Tabla 20

Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo por día para el carril de diseño proyectado

Ejes equivalentes día – carril según configuración vehicular de Av. Antenor Orrego						
Configuración vehicular	FVP	IMD	Factor Direccional (FD)	Factor Carril (FC)	Factor Presión de neumáticos (FPi)	EE (día-carril)
Auto liviano	0.00027	3598	0.5	0.8	1.12	0.43
Camioneta SUV	0.00218	556	0.5	0.8	1.24	0.60
Pick up	0.00460	376	0.5	0.8	1.24	0.86
Combi	0.01149	94	0.5	0.8	1.24	0.54
Camión 2 ejes (1RS + 1RS)	2.54567	69	0.5	0.8	1.24	86.76
B2	4.60766	60	0.5	0.8	1.24	136.80
C2 - Camión 2 ejes (1RS+1RD)	4.60766	42	0.5	0.8	1.47	114.56
C3 - Camión de 2 ejes (1RS+1 Tándem (2RD))	4.73084	9	0.5	0.8	1.59	27.94
T2S1	7.94249	6	0.5	0.8	1.59	29.59

Nota. Se muestran los valores obtenidos de Ejes Equivalentes día - carril para cada tipo de vehículo censado, siendo este el producto entre el IMD, FVP, FD, FC y Fpi.

Tabla 21

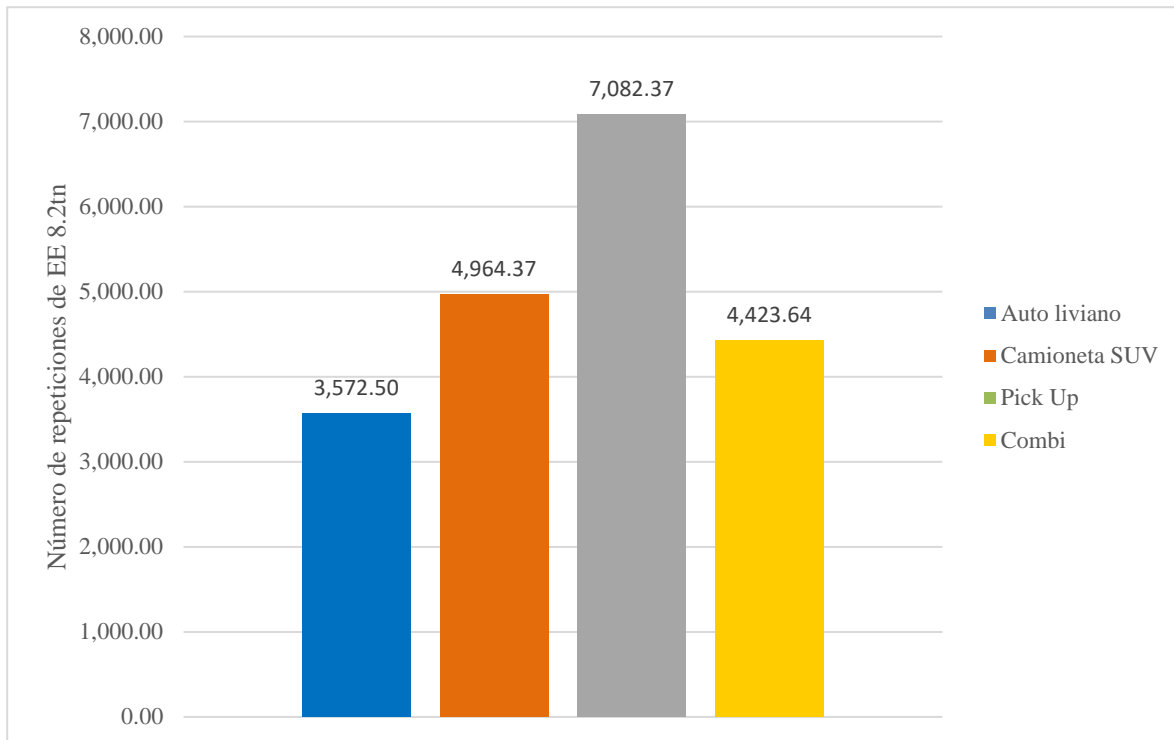
Número de repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2tn proyectados para una vida útil de pavimento permeable de 20 años en Av. Antenor Orrego

Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2Tn						
Configuración vehicular	EE (día - carril)	n (años)	r (%)	FCA	Días	Número de repeticiones EE
Auto liviano	0.43	20	1.28	22.63	365	3,572.50
Camioneta SUV	0.60	20	1.28	22.63	365	4,964.37
Pick up	0.86	20	1.28	22.63	365	7,082.37
Combi	0.54	20	1.28	22.63	365	4,423.64
Camión 2 ejes (1RS + 1RS)	86.76	20	5.90	36.39	365	1,152,487.85
B2	136.80	20	1.28	22.63	365	1,129,908.87
C2 - Camión 2 ejes (1RS+1RD)	114.56	20	5.90	36.39	365	1,521,798.95
C3 - Camión de 2 ejes (1RS+1 Tándem (2RD))	27.94	20	5.90	36.39	365	371,121.73
T2S1	29.59	20	5.90	36.39	365	393,011.49
Ejes Equivalentes de diseño						4,588,371.8

Nota. El número de repeticiones de Ejes Equivalentes es el resultado del producto entre EE día carril por vehículo, FCA particular a un tránsito ligero o pesado, y los días de un año natural. Como resultado de diseño se estima que 4 millones 588 mil 372 de ejes equivalentes de 8.2tn recorrerán durante su vida útil como vía de tránsito urbano.

Figura 12

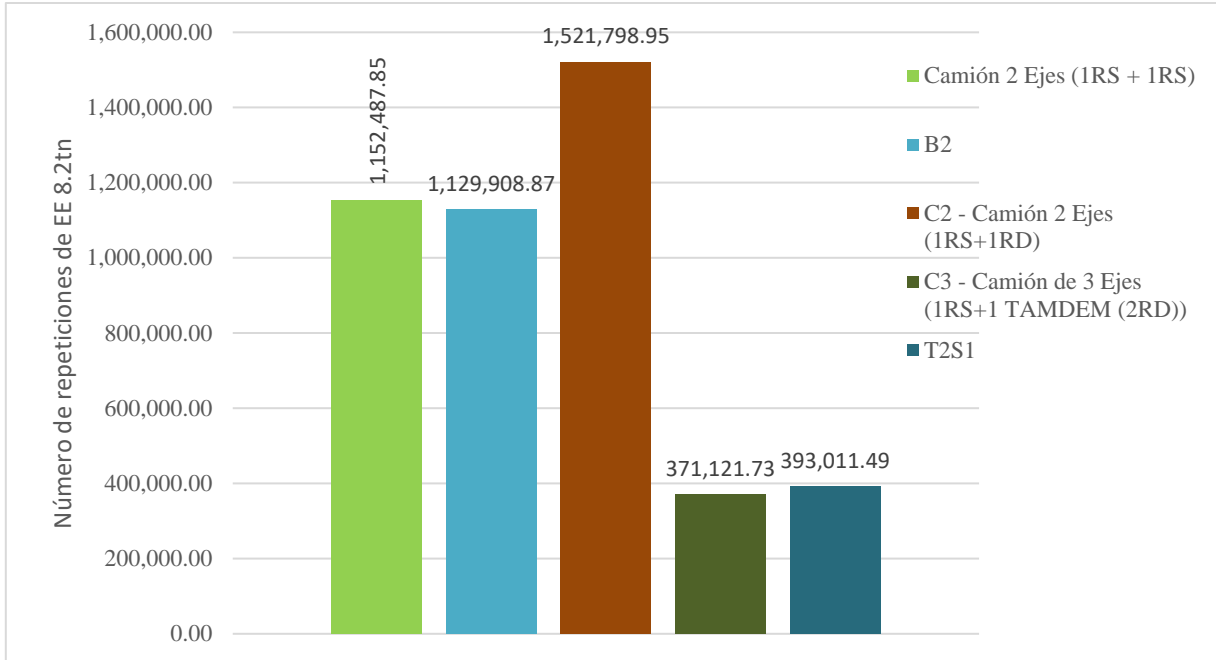
Repeticiones de ejes equivalentes de 8.2tn en vehículos de tránsito ligero



Nota. Se muestra el número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2tn estimados para un tránsito ligero en la avenida criterio de investigación. Dentro del diseño del pavimento, siendo este un rígido permeable con 20 años de periodo de vida útil, se aprecia que el vehículo de configuración Pick Up es el que mayor afectación realiza en la estructura interna del firme con un valor de 7 mil 82 repeticiones de ejes pesados. El factor destructivo va disminuyendo si se considera a sus homólogos, el daño generado al pavimento por parte de un Camioneta SUV es de 4 mil 966 repeticiones; mientras que, para una Combi y un Auto liviano es de 4 mil 424 y 3 mil 573, respectivamente. La incidencia generada por estos cuatro tipos de vehículo liviano no superaría el 0.50% del daño estructural a la vía Antenor Orrego durante su vida útil.

Figura 13

Repeticiones de ejes equivalentes de 8.2tn en vehículos de tránsito pesado



Nota. Se muestra el número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2tn estimados para un tránsito pesado en la avenida criterio de investigación. Dentro del diseño del pavimento, siendo este un rígido permeable con 20 años de periodo de vida útil, se aprecia que el vehículo de configuración Camión C2, es el que mayor afectación realiza en la estructura interna del firme con un valor de 1 millón 521 mil 799 repeticiones de ejes pesados. No obstante, el daño provocado por los vehículos de configuración Camión de dos ejes simples y B2 es de considerar puesto que alcanzan volúmenes de daño en ejes equivalentes de 1 millón 152 mil 488 y 1 millón 129 mil 909, correspondientemente. Si se considera a estos tres, son los que generarían el 83% de daño estructural a la vía Antenor Orrego durante su vida útil.

Diseño de paquete estructural

La metodología empleada en el diseño del paquete estructural del pavimento fue la AASHTO 93, misma que es propuesta por el Manual Suelos y Pavimentos del MTC. Dicha metodología detalló que para la concepción de un diseño se necesita de dos parámetros que son el periodo de diseño y las 8 variables intervinientes en el proceso.

Especificado en párrafos anteriores, se tuvo como periodo de diseño para un pavimento rígido permeable el mínimo estipulado por el MTC, siendo de 20 años.

Dentro de las variables se tuvo 8 incisos, las cuales determinaron el tráfico, los parámetros de seguridad y características físicas, mecánicas e hidráulicas propias de los insumos y materiales propuestos. Como primer interviniente se tuvo al Tránsito o ESALs, el cual se extrajo del Estudio de Tráfico Vial. De la Tabla 21, se tomó el valor de los Ejes Equivalentes de Diseño puesto que es el número previsto de ejes de 8.2tn que transitarán en la vía propuesta. El resultado fue de 4 millones 588 mil 372, lo que lo llega a clasificar como un pavimento TP7 en el orden de tráfico pesado. Respecto a la Serviciabilidad del producto, se tuvo un Índice Final (Pt) de 2.50 y un Diferencial de Servicio (Δ PSI) de 1.80; la Figura 7 ayudó en el proceso de evaluación. Por otro lado, como Confiabilidad y Desviación Estándar Normal (Z_r) se tuvo al valor de -1.036, evaluado de la Figura 8; mientras que, como Error Estándar Combinado (S_o) se tomó al sugerido por el Manual que fue de 0.35, puesto que asegura el rango típico dado por la AASHTO93 que debe estar entre 0.30 y 0.40. En lo concerniente al Coeficiente o Módulo de Reacción combinado (K_c) se obtuvo el valor de 76.30 MPa/m; este, fue resultado de operar con la capacidad portante, medida por el ensayo CBR, de las capas propuestas del pavimento según la Figura 9 y la Ecuación 20. El CBR promedio de la subrasante del proyecto fue de 21.24% y se consideró un grueso de capa de

15 cm; mientras que, como CBR de la subbase granular se consideró el mínimo propuesto por el MTC con un incremento de 5%, lo que dio como resultado a un CBR de 45%. Resultado de la operación con la Ecuación 20 se tuvo un resultado de 7.78 kg/cm³, lo que convertido a MPa/m fue de 76.30. Para la resistencia a la flexotracción del concreto o también llamado Módulo de Rotura (MR) se trabajó con un valor de 7 MPa, puesto que, resultado de buscar el mejor diseño de concreto permeable se tuvo al Diseño N.º 3 que alcanzó un MR de 71.8 kg/cm² (ver Figura 11). En lo referido al Módulo elástico del concreto (Ec) se operó con el valor de 26 mil 312 MPa. Este dato nace de convertir el valor de la resistencia a compresión que alcanzó el Diseño N.º 3 con un valor de 315 kg/cm² a PSI, introducirlo a la Ecuación 22, obtener dicho resultado y volver a convertir; pero, esta vez a MPa. Por último, por valores de Coeficiente de drenaje (Cd) y Coeficiente de transmisión de carga (J) se tuvieron a 1.00 y 3.20; esto, debido a que los materiales trabajarán como un pavimento permeable y se considera al valor predefinido por el MTC en su manual.

Producto de operar dichas variables dentro de la Ecuación 19 y de iterar hasta igualar valores, se obtuvo como resultado un espesor de losa de 160 mm. Por lo que, sumado al espesor de subbase granular de 150 mm, y posterior a una compactación de sub rasante, se tiene un pavimento final de 310 milímetros. No obstante, si uno sigue las recomendaciones del Catálogo Estructural propuesto por el MTC (Ver Anexo N.º 3) se debería tomar en cuenta un espesor de losa de 230 mm y una sub base granular de 150 mm dando como paquete estructural un pavimento de 380 mm.

Tabla 22

Resumen de variables de diseño de Ecuación 19

Diseño de variables a emplear en Ecuación 19 de la AASHTO93			
Variabes de diseño	Símbolo	U.M.	Valor
Espesor de losa de concreto	D	mm	158.86
Número previsto de ejes equivalentes	W82	EE	4,588,371.78
Resistencia media del concreto	Mr	MPa	7.00
Módulo de elasticidad del concreto	Ec	MPa	26,312.23
Módulo de reacción	K	MPa/m	76.30
Desviación normal estándar	Zr	-	-1.036
Error estándar combinado	So	-	0.35
Diferencia entre índices de servicio inicial y final	Δ PSI	-	1.80
Índice de serviciabilidad final	Pt	-	2.50
Coefficiente de drenaje	Cd	-	1.00
Coefficiente de transmisión de carga	J	-	3.20

Nota. El espesor de losa fue producto de la iteración y trabajo entre las distintas variables dando como resultado un valor, aproximado al inmediato superior, de 160 mm de grosor efectivo.

Figura 14

Propuesta de pavimento permeable final según diseño AASHTO 93

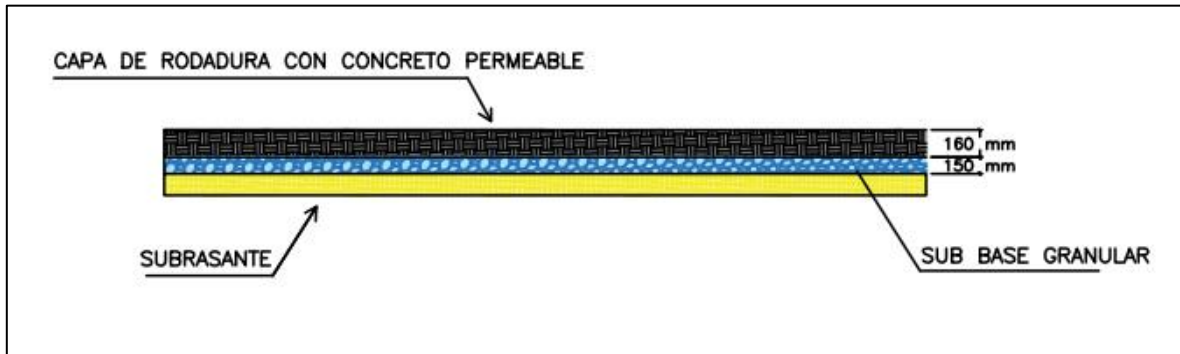
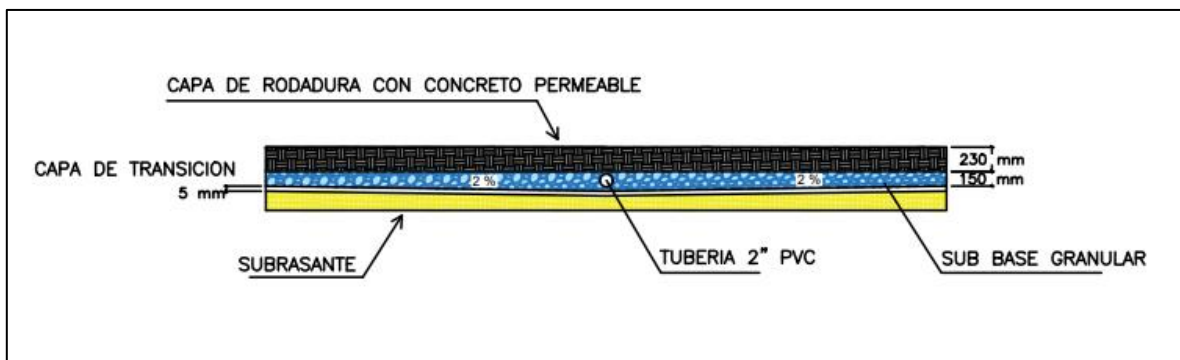


Figura 15

Propuesta de pavimento permeable final con conducción de aguas según Catálogo Estructural del MTC



O.E. 4 Determinar los impactos meteorológicos capaces de ser mitigados con la aplicación de pavimentos permeables en el entorno urbano.

Capacidad del concreto permeable frente a fenómenos meteorológicos regionales

El fenómeno meteorológico analizado fue la precipitación anual que recibe la ciudad de Trujillo; ergo, se consideró el estudio de la cuenca hidrológica del Río Moche. Este último sirvió para precisar la intensidad de lluvia esperada que puede recibir la ciudad entre un periodo horario de 24 horas para tiempos de retorno de 2, 5 y 10 años, y expresarla de forma gráfica a través de las Curvas IDF. La intensidad de lluvia, medida en milímetros por hora (mm/hr), sirvió para confrontar las características mecánicas e hidráulicas alcanzadas por los materiales y mezclas en el laboratorio. Asimismo, con la intención de evaluar la resistencia y desempeño de la estructura a lluvias máximas se excedió el tiempo de retorno en 10 años al periodo diseño de la carretera de firme rígido permeable por lo que se tuvo, también, a un tiempo recurrencia de 30 años. La herramienta utilizada para la delimitación hidrológica fue el Módulo de Estimación de Curvas de Intensidad – Duración y Frecuencia que presenta el SENAMHI.

Los valores de intensidad de lluvia presentados en la Figura 16 resume el comportamiento probable que tendrán las precipitaciones en la localidad de Trujillo para tiempos de retorno de 2, 5, 10 y 30 años, siendo los valores de la primera hora los de mayor repercusión. Para un tiempo de retorno de 30 años se tuvo que la intensidad en la primera hora de lluvia fue de 8.40 mm/hr; en tanto que, fue de 5.10, 3.70 y 2.60 mm/h para los periodos de retorno de 10, 5 y 2 años, correspondientemente.

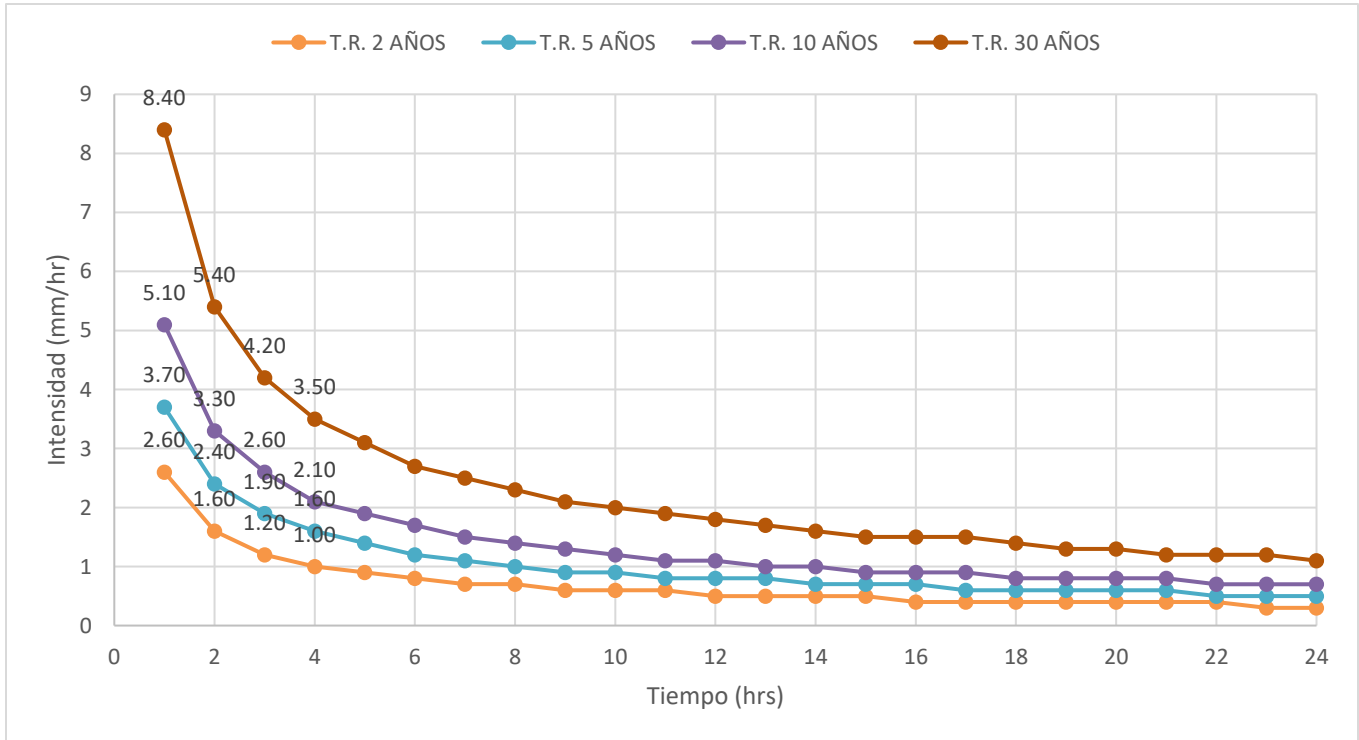
Los datos de permeabilidad que puede afrontar el concreto de Diseño N.º 1, N.º 2 y N.º 03 fueron de 120 mm/m, 18 mm/m y 16 mm/m, respectivamente. Por lo que, el total de

diseños cumplen con suplir la necesidad de drenaje que necesita Trujillo. Sin embargo, el Tercer Diseño es el único que puede ser aplicado como capa externa del pavimento dado que cuenta con una resistencia a ser comprimido de 315 kg/cm² y un módulo de rotura capaz de soportar 71.8 kg/cm².

Por lo que, los fenómenos meteorológicos capaces de ser mitigados están en orden a la facultad que tiene la estructura a soportar cargas vehiculares y la de drenar las masas de agua producto de la lluvia o la cotidianidad de las personas con el uso de este recurso. Como investigadores se identificó que el pavimento permeable propuesto para la Av. Antenor Orrego puede mitigar: el hidropneumático de los vehículos ante horas de lluvia, el deterioro de estructuras viales y de esparcimiento causado por precipitaciones, las escorrentías superficiales; y, brindar el control de lluvias en un periodo de retorno de hasta los 30 años, puesto que, fue el máximo determinado para el proyecto. De la misma manera, el pavimento rígido permeable planteado, al considerar la dualidad de servicio, alivia la acumulación de calor y atenúa la alteración del ciclo natural del agua al permitir el reingreso de esta al subsuelo.

Figura 16

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la cuenca hidrográfica del Río Moche



Nota. Se observa la intensidad de lluvia estimada según periodo horario de 24h para un tiempo de retorno de 2, 5, 10 y 30 años, respectivamente. Se resaltó las cuatro primeras horas de precipitación para cada tiempo de retorno puesto que son los valores que mayor prevalencia tendrán sobre la estructura de pavimento permeable proyectada. Al considerar el valor máximo de intensidad de lluvia de 8.40 mm/hr perteneciente a un periodo de recurrencia de 30 años y evaluarlo sobre la capacidad de permeabilidad de los diseños de concreto, la totalidad de ellos cumple con drenar dicho margen de agua.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

Los agregados participantes en la elaboración del pavimento permeable propuesto fueron dos: la piedra chancada de huso 67, como agregado grueso, y la arena gruesa zarandeada, como agredo fino. Las propiedades físicas alcanzadas por cada material, evaluadas con su respectiva Norma Técnica, sirvieron para distribuir su participación dentro del paquete estructural final. El análisis de granulometría del agregado grueso comprendió un TMN de 3/4” y un módulo de finura de 6.53, lo que cumple con los parámetros esperados por la NTP 400.012; sin embargo, al incluir el análisis del porcentaje de material que pasa según los límites de la NTP 400.037 no cumplen en su totalidad, lo que genera que no sea un material homogéneo en su curva esperada. Pero, al ser por márgenes pequeños y dentro de los límites de error de un material comprado a granel la muestra de material grueso fue aceptada. Respecto al agregado fino, se alcanzó un módulo de finura de 2.50 y un desempeño de curva granulométrica idónea, pues cumple con lo dictado por las normas previas descritas. En cuanto al peso unitario suelto y compactado, se definió para la piedra chancada de huso 67 valores de 1625 kg/m³ y 1785 kg/m³; mientras que, para la arena gruesa zarandeada se determinó valores de 1670 kg/m³ y 1917 kg/m³, correspondientemente. Por otra parte, en lo que se refiere al peso específico y absorción, el agregado grueso tomó valores de 2.56 gr/cm³ para una base seca y 1.4% en cuanto a la masa de agua que puede alojar la partícula de material; el agregado fino, a diferencia de, mostró estimaciones de 2.56 gr/cm³ y 0.8%. En relación al contenido de humedad, tanto la piedra chancada de huso 67 como la arena gruesa zarandeada mostraron valores parecidos siendo de un 0.70 y 1%. A diferencia del ensayo

granulométrico los posteriores según su documento técnico pertinente no parametrizaron valores fijos; ergo, las propiedades físicas de los agregados no requirieron mayor escrutinio.

Las características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable estudiadas fueron seis, tres respecto a su estado fresco y tres para su estado endurecido; siendo que, cada una de ellas fue evaluada con su respectiva Norma Técnica y especificada según su diseño matriz. El diseño de mezcla fue hecho para tres configuraciones de concreto permeable con porcentajes de vacíos determinados en 13, 15 y 17, su elaboración empleó el uso del Reporte de Concreto Permeable de la ACI 522R, el cual ayudó a definir el peso de cada material empleado para la elaboración de 1 m³ de concreto. Cada diseño de mezcla tuvo una proyección de 30L, el cual cumple con satisfacer el requerimiento de 1 pie³ o 28L que especifica la NTP 339.036 para el muestreo correcto de concreto. Las características mecánicas en estado fresco del concreto se resumen en la Tabla 12 y se observa que los tres diseños de mezcla alcanzan características similares. Respecto al revenimiento, la totalidad de las muestras alcanzaron una trabajabilidad fluida, puesto que logran un asentamiento mayor o igual a 5 pulgadas, pese a que se contó con proporciones de agua/cemento bajas entre 0.30 y 0.34; el aditivo plastificante con participación del 1% en el volumen de cada mezcla permitió mejorar la trabajabilidad de amasado del concreto en su estado fresco. La Norma ACI 211 recomienda revenimientos de 8 cm o 3.25 pulgadas para el asentado de concreto en losas y pavimentos, empero, no considera concretos de usos especiales; por otro lado, el ACI 522R10 comenta que para concretos permeables sin adición de aditivos se desempeña un *slump* cercano a cero. No obstante, los valores obtenidos demuestran que el uso de aditivos plastificantes en su correcta proporción influye positivamente en la trabajabilidad del concreto permeable, debido a que mejoran su vaciado y compactación. Los

valores de temperatura de las muestras de concreto poroso al término de su mezclado alcanzan rangos entre 20 y 22.5 °C, lo que evidencia una temperatura adecuada para la colocación en campo guardando concordancia con la ACI 318 y ACI 301 pues un concreto al momento de su colocación no debe exceder temperaturas de 95 °F o 35 °C. Concerniente al peso unitario, las muestras de concreto permeable muestran una densidad descendente conforme aumenta el contenido de vacíos; se tuvo para el concreto con 13% vacíos un peso unitario de 2426 kg/m³, mientras que, para el concreto con 15 y 17% de vacíos un peso unitario de 2380 y 2360 kg/m³, respectivamente. Al seguir el procedimiento del varillado estándar para concreto según la NTP 339.034 se tuvo valores que exceden el peso unitario tradicional de un concreto permeable; sin embargo, si se toma en cuenta la NTP 339.230 con una compactación con martillo próctor los datos se acercan más a la naturaleza de un concreto permeable fresco y su densidad teórica de diseño con valores entre los 1750 kg/m³ a 2100 kg/m³. Por otra parte, en cuanto a las características mecánicas en estado endurecido del concreto se resumen en cinco tablas: en la Tabla 13, 14 y 15 se muestran los valores de resistencia a compresión del concreto, en la Tabla 16 los datos de resistencia a la flexión y en la Tabla 17 las cuantías de permeabilidad. Los valores de resistencia a la compresión que alcanzaron los especímenes cilíndricos de concreto estuvieron dentro de los rangos típicos de fuerza a la compresión que data el ACI 522R10, a los 28 días de curado se logró para el diseño permeable con 13% de vacíos una resistencia de 220 kg/cm², por el contrario, para el diseño con 15% de vacíos una resistencia de 263 kg/cm² y para el diseño con 17% de vacíos una resistencia de 315 kg/cm². Sin embargo, el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: sección Suelos y Pavimentos especifica que la resistencia mínima estipulada es la de 280 kg/cm²; por lo que, el diseño apto para la aplicación en losas de

pavimentos es el Diseño de Mezcla N.º 3 perteneciente al concreto permeable con 17% de vacíos. Concerniente a la resistencia a la flexión o módulo de rotura se tuvo que los tres diseños de mezcla de concreto satisficieron el requisito para ser utilizados como capa externa del pavimento, puesto que, consiguieron el valor mínimo estipulado como resistencia flexural por el Manual Suelos y Pavimentos 2014 que es de 40 kg/cm². Ahora bien, si consideramos también la compresión, el que único que satisface ambos requerimientos es el Diseño N.º 3; por lo que, se puede afirmar que es el que logra mejor desempeño estructural, tanto a la compresión como flexión, y el que mejor se posiciona para ser aplicado en vías urbanas. En lo que respecta a la permeabilidad, los valores muestran que a mayor cantidad de partículas finas empleadas en la elaboración de un concreto permeable, menor capacidad de percolación y drenaje tendrá en su estructura; en virtud que, los interporos conectados de la estructura del espécimen se ven obstruidos por la presencia de partículas de menor tamaño. El concreto con 13% de vacíos y con 5% de finos tuvo una permeabilidad de 120 mm/m, en tanto que, el concreto con 15% de vacíos y con 10% de finos y el concreto con 17% de vacíos y con 15% de finos tuvieron una filtración de 18 mm/m y 16 mm/m, correspondientemente. La ACI 552R detalla que los concretos permeables generalmente están entre el rango de 0.14 cm/s a 1.22 cm/s o 84 mm/min a 732 mm/m, esto debido al casi inexistente uso de agregado fino; por lo que, se comprueba que la existencia de finos disminuye gradualmente el drenaje en beneficio de obtener mejor trabajo estructural.

El diseño estructural del pavimento rígido permeable nació por medio de la aplicación de la normativa y metodología del Manual Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. La Avenida Antenor Orrego fue la vía materia de investigación con su tramo total de 1.590 km que está entre la Av. Jesús de Nazareth y Ca. Los Colibríes;

el estudio de tráfico vial tasó el Índice Medio Diario Anual en 4 mil 810 vehículos por día, lo que según el Manual de Suelos y Pavimento lo clasifica como una carretera dual o multicarril. En el diseño del paquete estructural del pavimento, resultado de la aplicación de la metodología AASHTO93, se tuvo un periodo de diseño de 20 años; por lo que, se estimó que 4 millones 588 mil 372 ejes equivalentes de 8.2 tn recorrerían por su estructura, asimismo, se clasificó al pavimento con la definición TP7. El vehículo de tránsito liviano de mayor incidencia en el deterioro de su esqueleto fue la configuración Pick Up puesto que genera 7 mil 82 ejes equivalentes; a diferencia, el vehículo de tránsito pesado de mayor alcance en daño fue el de configuración C2 debido a que causa 1 millón 521 mil 800 ejes equivalentes. En lo que respecta al diseño de capas del pavimento, se logró calcular, por medio de iteraciones con la Ecuación 19, una configuración de 160 mm de capa superficial drenante y una capa de subbase granular de 150 mm dando como suma un espesor de 310 mm; en otro orden de ideas, el Catálogo Estructural del MTC hace contraste al aumentar el espesor de la capa superficial en 70 mm por motivos de reforzar el factor de seguridad. Así, se tuvo por diseño estructural un pavimento de 380 mm dividido en 230 mm de capa superficial drenante y 150 mm de subbase granular, se añadió, además, una tubería de 2” perforada ubicada en la subbase granular y una capa de transición de 50 mm de arena gruesa con pendiente del 2%.

Los impactos meteorológicos capaces de mitigar en el entorno urbano de la ciudad para los cuales fue concebido el diseño de pavimento permeable fueron los que se generaron producto de las precipitaciones que recibe Trujillo de su cuenta hidrográfica principal que es la del Río Moche. La Figura 16 muestra que la intensidad de lluvia estimada que recibirá Trujillo según periodo horario de 24h, para un tiempo de retorno de 2, 5, 10 y 30 años, será

en el curso de la primera hora la intensidad máxima de precipitación. Para un tiempo de retorno de 30 años se estimó en 8.40 mm/hr la intensidad máxima de lluvia; mientras que, para un tiempo de recurrencia de 10, 5 y 2 años se calculó en 5.10 mm/hr, 3.70 mm/hr y 2.60 mm/hr. De manera que, al considerar la permeabilidad que ofrece el concreto permeable de 13, 15 y 17% de vacíos vemos que todos cumplen con compensar la exigencia de drenaje de la ciudad de Trujillo; sin embargo, al añadir de por medio la resistencia mecánica del concreto a la compresión y tracción, el Diseño N.º 3 de 17% de vacíos es el que mejor rendimiento muestra. Como resultado, los impactos meteorológicos capaces de ser mitigados por un pavimento permeable están en la virtud de que la estructura asegure un tránsito de vehículo continuo durante su vida útil y sea competente de drenar las masas de agua que discurren por sus capas. Así pues, el pavimento rígido permeable propuesto para la Av. Antenor Orrego puede atenuar el hidroplaneo de los vehículos ante horas de lluvia, el deterioro de estructuras viales y de esparcimiento causado por precipitaciones, las escorrentías superficiales; y, brindar el control de lluvias en un periodo de retorno de hasta los 30 años. Lo comentado guarda relación con los beneficios que trae la aplicación de pavimentos permeables sobre los convencionales según el ACI 522R10.

El objetivo principal de este estudio fue analizar la influencia de los pavimentos como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo en 2022; ergo, se hizo necesario la confrontación de la información obtenida por medio de los antecedentes. Estrada y De la Cruz (2017) en su trabajo de investigación concluyen que la aplicación del concreto poroso en los pavimentos permeables está limitada a las zonas de tráfico ligero por su baja resistencia a la compresión. En otro de ideas, nuestros datos nos permiten afirmar que lo comentado por los autores es parcialmente cierto; ya que,

generalmente en la proporción de mezcla de un concreto permeable se incluye un alto contenido de vacíos, así como, un nulo o bajo uso del agregado fino lo que deriva en una débil resistencia a la compresión. Pero, al buscar una relación óptima entre contenido de vacíos, uso de agregado fino y la adición de aditivos que incidan en la resistencia del concreto en estado endurecido se puede lograr valores que satisfagan las resistencias mínimas de pavimentación para tráficos pesados. Otro aspecto en lo que inciden es que la gradación del agregado influye en las propiedades mecánicas y en la permeabilidad del concreto poroso. Lo mencionado es refrendado por nosotros; porque, cada tipo de huso granulométrico del agregado repercute en las propiedades físicas del concreto y su desempeño para desaguar la escorrentía. Estrada y De la Cruz (2017) al usar husos granulométricos N.º 4, N.º 6 y N.º 8 obtuvieron en su mejor desempeño resistencias a la compresión promedio de 49.96 kg/cm², 91.58 kg/cm² y 124.72 kg/cm², y coeficientes de permeabilidad de 1575 mm/min, 1379 mm/min y 780 mm/min, correspondientemente; en cambio, nuestra investigación con un agregado grueso de huso granulométrico 67 se logra en su mejor desempeño 315 kg/cm² de resistencia a la compresión y 16 mm/min de permeabilidad.

Esquerre y Silva (2019) en su investigación afirman que para alcanzar un diseño apropiado para el norte peruano el peso del material cementante debe ser de 465 kg por m³, relación de agua-cemento de 0.30 con un porcentaje de 13% de vacíos y aditivo reductor de agua de alto rango al 0.24% del peso del material cementante. El diseño de mezcla descrito cumplió con lograr e incluso superar la resistencia a la compresión de 280 kg/cm², un módulo de rotura de 40 kg/cm² y filtración de 60 litros/m²/min que exige el Manual de Suelos y Pavimentos y la norma ACI 522 R-10. En tal sentido, lo comentado guarda relación cercana con lo obtenido en esta investigación pues nuestro diseño propuesto para Trujillo (noroeste

del Perú) utilizó 381 kg por m³ de material cementante, una relación agua-cemento de 0.34, un porcentaje de vacíos de 17% y aditivo plastificante SikaCem Plastificante con 1% de repercusión en la mezcla; este diseño alcanzó resistencias a la compresión y flexión de 315 kg/cm² y 71.8 kg/cm², con un drenaje de 16 mm/min. De la misma manera agregaron que es posible utilizar concreto drenante como capa de rodadura en vías urbanas de tránsito moderado, bajo exigencias mecánicas y de performance. Reafirmamos ello, porque cada proyecto que busque aplicar al concreto permeable como capa de rodadura de vías urbanas de tránsito liviano, moderado o alto debe siempre guardar sintonía y exigencias con las normas técnicas de cada país en razón de que cada proyecto tiene sus particularidades y circunstancias.

Loyola (2017) en su investigación para dar solución a los problemas de agua de mar en la Calle Prolongación Malecón Grau de Chimbote diseñó un paquete estructural de pavimento permeable utilizando la metodología AASHTO 93; obteniendo así un pavimento de espesor de 550 mm dividido en dos capas, una capa externa de concreto permeable con 250 mm de espesor y una capa subyacente de base granular de 300 cm con piedra 1/2". En contraste con nuestros datos, el pavimento permeable propuesto surgió para crear de Trujillo una ciudad resiliente al paso de impactos meteorológicos derivados de las precipitaciones; en consecuencia, al servirse de la metodología AASHTO 93 descrita en el Manual de Suelos y Pavimentos se tuvo un espesor final de pavimento permeable de 380 mm, 230 mm para la capa externa del mismo y 150 mm como subbase granular, para lo cual se agregó una capa de transición a la subrasante de 50 mm compuesta de arena gruesa. Al mismo tiempo, recomendó que se debe tener en cuenta que el agregado grueso conserve su tamaño homogéneamente, pues puede suceder que perjudique las propiedades del concreto si

contuviese piedras de otras gradaciones. Lo dicho por ellos, es tomando en cuenta en nuestro proyecto pues el agregado grueso de huso 67 que se empleó en el diseño de mezclas, varió respecto a los límites establecidos en la NTP 339.037; sin embargo, al ser por pequeños márgenes, debido a la compra de gran cantidad del mismo, no se terminó de descartar, empero, si hubiesen sido mayores, se hubiesen descartado.

Guerra (2019) afirmó que en una estructura vial de poco tránsito el pavimento permeable se puede utilizar también como drenaje urbano pues proporciona una infiltración excelente; a la vez que, se logra un drenaje urbano sostenible para la ciudad. Su conclusión está en relación con lo obtenido en esta investigación pues la capacidad de infiltración o drenaje que ofrece un pavimento permeable es en síntesis la fusión entre una estructura vial que permite el paso continuo de los vehículos con una estructura que deriva y drena el agua. Asimismo, su aplicación permite que la ciudad incremente su capacidad de resiliencia frente a fenómenos meteorológicos y dispone que haya equilibrio entre la naturaleza y el hombre.

Por otra parte, Vela y Cruz (2019) afirma que el espesor de un pavimento es definido por las necesidades estructurales del sistema; por consiguiente, no solo la permeabilidad es el factor determinante sino también se considera la resistencia mecánica que presentan los materiales. Los autores presentaron para Molinopampa un pavimento permeable de 650 mm de espesor que puede hacer frente a intensidades de lluvia de 22.94 mm/hr; lo que, en contraparte suya, nosotros presentamos para Trujillo un pavimento permeable de 380 mm de espesor capaz de resistir intensidades de 8.40 mm/hr. Se confirma así, que cada pavimento permeable presenta diferentes exigencias estructurales dependiendo de la zona que se plantee ejecutar puesto que Amazonas, región a la que pertenece Molinopampa, y La Libertad

exhiben tipos de suelo, propiedades físicas de agregados, tránsitos, características ambientales y precipitaciones dispares.

Referente a los impactos meteorológicos, Flores (2014) resuelve que la técnica constructiva del pavimento permeable logra la posibilidad de hacer uso del agua de lluvia almacenada en la subbase para el riego de zonas verdes y el abastecimiento para maquinaria pública de limpieza de calles, además, de brindar mayor seguridad al eliminar el agua superficial. Lo descrito se refleja en los resultados conseguidos de esta tesis dado que el diseño estructural de pavimento propuesto disminuye el hidroplaneo de los vehículos y brinda el control de lluvias, tanto para servir en su reintegro o su posible almacenaje y distribución.

Los valores de desempeño mecánico y de drenaje mostrados por el pavimento rígido permeable en esta investigación junto al control de lluvia que brinda para la disminución de impactos meteorológicos que inciden periódicamente permite validar la hipótesis planteada indicando que los pavimentos permeables influyen positivamente en la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo en 2022.

Limitaciones

La principal limitante presentada en este estudio fue la falta de una norma técnica nacional referente al diseño, preparación, colocación, consolidación, curado y cuidado del pavimento rígido permeable. Esto condiciona que investigaciones de ámbito nacional tengan que ser consultadas con normativas extranjeras que no consideran los factores de concepción que una estructura vial debe tener en territorio nacional. Dentro de aquellos factores son la protección ante climas extremos de frío y calor, así como, el grado de compactación de subrasante según tipo de suelos. Sin embargo, la oportunidad de mejora que tienen otras investigaciones es no dejar atrás la línea de estudio hasta concienciar a las casas académicas de la importancia que tiene la creación de una normativa nacional para ampliar la aplicación de un pavimento rígido permeable como herramienta para impulsar ciudades resilientes al paso del clima.

Implicancias

La implicancia encontrada fue la consulta perenne al Reporte de Concreto Permeable del Comité 522 del Instituto Estadounidense del Concreto pues suple la necesidad de una guía oportuna para el diseño de un pavimento permeable. Esta norma desarrolla un procedimiento de diseño de mezcla, provee rangos típicos de proporción de materiales y categoriza las propiedades mecánicas e hidráulicas dentro de márgenes esperados. De la misma manera, se escudriñó el Manual de Suelos y Pavimentos del MTC para la estructuración de un estudio de tráfico vial y elaboración del paquete estructural final.

Conclusiones

Se analizó la influencia que poseen los pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo concluyendo que su aplicación trae beneficios para el control de lluvias sin abandonar su principal virtud de permitir el paso continuo de vehículos durante su vida útil. La propuesta de pavimento permeable presentó la oportunidad de mejorar la convivencia humana con la infraestructura vial que dispone la ciudad de Trujillo debido a que al ofrecer una configuración porosa que aminora la escorrentía de agua a la vez que faculta el tránsito común de vehículos genera una seguridad al paso del peatón como de los vehículos; su aplicación, asimismo, contribuye con el medio natural generando la conservación del ciclo del agua, pues habilita el marco idóneo para el reintegro del agua al subsuelo, y acerca a Trujillo a ser una ciudad sostenible.

Se estableció las propiedades físicas de los agregados involucrados en la fabricación del pavimento permeable. La piedra chancada de huso 67, como agregado grueso, alcanzó un TMN de 3/4" y un módulo de finura de 6.53; mientras que, la arena gruesa zarandeada, como agregado fino obtuvo un módulo de finura de 2.50. Respecto al peso unitario de los agregados, se tuvo un peso unitario suelto y compactado de 1625 kg/m³ y 1785 kg/m³ para la piedra chancada; por su parte, el peso unitario suelto y compactado de la arena gruesa fue de 1670 kg/m³ y de 1785 kg/m³. Concerniente al peso específico de los materiales pétreos, el agregado grueso al igual que el agregado fino mostraron un valor de 2.56 gr/cm³; empero, en la absorción lograron valores distintos siendo 1.4% y 0.80%, respectivamente. En cuanto al contenido de humedad, la piedra de huso 67 consiguió un resultado de 0.70% y la arena

gruesa zarandeada un resultado de 1%. Se concluye que la caracterización de agregados destinados a la fabricación del pavimento permeable permite distribuir su participación dentro del paquete estructural final, así como, desarrollar su dosificación en el diseño de mezcla de concreto.

Se determinó las seis características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable, tres respecto a su estado fresco y tres para estado endurecido según dictó la Normativa Técnica Peruana y el Instituto Estadounidense de Concreto; asimismo, se elaboró tres diseños de mezcla de concreto poroso cada uno con diferentes porcentajes de vacíos definidos en 13, 15 y 17. El que presentó mejor desempeño fue el Diseño de Mezcla N.º 3 correspondiente a un concreto permeable con porcentaje de vacíos de 17. La distribución que tuvo por m³ fue: por material cementante, 381.70 kg, por contenido de agua, 138.016 L, por agregado grueso de huso 67, 1249.002 kg, por arena gruesa zarandeada, 221.069 kg, por aditivo plastificante (SikaCem Plastificante) 3.817 kg, por contenido de vacíos, 17%. Este mostró en su estado fresco una temperatura de 22.5 °C, un revenimiento de 5.50 pulgadas y un peso unitario de 2426 kg/m³, mientras que, en su estado endurecido logró una resistencia a la compresión de 315 kg/cm², una resistencia a la flexión de 71.8 kg/cm² y un coeficiente de permeabilidad de 16 mm/min. Se concluyó que, para la capa externa del pavimento permeable propuesto para la Av. Antenor Orrego en la ciudad de Trujillo, considerando el equilibrio mecánico y de drenaje, el diseño de mezcla a utilizar es el N.º 3: concreto poroso con porcentaje de vacíos de 17.

Se elaboró la sección estructural del pavimento rígido permeable para la Avenida Antenor Orrego según los parámetros exigidos por el Manual de Suelos y Pavimento del Perú y mediante la metodología de diseño estadounidense AASHTO 93. La composición de capas consistió en dos secciones, como capa de rodadura de concreto un espesor de 160 mm y como subbase granular un espesor de 150 mm. En contraste, el Catálogo Estructural del Ministerio de Transportes y Comunicaciones consideró un diseño estructural de 380 mm dividido en: 230 mm para la capa superficial de rodadura y 150 mm de subbase granular; a lo que, como autores, se le agregó una capa de transición, entre la subbase y la subrasante, de 50 mm compuesto de arena gruesa con una pendiente al interior del 2%; para conducción central de aguas, se añadió una tubería perforada de 2”. Se concluyó que, ambos diseños de sección estructural de pavimento poroso se pueden aplicar en la Av. Antenor Orrego de la ciudad de Trujillo con el fin de proyectar una vía urbana de 20 años de vida útil pues guardan sintonía con la normatividad vigente.

Se determinó los impactos meteorológicos capaces de ser mitigados, producto de las precipitaciones que recibe de la cuenca hidrográfica del Rio Moche, en el entorno urbano de Trujillo con la aplicación del pavimento permeable. Se concluye que estos están en orden a la facultad que tiene la estructura a soportar cargas vehiculares y la de drenar las masas de agua resultado de la lluvia o la cotidianidad de las personas con el uso de este recurso. Los problemas que el pavimento permeable atenúa son: el hidropneumático de los vehículos, el deterioro de estructuras viales causado por precipitaciones y las escorrentías superficiales. Asimismo, brindó el control de lluvias y disminuyó la alteración del ciclo natural del agua al permitir el reingreso de esta al subsuelo.

Recomendaciones

Se recomienda que, como nación se sea independiente en el uso de metodologías y normas técnicas, el Perú debe abordar y desarrollar una estrategia de diseño y amalgamar consensos propios en relación al diseño, preparación, colocación, consolidación, curado y cuidado del pavimento rígido y concreto permeable.

Asimismo, desde el punto de vista metodológico, se invita a que catedráticos, profesionales y técnicos del rubro de la Ingeniería Civil tomen por meta el trabajo de expandir el conocimiento, brindar trasfondo en el desarrollo y ampliar los métodos de ensayos para un pavimento y concreto poroso; en virtud que, sus características distan mucho de seguir patrones que un pavimento y concreto convencional desempeñan.

De la misma manera, desde el punto de vista académico – práctico, se insta a que el Gobierno Regional de La Libertad, universidades públicas y privadas, así como, empresas de construcción local enfoquen su brazo de acción en la investigación y aplicación formal de firmes rígidos permeables en la ciudad de Trujillo en vías vehiculares y centros de esparcimiento; para, de esta manera, poder acercar a que la ciudad tome un nuevo atractivo turístico y cultural en volver a ser una ciudad amigable con el ecosistema tal como lo hacían nuestros antepasados Moches. Se puede llegar a hacer que Trujillo sea un referente nacional en la construcción de ciudades sostenibles.

REFERENCIAS

- Abusada Salah, R. (18 de octubre de 2018). El pobre estado de nuestra infraestructura. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/opinion/columnistas/pobre-nuestra-infraestructura-roberto-abusada-salah-noticia-568823-noticia/>
- Amorós Morote, C. E. y Bendezú Ulloa, J. C. (2019). *Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm²* [Tesis de Grado, Universidad Peruanas de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/626313>
- Arias Gonzales, J. S. y Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y Metodología de la Investigación*. Enfoques Consulting EIRL. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2260>
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación: introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme C.A.
- Ayquipa Espinoza, L. E. y Vilca Benavente, B. N. (2020). *Propuesta de diseño de un pavimento rígido conformado de agregados marginales con presencia de cenizas volcánicas para el proyecto: Mejoramiento de carretera Moquegua – Omate - Arequipa, Tramo II, sector I* [Tesis de Grado, Universidad Privada de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/652387>
- Ayuque Gómez, E. (2019). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido utilizando cementos comerciales en la ciudad de Huancavelica* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3178>

- Campos y Covarrubias, G. y Lule Martínez, N. E. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 8(13), 45 – 60. Universidad La Salle de Pachuca.
- Cárdenas Gutiérrez, E., Albiter Rodríguez, Á., Jaimes Jaramillo, J. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *Ciencia Ergo Sum*, 24(2), 173 - 184. <https://doi.org/10.30878/ces.v24n2a9>
- Cocero, D., Botey, R., Flores, C., Rodríguez, C., Roa, A., Cano, D., Soriano, J., Chazarra, A., Romero, R. y Gutiérrez, D. (4 – 6 de julio de 2018). *Los fenómenos meteorológicos adversos y su impacto en la sociedad* [Sesión de Conferencias]. Universidad Nacional de Educación a Distancia, San Idelfonso, Segovia, España.
- Connors, J. P., Galletti, C. S., y Chow, W. T. (2013). Landscape configuration and urban heat island effects: Assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 28(2), 271–283. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9833-1>
- Delgado Berrocal, S. (2019). Paisajes de altura: los andenes del distrito de Cabana, Valle del Sondondo, Perú. *Revista Proyecto, Progreso, Arquitectura*, N21, 72-85. DOI: <https://doi.org/10.12795/ppa.2019.i21.04>
- Enesey Klemenc, S. (2010). Pretty and Pervious: Decorative Options for Pervious Concrete. *Concrete Decor*, 10 (2). <https://www.concretedecor.net/departments/concrete-placing/decorative-options-for-pervious-concrete/>

- Esquerre Silva, M. M. y Silva Silva, H. W. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú* [Tesis de Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. DOI: <https://doi.org/10.19083/tesis/625617>
- Estrada Cárdenas, J. E., De la Cruz, Y. (2017). *Pavimientos Permeables como Alternativa de Drenaje en las principales Calles de La ciudad de Ayacucho, Perú* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH)]. Ayacucho, Perú. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1975>
- Falcon Baldeón, F. A. y Santos Nieto, J. M. (2016). *Diseño de un pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Chullqui, para el drenaje urbano en estacionamientos en la ciudad De Huánuco* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/1289>
- Flores Moras, M. A. (2014). *Construcción del aparcamiento de firmes permeables de la Guía, Gijón* [Tesis de Grado, Universidad de Cantabria]. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria.
- Freire Delgado, B. y Díaz Ortiz, J. E. (2008). Manejo del recurso hídrico en culturas precolombinas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (7), 75-83. <http://hdl.handle.net/10893/2604>
- Gallardo Echenique, E. E. (2017). *Metodología de la Investigación*. Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4278>

Gonzales, T. (2017). Trujillo: edificaciones peligran tras Fenómeno El Niño costero [Fotografía]. Radio Programas Del Perú. <https://rpp.pe/peru/la-libertad/trujillo-edificaciones-peligran-tras-el-nino-noticia-1054610>

Guerra Chayña P. R. (2019). *Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiani del sector nor-oeste de la ciudad de Juliaca* [Tesis de Grado - Universidad Peruana Unión (UPeU)]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3013>

Guizado Barrios, A. X. y Curi Grados, E. R. (2017). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica Del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9831>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6ta Edición. México. McGraw - Hill / Interamericana Editores, S.A.

Instituto Estadounidense del Concreto. (2011). *Report on Pervious Concrete*. Comité ACI 522.

Instituto Nacional de Defensa Civil, (2017). *Compendio Estadístico Del INDECI 2017 Gestión Reactiva*. Biblioteca Nacional del Perú N.º 2017 - 14971. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201802271714541.pdf>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *“Estado de la población peruana 2020”*. Fondo de Población de las Naciones Unidas.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1743/Libro.pdf

Jato, D., Andrés, V., Rodríguez J., Castro, D. (2019). Pavimentos urbanos permeables. *Revista de Obras Públicas*, 166 (3607). 32-36.

León, M. P. y Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista ingeniería de construcción*, 25(2), 215 – 240. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>

Li, X.-J., Deng, J.-X., Xie, W.-J., Jim, C.-Y., Wei, T.-B., Lai, J.-Y. y Liu, C.-C. (2022). Comprehensive Benefit Evaluation of Pervious Pavement Based on China's Sponge City Concept. *Water*, 14(9), 1500. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14091500>

López, P. L. (2004). Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69 – 74. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012

Loyola Lara, J. M. (2017). *Propuesta de un Pavimento de Concreto Permeable $F'c= 210$ kg/cm² para la Prolongación Malecón Grau en el Pueblo Joven Florida Baja y Pueblo Joven Florida Alta, Chimbote - 2017* [Tesis de Grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/12226>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos*. Biblioteca Nacional del Perú N.º 2014-08985.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Orientaciones básicas sobre el Ordenamiento Territorial en el Perú*. (2 edición). Biblioteca Nacional del Perú N.º 2015-10791.

Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J. y Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la Investigación: cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*. Quinta edición. Ediciones de la U.

Obando Gamboa, C. J. (2017). Influencia del agua en el desempeño de los pavimentos: lluvia ácida. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 5(2), 190-206. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.5.2.2761>

Ravello Bolo, M. R. L. y Baldeón Condori, A. S. (2020). *Propuesta de concretos permeables para la captación de agua de lluvia en pavimentos de estacionamientos de hospitales en Arequipa* [Tesis de Grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/652418>

Ríos Contreras, A. M. (2022). *Determinación de los tiempos de corte para juntas de construcción en pavimentos rígidos, Trujillo 2022* [Tesis de Grado, Universidad Privada del Norte (UPN)]. <https://hdl.handle.net/11537/31347>

Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO.

Rodríguez Parisca, O. S. (2018). *Conservación de suelos y agua: una premisa del desarrollo sustentable*. (2da edición). Universidad Central de Venezuela. <http://saber.ucv.ve/omp/index.php/editorialucv/catalog/download/11/7/44-1?inline=1>

- Rojas López, L.A (2019). *Propuesta de diseño de los pavimentos de la Calle Fernando Belaúnde Terry (km 0+000 a 1+000) Provincia de Jaén, Región Cajamarca, 2019* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo].
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14756>
- Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., y Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44).
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.cuis>
- Sánchez Vásquez, O. A. (2019). *Diseño de pavimento empleando el método AASHTO 93 para el mejoramiento de la carretera Ayacucho - Abancay. Tramo: Ayacucho km. 0+000 – km. 50+000* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Federico Villareal].
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3306>
- Secretaria General de Organización de Estados Americanos. (1987). *Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo*.
<https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea32s/begin.htm#Contents>
- Torre, A. (2004). *Curso básico de Tecnología de Concreto*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima
- Trujillo Uribe, S. (2012). *Estimación de temperatura superficial en el valle de Aburrá mediante técnicas de percepción remota* [Tesis de Grado, Universidad EIA].
<https://repository.eia.edu.co/handle/11190/409>

Unión Andina de Cementos. (2022). *Compromiso con el Ambiente y la Biodiversidad*.

<https://unacem.pe/sostenibilidad/gestion-ambiental/ambiente-y-biodiversidad/>

Vargas Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155 - 165.

<https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>

Vega Malagón, G., Ávila Morales, J., Vega Malagón, A. J., Camacho Calderón, N., Becerril Santos, A. y Leo Amador, G. E. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(15).

<https://core.ac.uk/reader/236413540>

Vela Tafur, E. y Cruz Goñas, L. (2018). *Pavimentos permeables como sistema alternativo para el drenaje urbano en la localidad de Molinopampa, Amazonas, 2018* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM)]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2071>

Wang, G. C. (2016). *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction*. Woodhead Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03995-0>

Wang, Q., Ma, Z., Yuan, X., Wang, J., Mu, Z., Zuo, J., Zhang, J., Hong, J., Wang, S. (2019).

Is cement pavement more sustainable than permeable brick pavement? A case study for Jinan, China. *Journal Of Cleaner Production*, 226, 306 – 315. ISSN 0956 – 6526.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.059>

ANEXOS

ANEXO N.º 01. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Agregado grueso – Piedra chancada 3/4” Huso 67

Tabla 23

Análisis granulométrico del agregado grueso de piedra chancada 3/4” Huso 67

Granulometría agregado grueso - Huso 67									
Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límites Huso 67 (NTP 400.037)		Datos de muestra	
						Mínimo	Máximo		
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	Características físicas	
1"	25.00	42.6	0.9	0.9	99.1	90	100	Tamaño Máximo Nominal 3/4"	
3/4"	19.00	623.1	12.5	13.3	86.7			Cont. Humedad	0.70%
1/2"	12.50	1446.9	28.9	42.3	57.7			Módulo de Finura	6.53
3/8"	9.50	785.9	15.7	58.0	42.0	20	55		
N.º 04	4.75	1528.7	30.6	88.5	11.5	0	10		
N.º 08	2.36	359.6	7.2	95.7	4.3	0	5		
N.º 16	1.18	73.1	1.5	97.2	2.8				
Fondo	-	140.1	2.8	100.0	0.0				
Total		5,000.0	100.0						

Nota. La muestra de material utilizado fue la piedra angulosa de 3/4", producto de trituración de cantos, seleccionada de la cantera de agregados El Milagro, Trujillo.

Figura 17

Curva granulométrica del agregado grueso de piedra chancada 3/4"

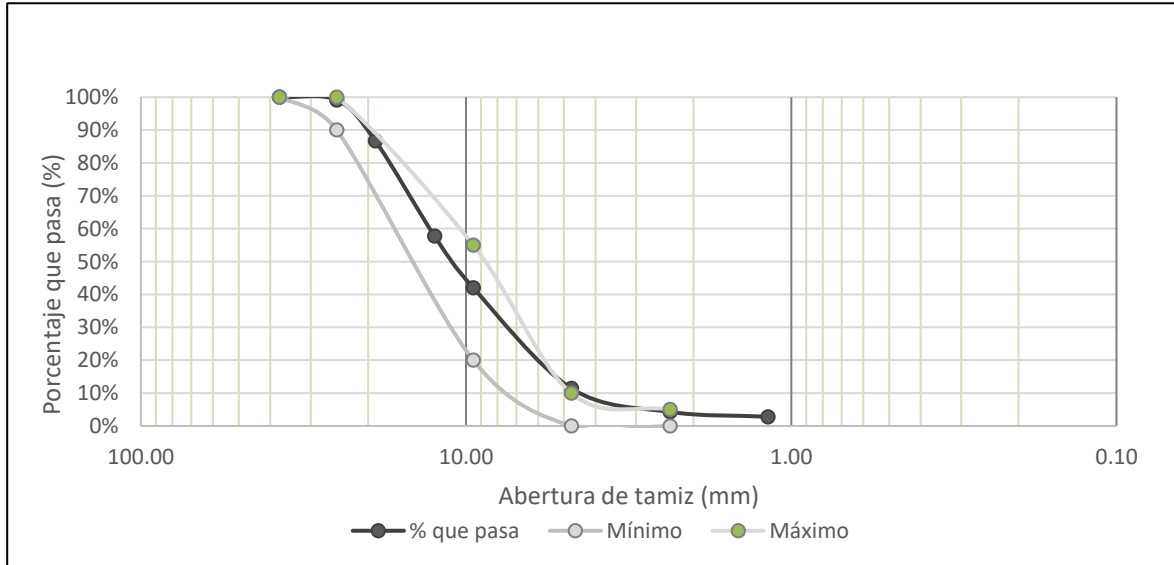


Tabla 24

Peso unitario del agregado grueso de piedra chancada 3/4" Huso 67

Peso unitario del agregado grueso Huso 67					
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + muestra suelta	kg	21.160	21.180	21.180	
Peso recipiente + muestra apisonada	kg	22.600	22.640	22.640	
Peso recipiente	kg	6.380	6.380	6.380	
Peso muestra en estado suelto	kg	14.780	14.800	14.800	
Peso muestra en estado compactado	kg	16.220	16.260	16.260	
Volumen del recipiente	m3	0.0091	0.0091	0.0091	
Peso unitario suelto	kg/m3	1624	1626	1626	1626
Peso unitario compactado	kg/m3	1782	1787	1787	1785

Tabla 25

Peso específico del agregado grueso de piedra chancada 3/4" Huso 67

Peso específico del agregado grueso Huso 67				
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	3.684	3.182	
Peso de la muestra en estado SSS al aire	gr	3.734	3.225	
Peso de la muestra saturada en agua	gr	2.300	1.974	
Peso específico base seca	gr/cm ³	2.57	2.54	2.56
Peso específico base SSS	gr/cm ³	2.60	2.58	2.59
Absorción	%	1.4	1.4	1.4

Tabla 26

Contenido de humedad del agregado grueso de piedra chancada 3/4" Huso 67

Contenido de humedad del agregado grueso Huso 67				
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso recipiente	gr	282.2	282.2	
Peso recipiente + muestra húmeda	gr	3,303.3	3,350.8	
Peso recipiente + muestra seca	gr	3,286.4	3,330.1	
Peso de muestra húmeda	gr	3,021.1	3,068.6	
Peso de muestra seca	gr	3,004.2	3,047.9	
Peso de agua	gr	16.9	20.7	
Contenido de humedad	%	0.6	0.7	0.7

Agregado fino – Arena gruesa zarandeada

Tabla 27

Análisis granulométrico del agregado fino de arena gruesa zarandeada

Granulometría Agregado Fino - Arena Gruesa								Datos de muestra
Tamiz Estándar	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límites (NTP 400.037)		
						Mínimo	Máximo	
3/8"	9.500	2.6	0.3	0.3	99.7	100	100	Características físicas
N.º 04	4.750	22.6	2.3	2.5	97.5	95	100	Cont. Humedad 1.00%
N.º 08	2.360	90.3	9.0	11.6	88.5	80	100	Módulo de Finura 2.50
N.º 16	1.180	149.5	15.0	26.5	73.5	50	85	
N.º 30	0.600	222.6	22.3	48.8	51.2	25	60	
N.º 50	0.300	226.9	22.7	71.5	28.6	5	30	
N.º 100	0.150	178.1	17.8	89.3	10.7	0	10	
N.º 200	0.075	67.4	6.7	96.0	4.0	0	5	
Fondo	-	40.0	4.0	100.0	0.0			
Total		1,000.0	100.0					

Nota. La muestra de material utilizado fue la arena gruesa zarandeada, producto tamizaje de río, seleccionada de la cantera de agregados El Milagro, Trujillo.

Figura 18

Curva granulométrica del agregado fino de arena gruesa zarandeada

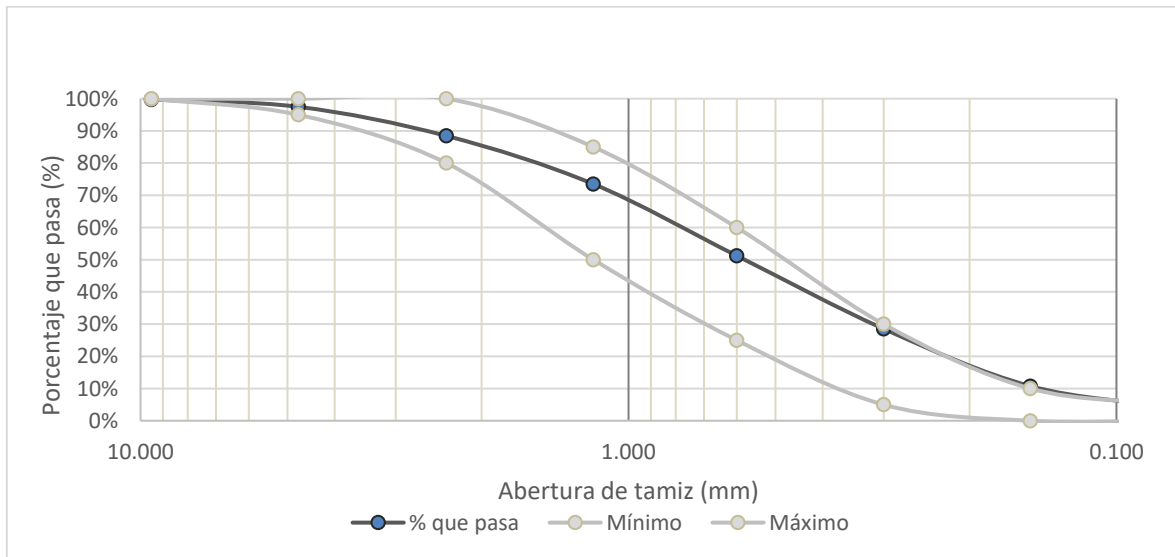


Tabla 28

Peso unitario del agregado fino de arena gruesa zarandeada

Peso unitario del agregado fino – Arena Gruesa					
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + muestra suelta	kg	21.600	21.540	21.580	
Peso recipiente + muestra apisonada	kg	23.840	23.780	23.840	
Peso recipiente	kg	6.380	6.380	6.380	
Peso muestra en estado suelto	kg	15.220	15.160	15.200	
Peso muestra en estado compactado	kg	17.460	17.400	17.460	
Volumen del recipiente	m3	0.0091	0.0091	0.0091	
Peso unitario suelto	kg/m3	1673	1666	1670	1670
Peso unitario compactado	kg/m3	1919	1912	1919	1917

Tabla 29

Peso específico del agregado fino de arena gruesa zarandeada

Peso específico del agregado fino - Arena gruesa				
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	458.300	447.300	
Peso del picnómetro lleno de agua	gr	1443.700	1443.700	
Peso del picnómetro lleno de muestra y agua	gr	1725.600	1719.600	
Peso de la muestra en estado SSS	gr	461.300	450.800	
Peso específico base seca	gr/cm ³	2.55	2.56	2.56
Peso específico base SSS	gr/cm ³	2.57	2.58	2.58
Absorción	%	0.7	0.8	0.8

Tabla 30

Contenido de humedad del agregado fino de arena gruesa zarandeada

Contenido de humedad del agregado fino - Arena gruesa				
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso recipiente	gr	66.8	80.1	
Peso recipiente + muestra húmeda	gr	808.8	793.3	
Peso recipiente + muestra seca	gr	801.1	786.3	
Peso de muestra húmeda	gr	742.0	713.2	
Peso de muestra seca	gr	734.3	706.2	
Peso de agua	gr	7.7	7.0	
Contenido de humedad	%	1.0	1.0	1.0

ANEXO N.º 02. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO Y ESTADO ENDURECIDO

Diseño de Mezcla N.º 1 – Concreto permeable con 13% de vacíos

Tabla 31

Datos previos para el Diseño de mezcla N.º 1 – Concreto permeable con 13% de vacíos

Diseño de Mezcla N.º 1					
Generalidades		Cemento		Aditivo	
Contenido de vacíos de la mezcla (%)	13.00%	Peso específico (kg/m ³)	3,150.00	Peso específico (kg/m ³)	1,200
a/c	0.30			% de aditivo en la mezcla	1.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000.00				
A. Grueso		A. Fino		Relación de agregados	
P.U.C (kg/m ³)	1,785.00	P.U.C (kg/m ³)	1917.00	A. Grueso	95.00%
Peso específico (kg/m ³)	2,560.00	Peso específico (kg/m ³)	2,560.00	A. Fino	5.00%
Absorción (%)	1.40%	Absorción (%)	0.80%		
Contenido de Humedad (%)	0.70%	Contenido de Humedad (%)	1.00%		

El primer paso fue establecer el peso del agregado a utilizar en la mezcla de concreto para un volumen de 1 m³. A raíz, se empleó la Ecuación 24 que relaciona el peso unitario compactado del agregado grueso, el factor b/b₀ y el porcentaje de absorción de agua del material. En cuanto al factor b/b₀, este fue producto de interpolar los valores concernientes al porcentaje de agregado fino empleado por cada diseño muestra presentados en la Figura 19 que otorga el ACI 522R.

Masa de agregado en la mezcla de concreto permeable

$$MP (kg) = P.U.C \text{ del A.G.} \times \left(\frac{b}{bo}\right) \times (1 + \% \text{ abs}) * 1 m^3 \quad (24)$$

En el cual, MP viene a ser el material pétreo en kg, P.U.C del A.G el peso unitario compactado del agregado grueso en kg/m³, b/bo el factor de relación según ACI 522 y % abs el porcentaje de absorción del agregado grueso en %.

Figura 19

Valores efectivos de b/bo

Porcentaje de agregado fino	b/bo	
	ASTM C33/C33M Huso 8	ASTM C33/C33M Huso 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Nota. Adaptado de Reporte de Concreto Permeable, por American Concrete Institute, 2011.

$$MP (kg) = P.U.C \text{ del A.G} \times \frac{b}{bo} \times (1 + \% \text{ abs}) * 1 m^3$$

$$MP (kg) = 1785 \times 0.96 \times (1 + 0.0140) * 1 m^3$$

$$MP (kg) = 1737.5904$$

En lo que, inmediatamente, se procedió a obtener el volumen de agregados según materiales pétreos gruesos y finos. Primero se dividió el valor de MP entre el peso específico del agregado grueso; para luego, multiplicarlo por el factor de uso de los agregados según Tabla 31.

Volumen del agregado en la mezcla

$$Vol. del agreg. (m^3) = \frac{MP (kg)}{P.E. A.G. \left(\frac{kg}{m^3}\right)} \quad (25)$$

Donde, Vol. del agreg. es el volumen del agregado en m³, MP es el material pétreo en la mezcla en kg, y, P.E. A.G. es el peso específico del agregado grueso en kg/m³.

$$Vol. del agreg. (m^3) = \frac{MP (kg)}{P. E. A. G. \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$Vol. del agreg. (m^3) = \frac{1737.5904}{2560}$$

$$Vol. del agreg. (m^3) = 0.6787$$

Volumen desagregado de los materiales (95% agregado grueso, y 5% del agregado fino)

$$Vol. AG = 0.6787 * 0.95 = 0.6448$$

$$Vol. AF = 0.6787 * 0.05 = 0.0339$$

El paso segundo fue hallar el volumen de pasta por unidad cúbica del concreto, el cual se consiguió mediante el uso del gráfico que relaciona el contenido de vacíos y el contenido de pasta por volumen y el desarrollo de la Ecuación 26 y 27. La Figura 18 especifica que su uso es para un agregado grueso de Huso 8 o 3/8 de pulgada; pese a, se lo utilizó para desarrollar la mezcla puesto que es lo más cercano como autores para estimar la masa del cemento y agua.

Contenido de cemento en la mezcla de concreto

$$C (kg) = [(Vol. Pasta (m^3))/(0.315 + a/c)] x 1000 (kg/m^3) \quad (26)$$

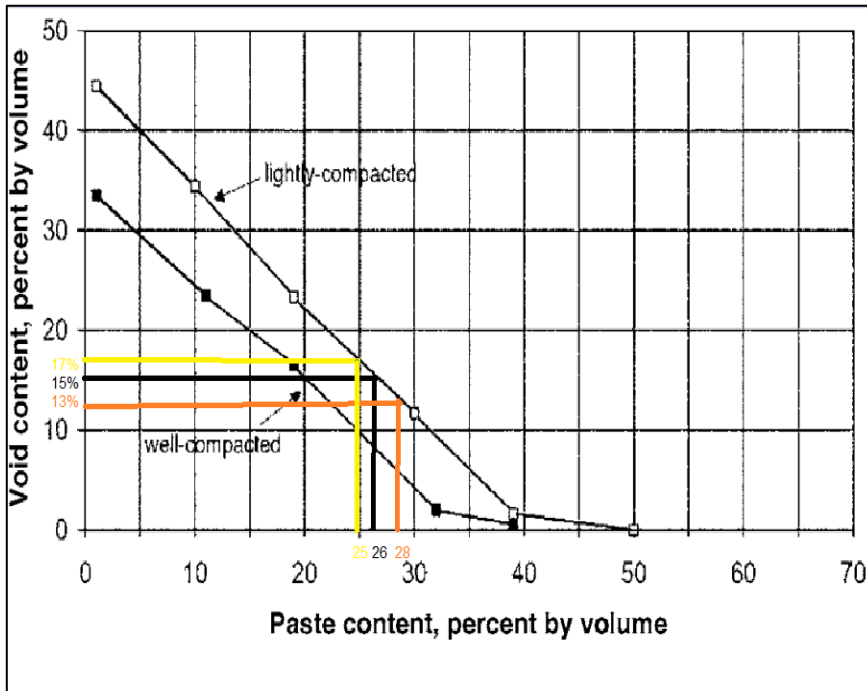
Contenido de agua en la mezcla de concreto

$$A (kg) = C (kg) \times \left(\frac{a}{c}\right) \quad (27)$$

Donde, C es la cantidad de cemento en kg, Vol. de Pasta es el volumen de pasta en m³, a/c la relación agua/cemento del diseño y A la cantidad de agua en kg.

Figura 20

Relación entre contenido de pasta y contenido de vacíos por volumen para un agregado grueso de huso 8



Nota. Se muestra el porcentaje de contenido de pasta según contenido de vacíos por unidad cúbica de diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con agregado grueso de huso 8. Para el Diseño N.º 1 de mezcla se tuvo un contenido de pasta de 28% por volumen; en cambio, para el Diseño N.º 2 y Diseño N.º 3 se tuvo un 26% y 25% de contenido de pasta, respectivamente.

$$C (kg) = [(Vol. Pasta (m^3))/(0.315 + a/c)] \times 1000 (kg/m^3)$$

$$C (kg) = [(0.28)/(0.315 + 0.30)] \times 1000 (kg/m^3)$$

$$C (kg) = 455.2846$$

Subsecuentemente,

$$A (kg) = C (kg) \times \left(\frac{a}{c}\right)$$

$$A (kg) = 455.2846 \times 0.30$$

$$A (kg) = 136.5854$$

Entonces, conocida la masa del cemento y agua a emplear se las dividió entre su peso específico y obtuvo su volumen ocupado dentro de la mezcla. Al sumar los volúmenes de agregados, agua, cemento, aditivos y % de vacíos correspondiente se obtuvo el volumen de mezcla.

Tabla 32

Diseño parcial de concreto permeable del Diseño de Mezcla N.º 1

Diseño Parcial (m3)		
Material	Volumen (m3)	Masa (kg)
Cemento	0.1445	455.2846
Agua	0.1366	136.5854
Agreg. Grueso	0.6448	1650.7109
Agreg. Fino	0.0339	86.8795
Aditivo	0.0100	4.5528
% vacíos	0.1300	
Total	1.0999	2334.01

Este, al exceder la unidad, requirió de la corrección por agregados. Teóricamente un diseño de mezcla de concreto permeable se define como la sumatoria de contenido de pasta, % de vacíos, aditivos y agregados por unidad de volumen. Por lo que, al deducir el volumen de agregados se obtiene la corrección.

Diseño teórico de concreto permeable

$$Vol. Concr. Permeable = VP + \% de vacíos + V.A + VMP \quad (28)$$

Donde, Vol. Concr. Permeable es el volumen teórico del concreto permeable en m³, VP el volumen de pasta en m³, % de vacíos el porcentaje de vacíos del diseño, VA el volumen del aditivo en m³ y VMP el volumen de materiales pétreos gruesos y finos en m³.

$$Vol. Concr. Permeable = VP + \% de vacíos + V.A + VMP$$

$$1 = 0.28 + 0.13 + 0.01 + VMP$$

$$VMP (m^3) = 0.580$$

Al volumen corregido de agregados se lo multiplicó por el peso específico del agregado grueso para obtener la masa corregida a fin de luego ser desagregado según porcentaje a emplear por diseño.

$$Masa\ corregida\ (kg) = Volumen\ corregido(m^3) * P.E. A.G. \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Masa\ corregida\ (kg) = 0.58 * 2560$$

$$Masa\ corregida\ (kg) = 1484.8000$$

Volumen desagregado de los materiales (95% agregado grueso, y 5% del agregado fino)

$$Vol. AG = 0.580 * 0.95 = 1410.5600$$

$$Vol. AF = 0.580 * 0.05 = 74.2400$$

Por último, para lograr el diseño final a emplear se hizo la corrección por humedad a los materiales pétreos, así como de mesurar el diseño por tanda de 30 litros. Tal como se muestra en la Tabla 9.

Diseño de Mezcla N.º 2 – Concreto permeable con 15% de vacíos

Tabla 33

Datos previos para el Diseño de mezcla N.º 2 – Concreto permeable con 15% de vacíos

Diseño de Mezcla N.º 2					
Generalidades		Cemento		Aditivo	
Contenido de vacíos de la mezcla (%)	15.00%	Peso específico (kg/m ³)	3,150.00	Peso específico (kg/m ³)	1,200
a/c	0.32			% de aditivo en la mezcla	1.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000.00				
A. Grueso		A. Fino		Relación de agregados	
P.U.C (kg/m ³)	1,785.00	P.U.C (kg/m ³)	1917.00	A. Grueso	90.00%
Peso específico (kg/m ³)	2,560.00	Peso específico (kg/m ³)	2,560.00	A. Fino	10.00%
Absorción (%)	1.40%	Absorción (%)	0.80%		
Contenido de Humedad (%)	0.70%	Contenido de Humedad (%)	1.00%		

Diseño de Mezcla N.º 3 – Concreto permeable con 17% de vacíos

Tabla 34

Datos previos para el Diseño de mezcla N.º 3 – Concreto permeable con 17% de vacíos

Diseño de Mezcla N.º 3					
Generalidades		Cemento		Aditivo	
Contenido de vacíos de la mezcla (%)	17.00%	Peso específico (kg/m ³)	3,150.00	Peso específico (kg/m ³)	1,200
a/c	0.34			% de aditivo en la mezcla	1.00%
P.E. Agua (kg/m ³)	1000.00				
A. Grueso		A. Fino		Relación de agregados	
P.U.C (kg/m ³)	1,785.00	P.U.C (kg/m ³)	1917.00	A. Grueso	85.00%
Peso específico (kg/m ³)	2,560.00	Peso específico (kg/m ³)	2,560.00	A. Fino	15.00%
Absorción (%)	1.40%	Absorción (%)	0.80%		
Contenido de Humedad (%)	0.70%	Contenido de Humedad (%)	1.00%		

Características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco

Tabla 35

Resumen de datos de ensayos en estado fresco del concreto permeable

Ensayos en estado fresco del concreto				
Descripción	Fecha de elaboración	Temperatura (°C)	Asentamiento (in)	P.U.C. (kg/m3)
Concreto con 13% de vacíos	19/10/2022	20.0	5.00	2,426
Concreto con 15% de vacíos	19/10/2022	20.0	5.25	2,380
Concreto con 17% de vacíos	19/10/2022	22.5	5.50	2,360

Características mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado endurecido

Tabla 36

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 3 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 13% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 1	3	10.20	81.7	90.70	11.1	113	5
Probeta N.º 2	3	10.24	82.4	84.50	10.3	105	2
Probeta N.º 3	3	10.27	82.8	107.70	13.0	133	2
Promedio					11.5	117	

Tabla 37

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 7 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 13% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 4	7	10.20	81.7	136.00	16.6	170	2
Probeta N.º 5	7	10.22	82.0	124.10	15.1	154	2
Probeta N.º 6	7	10.19	81.6	116.10	14.2	145	2
Promedio					15.3	156	

Tabla 38

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 28 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 13% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 7	28	10.16	81.1	184.70	22.8	232	2
Probeta N.º 8	28	10.18	81.4	167.70	20.6	210	2
Probeta N.º 9	28	10.26	82.7	173.70	21.0	214	2
Probeta N.º 10	28	10.25	82.5	190.50	23.1	235	2
Probeta N.º 11	28	10.20	81.7	172.20	21.1	215	2
Probeta N.º 12	28	10.30	83.3	174.50	20.9	214	2
Promedio					21.6	220	

Tabla 39

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 3 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 15% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 1	3	10.17	81.2	112.70	13.9	141	2
Probeta N.º 2	3	10.20	81.7	102.80	12.6	128	2
Probeta N.º 3	3	10.21	81.9	106.80	13.0	133	2
Promedio					13.2	134	

Tabla 40

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 7 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 15% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 4	7	10.16	81.1	155.70	19.2	196	2
Probeta N.º 5	7	10.12	80.4	139.50	17.3	177	2
Probeta N.º 6	7	10.15	80.9	154.00	19.0	194	2
Promedio					18.5	189	

Tabla 41

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 28 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 15% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 7	28	10.18	81.4	212.50	26.1	266	2
Probeta N.º 8	28	10.32	83.6	207.90	24.9	253	2
Probeta N.º 9	28	10.24	82.4	221.10	26.8	274	2
Probeta N.º 10	28	10.30	83.3	199.40	23.9	244	2
Probeta N.º 11	28	10.29	83.2	219.80	26.4	270	2
Probeta N.º 12	28	10.27	82.8	217.60	26.3	268	2
Promedio					25.7	263	

Tabla 42

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 3 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 17% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 1	3	10.19	81.6	118.7	14.6	148	2
Probeta N.º 2	3	10.21	81.9	138.2	16.9	172	2
Probeta N.º 3	3	10.21	81.9	131.0	16.0	163	2
Promedio					15.8	161	

Tabla 43

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 7 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 17% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 4	7	10.14	80.8	188.0	23.3	237	2
Probeta N.º 5	7	10.18	81.4	171.9	21.1	215	2
Probeta N.º 6	7	10.13	80.6	180.0	22.3	228	2
Promedio					22.3	227	

Tabla 44

Resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 28 días

Resistencia a la compresión del concreto permeable con 17% de vacíos							
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro promedio (cm)	Área de sección (cm²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura
Probeta N.º 7	28	10.26	82.7	260.7	31.5	322	2
Probeta N.º 8	28	10.23	82.2	259.8	31.6	322	2
Probeta N.º 9	28	10.30	83.3	256.5	30.8	314	2
Probeta N.º 10	28	10.20	81.7	241.2	29.5	301	2
Probeta N.º 11	28	10.20	81.7	262.0	32.1	327	2
Probeta N.º 12	28	10.24	82.4	244.3	29.7	302	2
Promedio					30.9	315	

Tabla 45

Resistencia a la flexión del Concreto Permeable a 13% de vacíos ensayado a 28 días

Resistencia a la flexión de vigas de concreto permeable con 13% de vacíos								
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud de tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)	Ubicación de falla
Viga N.º 1	28	14.9	15.0	49.0	40.0	5.85	59.6	Tercio central
Viga N.º 2	28	14.9	15.2	49.1	38.3	5.46	55.7	Tercio central
Viga N.º 3	28	15.2	15.2	49.1	41.0	5.73	58.5	Tercio central
Promedio						5.7	57.9	

Tabla 46

Resistencia a la flexión del Concreto Permeable a 15% de vacíos ensayado a 28 días

Resistencia a la flexión de vigas de concreto permeable con 15% de vacíos								
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud de tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)	Ubicación de falla
Viga N.º 1	28	15.0	15.5	49.0	47.4	6.44	65.7	Tercio central
Viga N.º 2	28	15.0	15.3	49.0	46.4	6.48	66.0	Tercio central
Viga N.º 3	28	15.0	15.4	49.0	40.2	5.54	56.5	Tercio central
Promedio						6.2	62.7	

Tabla 47







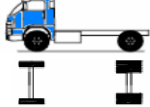

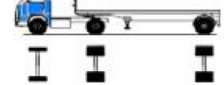
Resistencia a la flexión del Concreto Permeable a 17% de vacíos ensayado a 28 días

Resistencia a la flexión de vigas de concreto permeable con 17% de vacíos								
Código identificación	Edad Ensayo (días)	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Longitud de tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Ubicación de falla
Viga N.º 1	28	15.0	15.5	49.0	44.7	6.08	62.0	Tercio central
Viga N.º 2	28	15.0	15.0	49.0	50.7	7.36	75.1	Tercio central
Viga N.º 3	28	15.0	15.0	49.0	52.9	7.68	78.3	Tercio central
Promedio						7.0	71.8	

ANEXO N.º 03. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE

Tabla 48

Pesos y medidas máximas según configuración vehicular

Configuración vehicular	Descripción gráfica	Longitud Máx. (m)	Peso máximo (tn)			Peso bruto máximo (tn)	
			Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores			
				1	2		3
Auto liviano		4.50 ^(b)	0.75	0.75	-	-	1.5
Camioneta SUV		4.70 ^(b)	1.25	1.25	-	-	2.5
Pick Up		5.50 ^(b)	1.50	1.50	-	-	3
Combi		6.00 ^(b)	1.875	1.875	-	-	3.75
Camión 2 Ejes (1RS + 1RS)		6.15 ^(b)	7	7	-	-	14
B2		13.20 ^(a)	7	11	-	-	18
C2		12.30 ^(a)	7	11	-	-	18
C3		13.20 ^(a)	7	18	-	-	25
T2S1		20.50 ^(a)	7	11	11	-	29

Nota. (a) Pesos y medidas adaptado de Decreto Supremo N.º 058-2003-MTC, por MTC, 2003. (b) Valores ponderados según tipo vehículo de acuerdo a especificaciones técnicas presentadas por principales proveedores de vehículos en la ciudad de Trujillo.

Tabla 49

Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes para Pavimentos Rígidos

Tipo de eje	Eje Equivalente (EE8.2 tn)
Ejes Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.1}$
Ejes Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.1}$
Ejes Tándem (1 eje de ruedas dobles + 1 eje de rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{S1} = [P / 13]^{4.1}$
Ejes Tándem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{S1} = [P / 13.3]^{4.1}$
Ejes Trídem (2 ejes de ruedas dobles + 1 eje de rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{S1} = [P / 16.6]^{4.0}$
Ejes Trídem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{S1} = [P / 17.5]^{4.0}$
P = peso real pro eje en toneladas	

Nota. Tomado de Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos (p. 88), por MTC, 2014.

Figura 21

Catálogo de estructuras de pavimento rígido con periodo de diseño de 20 años con pasadores con berma granular o asfáltica, y, para un factor $J = 3.2$

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-5'000,000
CBR%	MR								
CBR < 6%	< 185PCI (52MPa/m)	15cm 15cm (*)	15cm 15cm (*)	15cm 15cm (*)	16cm 15cm (*)	17cm 15cm (*)	19cm 15cm (*)	21cm 15cm (*)	23cm 15cm (*)
> 6% CBR < 10%	> 185PCI (52MPa/m) < 223PCI (63MPa/m)	15cm 15cm	15cm 15cm	15cm 15cm	16cm 15cm	17cm 15cm	19cm 15cm	21cm 15cm	23cm 15cm
> 10% CBR < 20%	> 223PCI (63MPa/m) < 279PCI (79MPa/m)	15cm 15cm	15cm 15cm	15cm 15cm	16cm 15cm	17cm 15cm	19cm 15cm	21cm 15cm	23cm 15cm
> 20% CBR < 30%	> 279PCI (79MPa/m) < 373PCI (105MPa/m)	15cm 15cm	15cm 15cm	15cm 15cm	15cm 15cm	16cm 15cm	18cm 15cm	21cm 15cm	23cm 15cm
CBR > 30%	> 373PCI (105MPa/m)	15cm 15cm	15cm 15cm	15cm 15cm	15cm 15cm	15cm 15cm	18cm 15cm	20cm 15cm	22cm 15cm

Losa de Concreto
Sub-base Granular

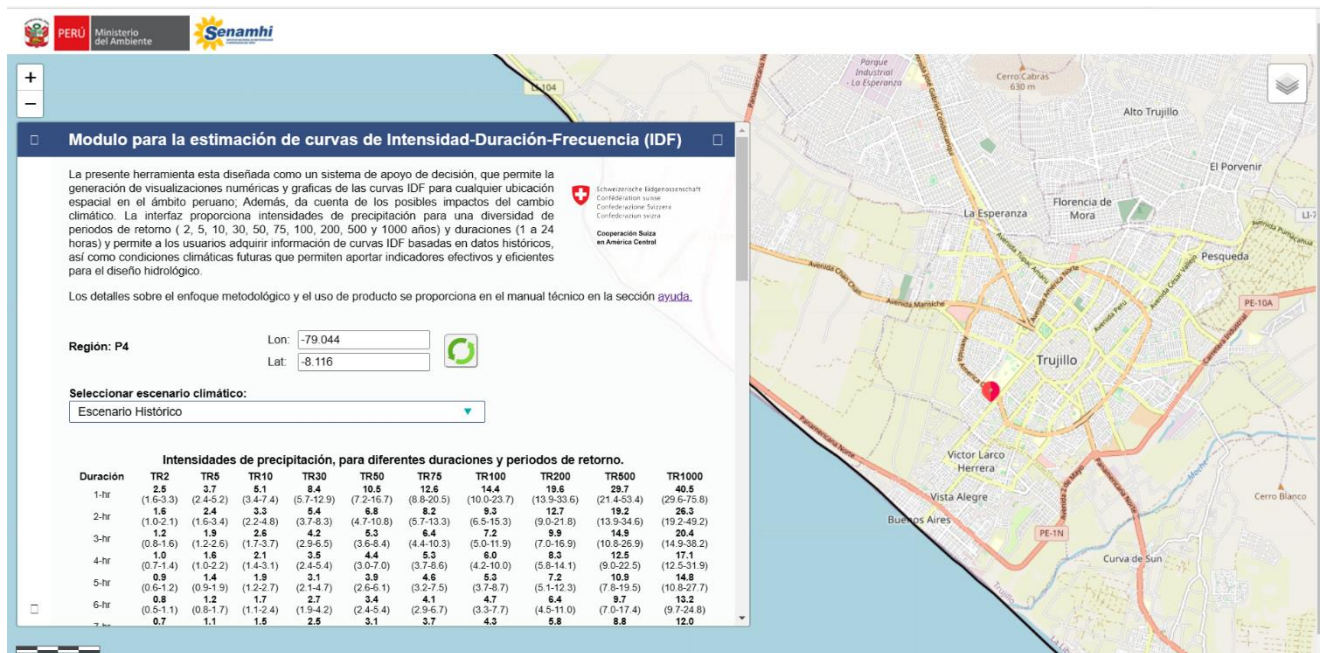
Fuente: Elaboración propia en base a normas AASHTO

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos, por MTC, 2014.

ANEXO N.º 04. IMPACTOS METEOROLÓGICOS CAPACES DE SER MITIGADOS CON LA APLICACIÓN DE PAVIMENTOS PERMEABLES

Figura 22

Interfaz de interacción de Módulo de Estimación de Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia



ANEXO N.º 05. CERTIFICADOS DE LABORATORIO

Figura 23

Certificado del análisis granulométrico del agregado grueso huso 67

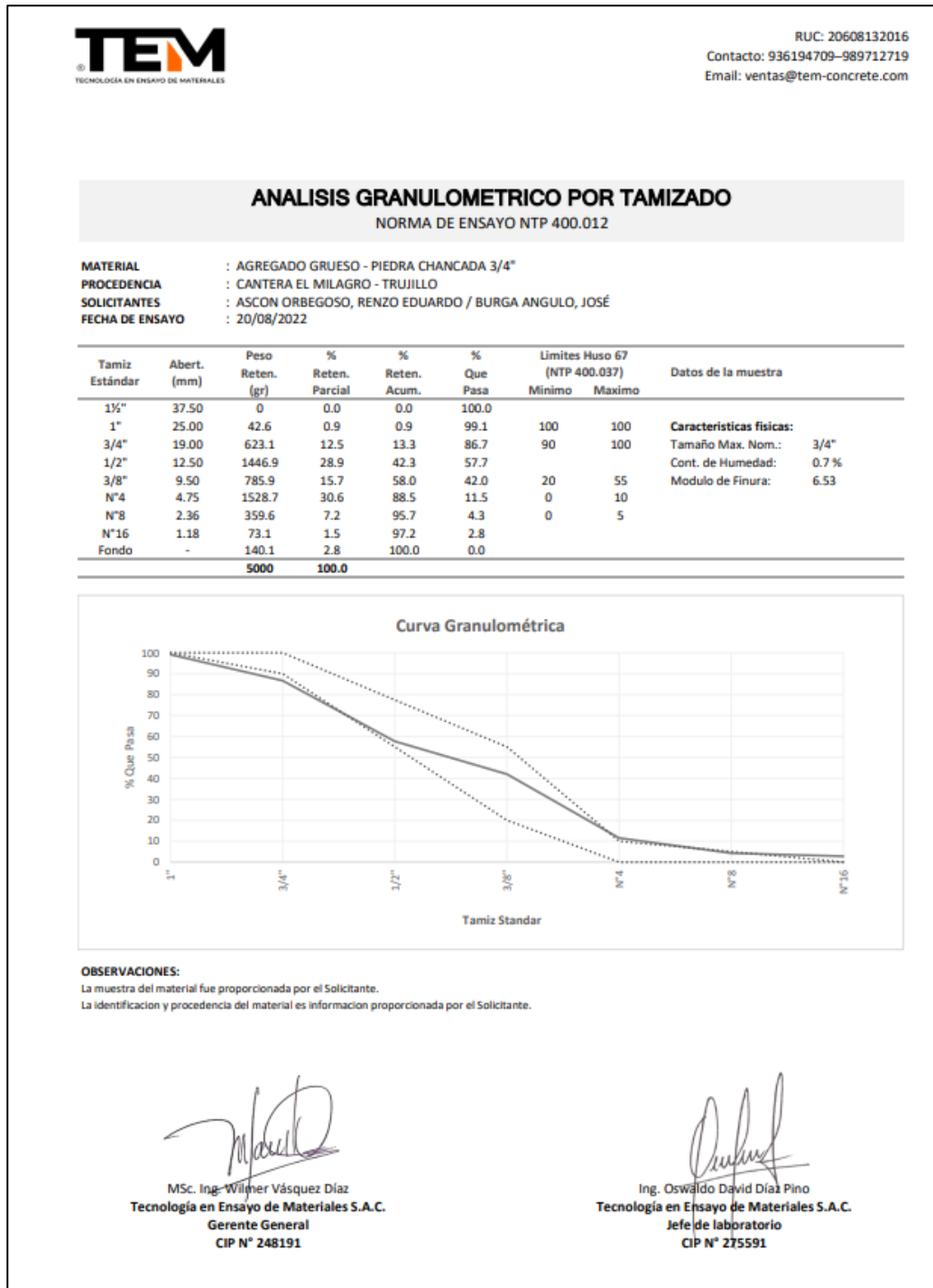



Figura 24

Certificado del ensayo de peso unitario del agregado grueso huso 67



TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO
NORMA DE ENSAYO NTP 400.017


1. INFORMACION GENERAL

MATERIAL : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA 3/4"
PROCEDENCIA : CANTERA EL MILAGRO - TRUJILLO
SOLICITANTES : ASCON ORBEGOSO, RENZO EDUARDO / BURGA ANGULO, JOSÉ
FECHA DE ENSAYO : 20/08/2022


2. RESULTADOS DEL ENSAYO

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + muestra suelta	kg	21.160	21.180	21.180	
Peso recipiente + muestra apisonada	kg	22.600	22.640	22.640	
Peso de recipiente	kg	6.380	6.380	6.380	
Peso de muestra en estado suelto	kg	14.780	14.800	14.800	
Peso de muestra en estado compactado	kg	16.220	16.260	16.260	
Volumen del recipiente	m3	0.0091	0.0091	0.0091	
Peso unitario suelto	kg/m3	1,624	1,626	1,626	1,625
Peso unitario compactado	kg/m3	1,782	1,787	1,787	1,785

OBSERVACIONES:
La muestra del material fue proporcionada por el Solicitante.
La identificación y procedencia del material es información proporcionada por el Solicitante.



MSc. Ing. Wilner Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 25

Certificado del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso huso 67


	RUC: 20608132016 Contacto: 936194709-989712719 Email: ventas@tem-concrete.com																																						
	PESO ESPECIFICO Y ABSORCION NORMA DE ENSAYO NTP 400.021																																						
	1. INFORMACION GENERAL MATERIAL : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA 3/4" PROCEDENCIA : CANTERA EL MILAGRO - TRUJILLO SOLICITANTES : ASCON ORBEGOSO, RENZO EDUARDO / BURGA ANGULO, JOSÉ FECHA DE ENSAYO : 20/08/2022																																						
2. RESULTADOS DEL ENSAYO																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>U.M.</th> <th>Prueba 1</th> <th>Prueba 2</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de la muestra secada en horno al aire</td> <td>gr</td> <td>3,684</td> <td>3,182</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra en estado SSS al aire</td> <td>gr</td> <td>3,734</td> <td>3,225</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada en agua</td> <td>gr</td> <td>2,300</td> <td>1,974</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso específico base seca</td> <td>gr/cm3</td> <td>2.57</td> <td>2.54</td> <td>2.56</td> </tr> <tr> <td>Peso específico base SSS</td> <td>gr/cm3</td> <td>2.60</td> <td>2.58</td> <td>2.59</td> </tr> <tr> <td>Absorción</td> <td>%</td> <td>1.3</td> <td>1.4</td> <td>1.4</td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	3,684	3,182		Peso de la muestra en estado SSS al aire	gr	3,734	3,225		Peso de la muestra saturada en agua	gr	2,300	1,974		Peso específico base seca	gr/cm3	2.57	2.54	2.56	Peso específico base SSS	gr/cm3	2.60	2.58	2.59	Absorción	%	1.3	1.4	1.4				
Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio																																			
Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	3,684	3,182																																				
Peso de la muestra en estado SSS al aire	gr	3,734	3,225																																				
Peso de la muestra saturada en agua	gr	2,300	1,974																																				
Peso específico base seca	gr/cm3	2.57	2.54	2.56																																			
Peso específico base SSS	gr/cm3	2.60	2.58	2.59																																			
Absorción	%	1.3	1.4	1.4																																			
OBSERVACIONES: La muestra del material fue proporcionada por el Solicitante. La identificación y procedencia del material es información proporcionada por el Solicitante.																																							
 MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Gerente General CIP N° 248191		 Ing. Oswaldo David Díaz Pino Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Jefe de laboratorio CIP N° 275591																																					

Figura 26

Certificado del ensayo de contenido de humedad agregado grueso huso 67

	RUC: 20608132016 Contacto: 936194709-989712719 Email: ventas@tem-concrete.com																																									
	CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA DE ENSAYO NTP 339.185																																									
	1. INFORMACION GENERAL MATERIAL : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA 3/4" PROCEDENCIA : CANTERA EL MILAGRO - TRUJILLO SOLICITANTES : ASCON ORBEGOSO, RENZO EDUARDO / BURGA ANGULO, JOSÉ FECHA DE ENSAYO : 20/08/2022																																									
2. RESULTADOS DEL ENSAYO																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>U.M.</th> <th>Prueba 1</th> <th>Prueba 2</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso recipiente</td> <td>gr</td> <td>282.2</td> <td>282.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso recipiente + muestra húmeda</td> <td>gr</td> <td>3,303.3</td> <td>3,350.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso recipiente + muestra seca</td> <td>gr</td> <td>3,286.4</td> <td>3,330.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de muestra húmeda</td> <td>gr</td> <td>3,021.1</td> <td>3,068.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de muestra seca</td> <td>gr</td> <td>3,004.2</td> <td>3,047.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de agua</td> <td>gr</td> <td>16.9</td> <td>20.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad</td> <td>%</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	Peso recipiente	gr	282.2	282.2		Peso recipiente + muestra húmeda	gr	3,303.3	3,350.8		Peso recipiente + muestra seca	gr	3,286.4	3,330.1		Peso de muestra húmeda	gr	3,021.1	3,068.6		Peso de muestra seca	gr	3,004.2	3,047.9		Peso de agua	gr	16.9	20.7		Contenido de humedad	%	0.6	0.7	0.7		
Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio																																						
Peso recipiente	gr	282.2	282.2																																							
Peso recipiente + muestra húmeda	gr	3,303.3	3,350.8																																							
Peso recipiente + muestra seca	gr	3,286.4	3,330.1																																							
Peso de muestra húmeda	gr	3,021.1	3,068.6																																							
Peso de muestra seca	gr	3,004.2	3,047.9																																							
Peso de agua	gr	16.9	20.7																																							
Contenido de humedad	%	0.6	0.7	0.7																																						
OBSERVACIONES: La muestra del material fue proporcionada por el Solicitante. La identificación y procedencia del material es información proporcionada por el Solicitante.																																										
 MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Gerente General CIP N° 248191	 Ing. Oswaldo David Díaz Pino Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Jefe de laboratorio CIP N° 275591																																									

Figura 27

Certificado del análisis granulométrico del agregado fino

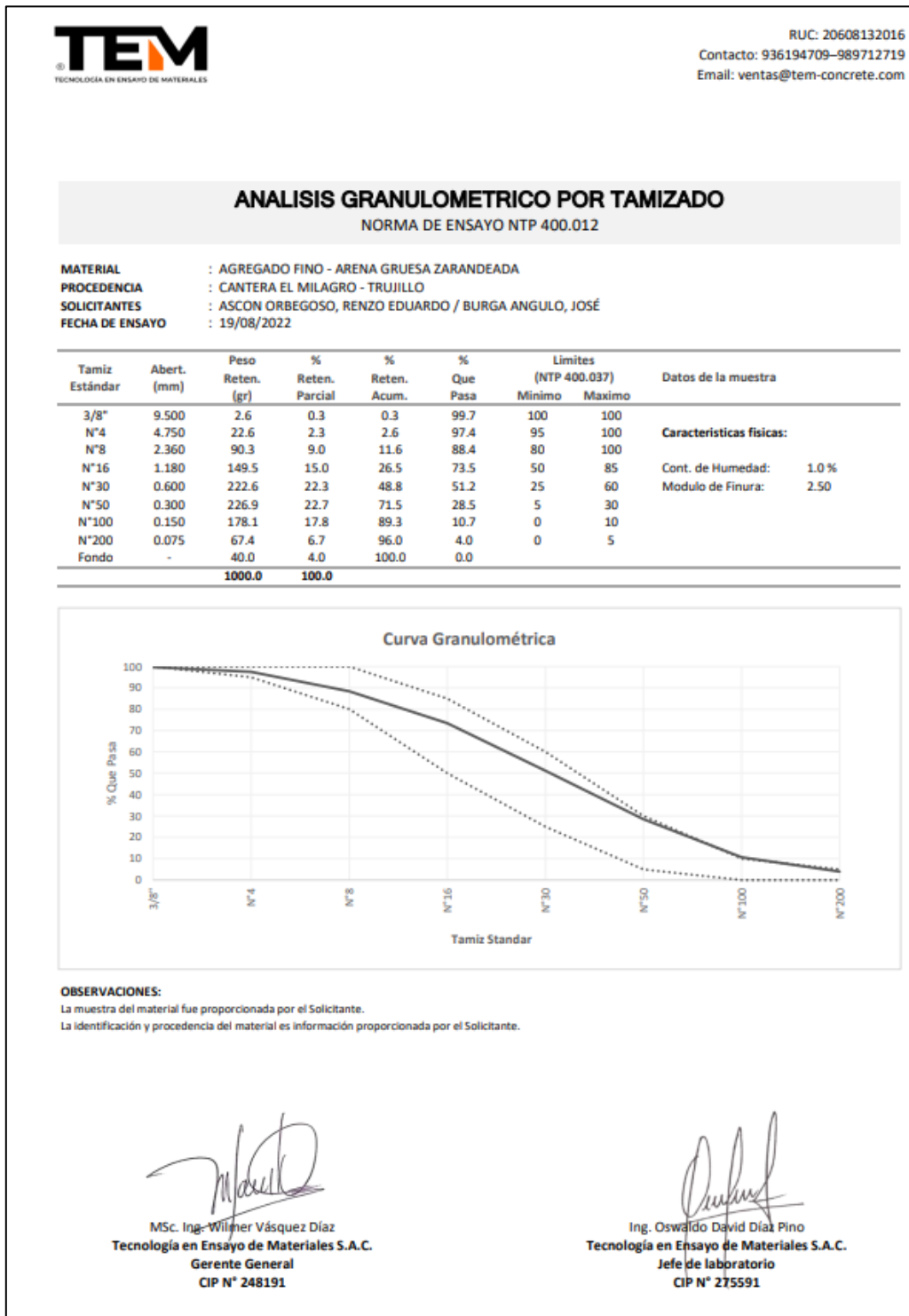



Figura 28

Certificado del ensayo de peso unitario del agregado fino



TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO
NORMA DE ENSAYO NTP 400.017


1. INFORMACION GENERAL

MATERIAL : AGREGADO FINO - ARENA GRUESA ZARANDEADA
PROCEDENCIA : CANTERA EL MILAGRO - TRUJILLO
SOLICITANTES : ASCON ORBEGOSO, RENZO EDUARDO / BURGA ANGULO, JOSÉ
FECHA DE ENSAYO : 19/08/2022


2. RESULTADOS DEL ENSAYO

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + muestra suelta	kg	21.600	21.540	21.580	21.580
Peso recipiente + muestra apisonada	kg	23.840	23.780	23.840	23.840
Peso de recipiente	kg	6.380	6.380	6.380	6.380
Peso de muestra en estado suelto	kg	15.220	15.160	15.200	15.193
Peso de muestra en estado compactado	kg	17.460	17.400	17.460	17.440
Volumen del recipiente	m ³	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091
Peso unitario suelto	kg/m ³	1,673	1,666	1,670	1,670
Peso unitario compactado	kg/m ³	1,919	1,912	1,919	1,917

OBSERVACIONES:
La muestra del material fue proporcionada por el Solicitante.
La identificación y procedencia del material es información proporcionada por el Solicitante.



MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 29

Certificado del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino


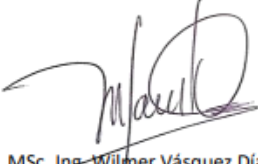
 <p>TEM TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES</p>	<p>RUC: 20608132016 Contacto: 936194709-989712719 Email: ventas@tem-concrete.com</p>																																											
	<p>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION NORMA DE ENSAYO NTP 400.022</p>																																											
	<p>1. INFORMACION GENERAL</p> <p>MATERIAL : AGREGADO FINO - ARENA GRUESA ZARANDEADA PROCEDENCIA : CANTERA EL MILAGRO - TRUJILLO SOLICITANTES : ASCON ORBEGOSO, RENZO EDUARDO / BURGA ANGULO, JOSÉ FECHA DE ENSAYO : 19/08/2022</p>																																											
<p>2. RESULTADOS DEL ENSAYO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>U.M.</th> <th>Prueba 1</th> <th>Prueba 2</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de la muestra secada en horno al aire</td> <td>gr</td> <td>458.3</td> <td>447.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del pignómetro lleno de agua</td> <td>gr</td> <td>1,443.7</td> <td>1,443.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del pignómetro lleno de muestra y agua</td> <td>gr</td> <td>1,725.6</td> <td>1,719.6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra en estado SSS</td> <td>gr</td> <td>461.3</td> <td>450.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso específico base seca</td> <td>gr/cm³</td> <td>2.55</td> <td>2.56</td> <td>2.56</td> </tr> <tr> <td>Peso específico base SSS</td> <td>gr/cm³</td> <td>2.57</td> <td>2.58</td> <td>2.58</td> </tr> <tr> <td>Absorción</td> <td>%</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table>					Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	458.3	447.3		Peso del pignómetro lleno de agua	gr	1,443.7	1,443.7		Peso del pignómetro lleno de muestra y agua	gr	1,725.6	1,719.6		Peso de la muestra en estado SSS	gr	461.3	450.8		Peso específico base seca	gr/cm ³	2.55	2.56	2.56	Peso específico base SSS	gr/cm ³	2.57	2.58	2.58	Absorción	%	0.7	0.8	0.8
Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio																																								
Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	458.3	447.3																																									
Peso del pignómetro lleno de agua	gr	1,443.7	1,443.7																																									
Peso del pignómetro lleno de muestra y agua	gr	1,725.6	1,719.6																																									
Peso de la muestra en estado SSS	gr	461.3	450.8																																									
Peso específico base seca	gr/cm ³	2.55	2.56	2.56																																								
Peso específico base SSS	gr/cm ³	2.57	2.58	2.58																																								
Absorción	%	0.7	0.8	0.8																																								
<p>OBSERVACIONES: La muestra del material fue proporcionada por el Solicitante. La identificación y procedencia del material es Información proporcionada por el Solicitante.</p>																																												
 MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Gerente General CIP N° 248191		 Ing. Oswaldo David Díaz Pino Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Jefe de laboratorio CIP N° 275591																																										


Figura 30

Certificado del ensayo de contenido de humedad del agregado fino

 <p>TEM TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES</p>	RUC: 20608132016 Contacto: 936194709-989712719 Email: ventas@tem-concrete.com				
	CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA DE ENSAYO NTP 339.185				
	1. INFORMACION GENERAL				
MATERIAL : AGREGADO FINO - ARENA GRUESA ZARANDEADA PROCEDENCIA : CANTERA EL MILAGRO - TRUJILLO SOLICITANTES : ASCON ORBEGOSO, RENZO EDUARDO / BURGA ANGULO, JOSÉ FECHA DE ENSAYO : 19/08/2022					
2. RESULTADOS DEL ENSAYO					
Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	
Peso recipiente	gr	66.8	80.1		
Peso recipiente + muestra húmeda	gr	808.8	793.3		
Peso recipiente + muestra seca	gr	801.1	786.3		
Peso de muestra húmeda	gr	742.0	713.2		
Peso de muestra seca	gr	734.3	706.2		
Peso de agua	gr	7.7	7.0		
Contenido de humedad	%	1.0	1.0	1.0	
OBSERVACIONES: La muestra del material fue proporcionada por el Solicitante. La identificación y procedencia del material es información proporcionada por el Solicitante.					
 MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Gerente General CIP N° 248191		 Ing. Oswaldo David Díaz Pino Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Jefe de laboratorio CIP N° 275591			

Figura 31

Certificado de ensayos en estado fresco del concreto permeable



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

REGISTRO DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

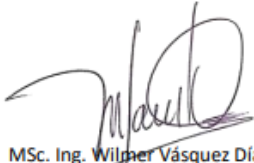
1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : ASCON ORBEGOSO, RENZO / BURGA ANGULO, JOSE

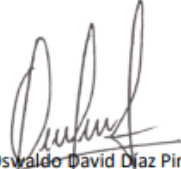
PROYECTO : PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA PARA LA ATENUACIÓN DE IMPACTOS METEOROLÓGICOS EN EL ENTORNO URBANO DE LA CIUDAD DE TRUJILLO 2022

2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Descripción	Fecha	Temperatura (°C)	Asentamiento (in)	P.U.C. (kg/m3)
Concreto con 13% de vacíos	19/10/2022	20.0	5.00	2,426
Concreto con 15% de vacíos	19/10/2022	20.0	5.25	2,380
Concreto con 17% de vacíos	19/10/2022	22.5	5.50	2,360
-	-	-	-	-




MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 32

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 3 días



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1113-22-TEM

Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
ASTM C39/C39M - NTP 339.034

Datos de Identificación del Cliente y Muestra

Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeado:	19-10-22
Muestra:	Concreto con 13% de vacíos	Fecha de Ensayo:	22-10-22
f_c (kg/cm²):	N.E.		

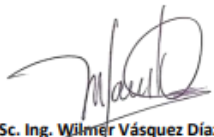
RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION

Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*
046-TEM-P01	3	10.20	81.6	90.7	11.1	113	5
046-TEM-P02	3	10.24	82.4	84.5	10.3	105	2
046-TEM-P03	3	10.27	82.8	107.7	13.0	133	2
Promedio					11.5	117	

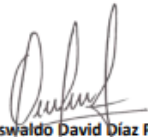
NOTAS:

1. El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M.
2. El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M
3. Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M.
4. Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M
5. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
6. El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados

** Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual*




MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 33

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 7 días



TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
 Contacto: 936194709-989712719
 Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1114-22-TEM

Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
 ASTM C39/C39M - NTP 339.034

Datos de Identificación del Cliente y Muestra

Cliente :	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto :	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeado:	19-10-22
Muestra :	Concreto con 13% de vacíos	Fecha de Ensayo:	26-10-22
F_c (kg/cm²) :	N.E.		

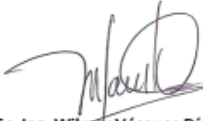
RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION

Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*
046-TEM-P04	7	10.20	81.6	136.0	16.7	170	2
046-TEM-P05	7	10.22	82.0	124.1	15.1	154	2
046-TEM-P06	7	10.19	81.6	116.1	14.2	145	2
Promedio					15.3	156	


NOTAS:

- El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M.
- El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M
- Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M.
- Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M
- Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
- El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados

* Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual




MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
 Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
 Gerente General
 CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
 Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
 Jefe de laboratorio
 CIP N° 275591

Figura 34

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 28 días



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1115-22-TEM

Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
ASTM C39/C39M - NTP 339.034

Datos de Identificación del Cliente y Muestra

Cliente :	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto :	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeado:	19-10-22
Muestra :	Concreto con 13% de vacíos	Fecha de Ensayo:	16-11-22
f'c (kg/cm²) :	N.E.		


RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION

Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*
046-TEM-P07	28	10.16	81.1	184.7	22.8	232	2
046-TEM-P08	28	10.18	81.3	167.7	20.6	210	2
046-TEM-P09	28	10.26	82.7	173.7	21.0	214	2
046-TEM-P10	28	10.25	82.5	190.5	23.1	235	2
046-TEM-P11	28	10.20	81.7	172.2	21.1	215	2
046-TEM-P12	28	10.30	83.3	174.5	20.9	214	2
Promedio					21.6	220	


NOTAS:

1. El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M.
2. El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M
3. Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M.
4. Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M
5. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
6. El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados

* Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual




MSc. Ing. **Wilmer Vásquez Díaz**
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. **Oswaldo David Díaz Pino**
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 35

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 3 días



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1116-22-TEM

Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
ASTM C39/C39M - NTP 339.034

Datos de Identificación del Cliente y Muestra

Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeado:	19-10-22
Muestra:	Concreto con 15% de vacíos	Fecha de Ensayo:	22-10-22
f'c (kg/cm²):	N.E.		

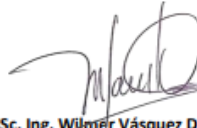
RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION

Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*
046-TEM-P13	3	10.17	81.2	112.7	13.9	142	2
046-TEM-P14	3	10.20	81.6	102.8	12.6	128	2
046-TEM-P15	3	10.21	81.8	106.8	13.1	133	2
Promedio					13.2	134	

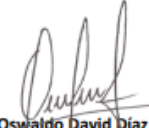
NOTAS:

- El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M.
- El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M
- Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M.
- Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M
- Los resultados del informe sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
- El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados

* Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual




MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 36

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 7 días



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1117-22-TEM

Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
ASTM C39/C39M - NTP 339.034

Datos de Identificación del Cliente y Muestra

Cliente :	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto :	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeado:	19-10-22
Muestra :	Concreto con 15% de vacíos	Fecha de Ensayo:	26-10-22
f'c (kg/cm²) :	N.E.		

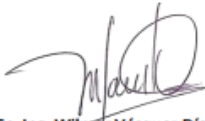
RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION

Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*
046-TEM-P16	7	10.16	81.0	155.7	19.2	196	2
046-TEM-P17	7	10.12	80.4	139.5	17.4	177	2
046-TEM-P18	7	10.15	80.9	154.0	19.0	194	2
Promedio					18.5	189	


NOTAS:

1. El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M.
2. El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M
3. Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M.
4. Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M
5. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
6. El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados

* Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual




MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 37

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 28 días



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1118-22-TEM

Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
ASTM C39/C39M - NTP 339.034

Datos de Identificación del Cliente y Muestra

Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeado:	19-10-22
Muestra:	Concreto con 15% de vacíos	Fecha de Ensayo:	16-11-22
f'c (kg/cm²):	N.E.		


RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION

Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*
046-TEM-P19	28	10.18	81.3	212.5	26.1	266	2
046-TEM-P20	28	10.32	83.6	207.9	24.9	254	2
046-TEM-P21	28	10.24	82.4	221.1	26.8	274	2
046-TEM-P22	28	10.30	83.3	199.4	23.9	244	2
046-TEM-P23	28	10.29	83.2	219.8	26.4	270	2
046-TEM-P24	28	10.27	82.8	217.6	26.3	268	2
				Promedio	25.7	263	


NOTAS:

1. El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M.
2. El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M
3. Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M.
4. Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M
5. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
6. El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados

* Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual



MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de Laboratorio
CIP N° 275591

Figura 38

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 3 días


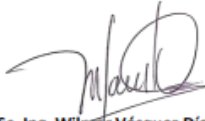

		RUC: 20608132016 Contacto: 936194709-989712719 Email: ventas@tem-concrete.com																																							
INFORME DE ENSAYO N° 1119-22-TEM Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas ASTM C39/C39M - NTP 339.034																																									
Datos de Identificación del Cliente y Muestra																																									
<table border="1"> <tr> <td>Cliente :</td> <td>Ascon Orbegozo, Renzo Burga Angulo, Jose</td> </tr> <tr> <td>Proyecto :</td> <td>Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022</td> </tr> <tr> <td>Muestra :</td> <td>Concreto con 17% de vacíos</td> </tr> <tr> <td>f'c (kg/cm²) :</td> <td>N.E.</td> </tr> </table>	Cliente :	Ascon Orbegozo, Renzo Burga Angulo, Jose	Proyecto :	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Muestra :	Concreto con 17% de vacíos	f'c (kg/cm²) :	N.E.	<table border="1"> <tr> <td>Fecha de Emisión:</td> <td>30-12-22</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Moldeado:</td> <td>19-10-22</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Ensayo:</td> <td>22-10-22</td> </tr> </table>	Fecha de Emisión:	30-12-22	Fecha de Moldeado:	19-10-22	Fecha de Ensayo:	22-10-22																										
Cliente :	Ascon Orbegozo, Renzo Burga Angulo, Jose																																								
Proyecto :	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022																																								
Muestra :	Concreto con 17% de vacíos																																								
f'c (kg/cm²) :	N.E.																																								
Fecha de Emisión:	30-12-22																																								
Fecha de Moldeado:	19-10-22																																								
Fecha de Ensayo:	22-10-22																																								
RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código Identificación</th> <th>Edad Ensayo (días)</th> <th>Diámetro Promedio (cm)</th> <th>Área Sección (cm²)</th> <th>Carga Máxima (KN)</th> <th>Resistencia a la Compresión (MPa)</th> <th>Resistencia a la Compresión (kg/cm²)</th> <th>Tipo de Fractura*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>046-TEM-P25</td> <td>3</td> <td>10.19</td> <td>81.5</td> <td>118.7</td> <td>14.6</td> <td>149</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>046-TEM-P26</td> <td>3</td> <td>10.21</td> <td>81.9</td> <td>138.2</td> <td>16.9</td> <td>172</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>046-TEM-P27</td> <td>3</td> <td>10.21</td> <td>81.8</td> <td>131.0</td> <td>16.0</td> <td>163</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Promedio</td> <td>15.8</td> <td>161</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*	046-TEM-P25	3	10.19	81.5	118.7	14.6	149	2	046-TEM-P26	3	10.21	81.9	138.2	16.9	172	2	046-TEM-P27	3	10.21	81.8	131.0	16.0	163	2	Promedio					15.8	161		
Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*																																		
046-TEM-P25	3	10.19	81.5	118.7	14.6	149	2																																		
046-TEM-P26	3	10.21	81.9	138.2	16.9	172	2																																		
046-TEM-P27	3	10.21	81.8	131.0	16.0	163	2																																		
Promedio					15.8	161																																			
NOTAS: 1. El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M. 2. El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M 3. Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M. 4. Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M 5. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas. 6. El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados * Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual																																									
 MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Gerente General CIP N° 248191		 Ing. Oswaldo David Díaz Pino Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Jefe de laboratorio CIP N° 275591																																							

Figura 39

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 7 días




		RUC: 20608132016 Contacto: 936194709-989712719 Email: ventas@tem-concrete.com																																							
INFORME DE ENSAYO N° 1120-22-TEM																																									
Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas ASTM C39/C39M - NTP 339.034																																									
Datos de Identificación del Cliente y Muestra																																									
<table border="1"> <tr> <td>Cliente:</td> <td>Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose</td> </tr> <tr> <td>Proyecto:</td> <td>Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022</td> </tr> <tr> <td>Muestra:</td> <td>Concreto con 17% de vacíos</td> </tr> <tr> <td>f_c (kg/cm²):</td> <td>N.E.</td> </tr> </table>	Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Muestra:	Concreto con 17% de vacíos	f_c (kg/cm²):	N.E.	<table border="1"> <tr> <td>Fecha de Emisión:</td> <td>30-12-22</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Moldeado:</td> <td>19-10-22</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Ensayo:</td> <td>26-10-22</td> </tr> </table>	Fecha de Emisión:	30-12-22	Fecha de Moldeado:	19-10-22	Fecha de Ensayo:	26-10-22																										
Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose																																								
Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022																																								
Muestra:	Concreto con 17% de vacíos																																								
f_c (kg/cm²):	N.E.																																								
Fecha de Emisión:	30-12-22																																								
Fecha de Moldeado:	19-10-22																																								
Fecha de Ensayo:	26-10-22																																								
RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código Identificación</th> <th>Edad Ensayo (días)</th> <th>Diámetro Promedio (cm)</th> <th>Área Sección (cm²)</th> <th>Carga Máxima (KN)</th> <th>Resistencia a la Compresión (MPa)</th> <th>Resistencia a la Compresión (kg/cm²)</th> <th>Tipo de Fractura*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>046-TEM-P28</td> <td>7</td> <td>10.14</td> <td>80.7</td> <td>188.0</td> <td>23.3</td> <td>238</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>046-TEM-P29</td> <td>7</td> <td>10.18</td> <td>81.4</td> <td>171.9</td> <td>21.1</td> <td>215</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>046-TEM-P30</td> <td>7</td> <td>10.13</td> <td>80.6</td> <td>180.0</td> <td>22.3</td> <td>228</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Promedio</td> <td>22.3</td> <td>227</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*	046-TEM-P28	7	10.14	80.7	188.0	23.3	238	2	046-TEM-P29	7	10.18	81.4	171.9	21.1	215	2	046-TEM-P30	7	10.13	80.6	180.0	22.3	228	2	Promedio					22.3	227		
Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*																																		
046-TEM-P28	7	10.14	80.7	188.0	23.3	238	2																																		
046-TEM-P29	7	10.18	81.4	171.9	21.1	215	2																																		
046-TEM-P30	7	10.13	80.6	180.0	22.3	228	2																																		
Promedio					22.3	227																																			
NOTAS: <ol style="list-style-type: none"> El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M. El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M. Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas. El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados <p>* Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual</p>																																									
 MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Gerente General CIP N° 248191		 Ing. Oswaldo David Díaz Pino Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Jefe de laboratorio CIP N° 275591																																							

Figura 40

Certificado de ensayo de resistencia a la compresión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 28 días



TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1121-22-TEM

Ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
ASTM C39/C39M - NTP 339.034

Datos de Identificación del Cliente y Muestra

Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeado:	19-10-22
Muestra:	Concreto con 17% de vacíos	Fecha de Ensayo:	16-11-22
f'c (kg/cm²):	N.E.		

RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION

Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Sección (cm ²)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Tipo de Fractura*
046-TEM-P31	28	10.26	82.6	260.7	31.6	322	2
046-TEM-P32	28	10.23	82.1	259.8	31.6	323	2
046-TEM-P33	28	10.30	83.2	256.5	30.8	314	2
046-TEM-P34	28	10.20	81.6	241.2	29.5	301	2
046-TEM-P35	28	10.20	81.7	262.0	32.1	327	2
046-TEM-P36	28	10.24	82.3	244.3	29.7	303	2
				Promedio	30.9	315	

NOTAS:

- El muestreo, moldeo y custodia in-situ de los testigos hasta el recojo, ha sido efectuado bajo responsabilidad del cliente, según las normas ASTM C172/C172M y ASTM C31/C31M.
- El curado de los testigos se realizó en conformidad con las normas ASTM C511 y ASTM C31/C31M
- Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022, cumpliendo la norma ASTM C39/C39M.
- Como elementos de distribución de carga se emplearon pads de neopreno, según norma ASTM C1231/C1231M
- Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
- El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados

* Según ASTM C39, Se debe reportar el tipo de fractura si es diferente al cono usual




MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 41

Certificado de ensayo de resistencia a la flexión del Concreto Permeable con 13% de vacíos a 28 días



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1122-22-TEM

Ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

NTP 339.078 - ASTM C78

Datos de Identificación del Cliente y Muestra


Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeo:	20-10-22
Muestra:	Concreto con 13% de vacíos	Fecha de Ensayo:	17-11-22
F_c (kg/cm²):	N.E.		

RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA FLEXION


Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Ancho Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Longitud Tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	Ubicación de la Falla
046-TEM-V01	28	14.9	15.0	49.0	40.0	5.9	59.7	Tercio central
046-TEM-V02	28	14.9	15.2	49.1	38.3	5.5	55.7	Tercio central
046-TEM-V03	28	15.2	15.2	49.1	41.0	5.7	58.4	Tercio central
Promedio						5.7	57.9	

NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte a laboratorio y curado han sido realizados por el solicitante o responsable.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (F_b), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022.
- Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
- El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados.




MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 42

Certificado de ensayo de resistencia a la flexión del Concreto Permeable con 15% de vacíos a 28 días



TEM
TECNOLOGÍA EN ENSAYO DE MATERIALES

RUC: 20608132016
Contacto: 936194709-989712719
Email: ventas@tem-concrete.com

INFORME DE ENSAYO N° 1123-22-TEM

Ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.
NTP 339.078 - ASTM C78

Datos de Identificación del Cliente y Muestra


Cliente:	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Fecha de Emisión:	30-12-22
Proyecto:	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Fecha de Moldeo:	20-10-22
Muestra:	Concreto con 15% de vacíos	Fecha de Ensayo:	17-11-22
f_c (kg/cm²):	N.E.		

RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA FLEXION


Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Ancho Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Longitud Tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	Ubicación de la Falla
046-TEM-VD4	28	15.0	15.5	49.0	47.4	6.4	65.7	Tercio central
046-TEM-VD5	28	15.0	15.3	49.0	46.4	6.5	66.1	Tercio central
046-TEM-VD6	28	15.0	15.4	49.0	40.2	5.5	56.5	Tercio central
Promedio						6.2	62.7	

NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte a laboratorio y curado han sido realizados por el solicitante o responsable.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (F_b), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022.
- Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas.
- El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados.



MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Gerente General
CIP N° 248191



Ing. Oswaldo David Díaz Pino
Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C.
Jefe de laboratorio
CIP N° 275591

Figura 43

Certificado de ensayo de resistencia a la flexión del Concreto Permeable con 17% de vacíos a 28 días




		RUC: 20608132016 Contacto: 936194709-989712719 Email: ventas@tem-concrete.com																																														
INFORME DE ENSAYO N° 1124-22-TEM																																																
Ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. NTP 339.078 - ASTM C78																																																
Datos de Identificación del Cliente y Muestra																																																
<table border="1"> <tr> <td>Cliente :</td> <td>Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose</td> </tr> <tr> <td>Proyecto :</td> <td>Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022</td> </tr> <tr> <td>Muestra :</td> <td>Concreto con 17% de vacíos</td> </tr> <tr> <td>f'c (kg/cm²) :</td> <td>N.E.</td> </tr> </table>	Cliente :	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose	Proyecto :	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022	Muestra :	Concreto con 17% de vacíos	f'c (kg/cm²) :	N.E.	<table border="1"> <tr> <td>Fecha de Emisión:</td> <td>30-12-22</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Moldeo:</td> <td>20-10-22</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Ensayo:</td> <td>17-11-22</td> </tr> </table>	Fecha de Emisión:	30-12-22	Fecha de Moldeo:	20-10-22	Fecha de Ensayo:	17-11-22																																	
Cliente :	Ascon Orbegoso, Renzo Burga Angulo, Jose																																															
Proyecto :	Pavimentos permeables como alternativa para la atenuación de impactos meteorológicos en el entorno urbano de la ciudad de Trujillo 2022																																															
Muestra :	Concreto con 17% de vacíos																																															
f'c (kg/cm²) :	N.E.																																															
Fecha de Emisión:	30-12-22																																															
Fecha de Moldeo:	20-10-22																																															
Fecha de Ensayo:	17-11-22																																															
RESULTADOS DE ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE RESISTENCIAS A LA FLEXION																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código Identificación</th> <th>Edad Ensayo (días)</th> <th>Ancho Promedio (cm)</th> <th>Altura Promedio (cm)</th> <th>Longitud Tramo (cm)</th> <th>Carga Máxima (KN)</th> <th>Resistencia a la Flexión (MPa)</th> <th>Resistencia a la Flexión (kg/cm²)</th> <th>Ubicación de la Falla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>046-TEM-V07</td> <td>28</td> <td>15.0</td> <td>15.5</td> <td>49.0</td> <td>44.7</td> <td>6.1</td> <td>61.9</td> <td>Tercio central</td> </tr> <tr> <td>046-TEM-V08</td> <td>28</td> <td>15.0</td> <td>15.0</td> <td>49.0</td> <td>50.7</td> <td>7.4</td> <td>75.0</td> <td>Tercio central</td> </tr> <tr> <td>046-TEM-V09</td> <td>28</td> <td>15.0</td> <td>15.0</td> <td>49.0</td> <td>52.9</td> <td>7.7</td> <td>78.3</td> <td>Tercio central</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Promedio</td> <td>7.0</td> <td>71.8</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Ancho Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Longitud Tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	Ubicación de la Falla	046-TEM-V07	28	15.0	15.5	49.0	44.7	6.1	61.9	Tercio central	046-TEM-V08	28	15.0	15.0	49.0	50.7	7.4	75.0	Tercio central	046-TEM-V09	28	15.0	15.0	49.0	52.9	7.7	78.3	Tercio central	Promedio						7.0	71.8				
Código Identificación	Edad Ensayo (días)	Ancho Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Longitud Tramo (cm)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la Flexión (MPa)	Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)	Ubicación de la Falla																																								
046-TEM-V07	28	15.0	15.5	49.0	44.7	6.1	61.9	Tercio central																																								
046-TEM-V08	28	15.0	15.0	49.0	50.7	7.4	75.0	Tercio central																																								
046-TEM-V09	28	15.0	15.0	49.0	52.9	7.7	78.3	Tercio central																																								
Promedio						7.0	71.8																																									
NOTAS: <ol style="list-style-type: none"> El muestreo, elaboración de testigos, transporte a laboratorio y curado han sido realizados por el solicitante o responsable. La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente. Los ensayos se realizaron en una prensa de concreto digital marca A&A INSTRUMENTS Modelo STYE-2000 con N° Serie 210406 de 2,000 KN de capacidad con certificado de calibración N° LFP-026-2022. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para las muestras ensayadas, en las condiciones en que fueron recibidas. El laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente, con respecto a los testigos ensayados, que pueda afectar la validez de los resultados. 																																																
 MSc. Ing. Wilmer Vásquez Díaz Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Gerente General CIP N° 248191		 Ing. Oswaldo David Díaz Pino Tecnología en Ensayo de Materiales S.A.C. Jefe de laboratorio CIP N° 275591																																														

Figura 44

Certificado de ensayo proctor del suelo de Av. Antenor Orrego

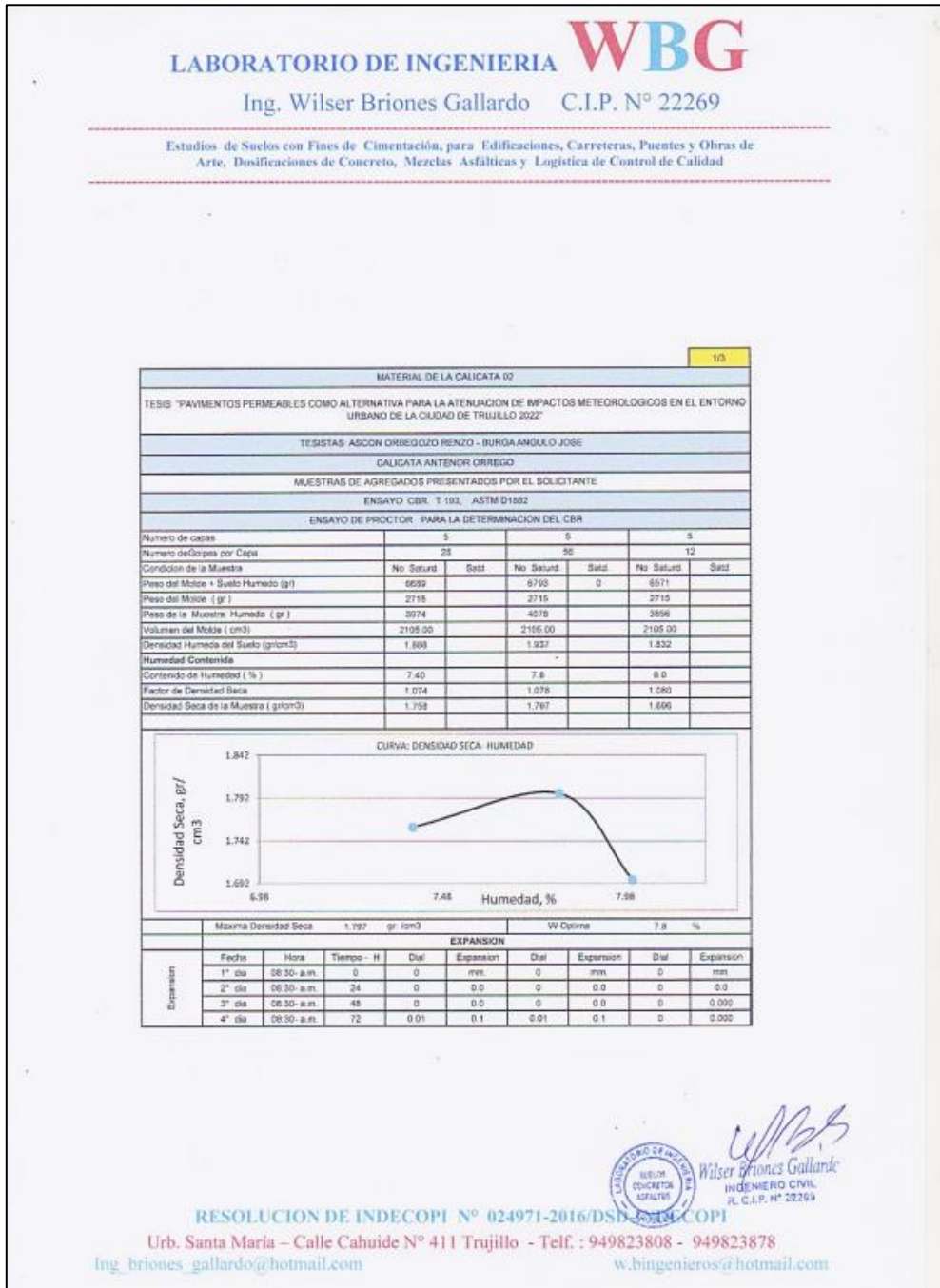


Figura 45

Certificado de ensayo carga - penetración del suelo de Av. Antenor Orrego

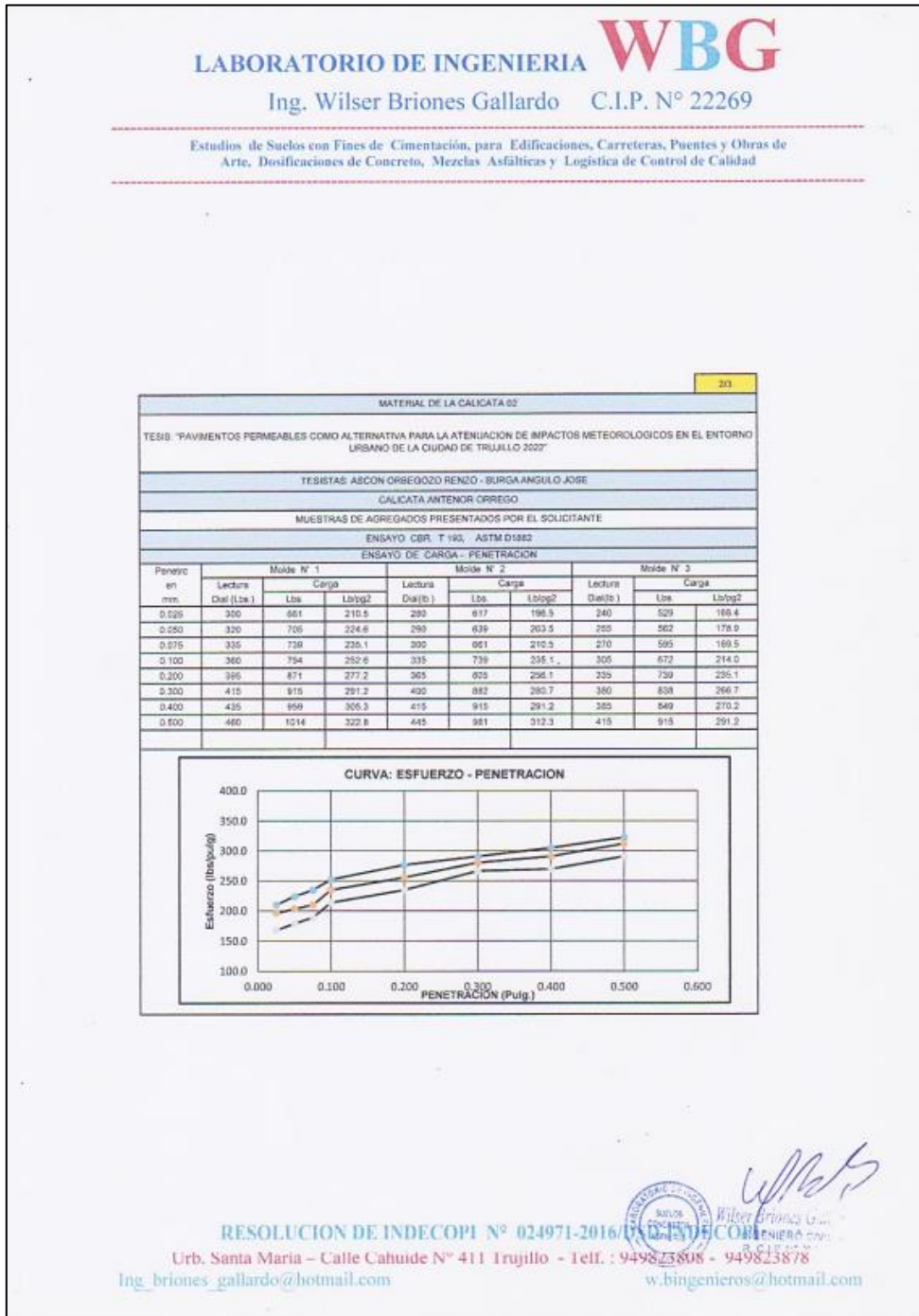


Figura 46

Certificado de curva de óptima densidad seca del suelo de Av. Antenor Orrego

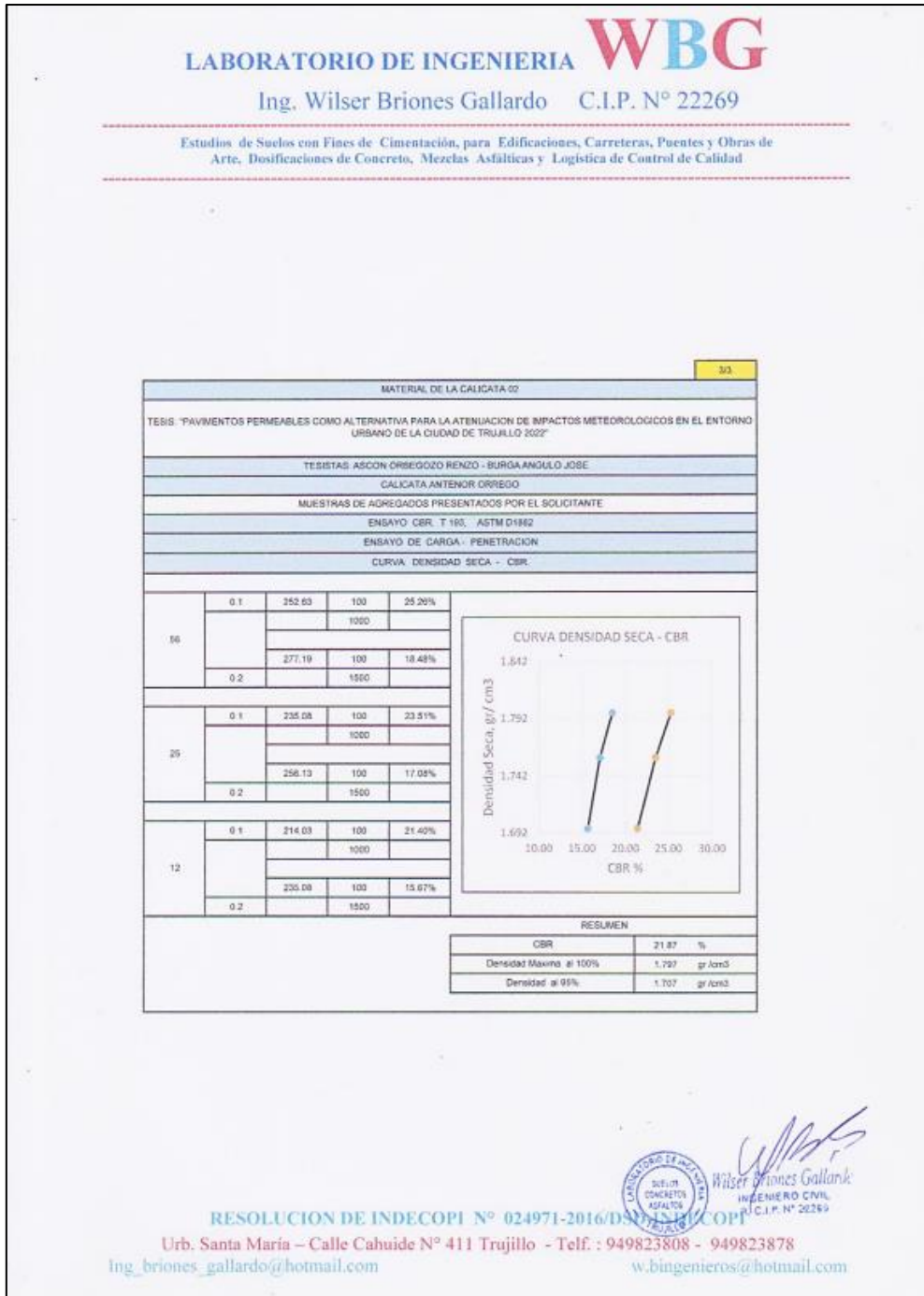


Figura 47

Certificado de análisis granulométrico del suelo de Av. Antenor Orrego

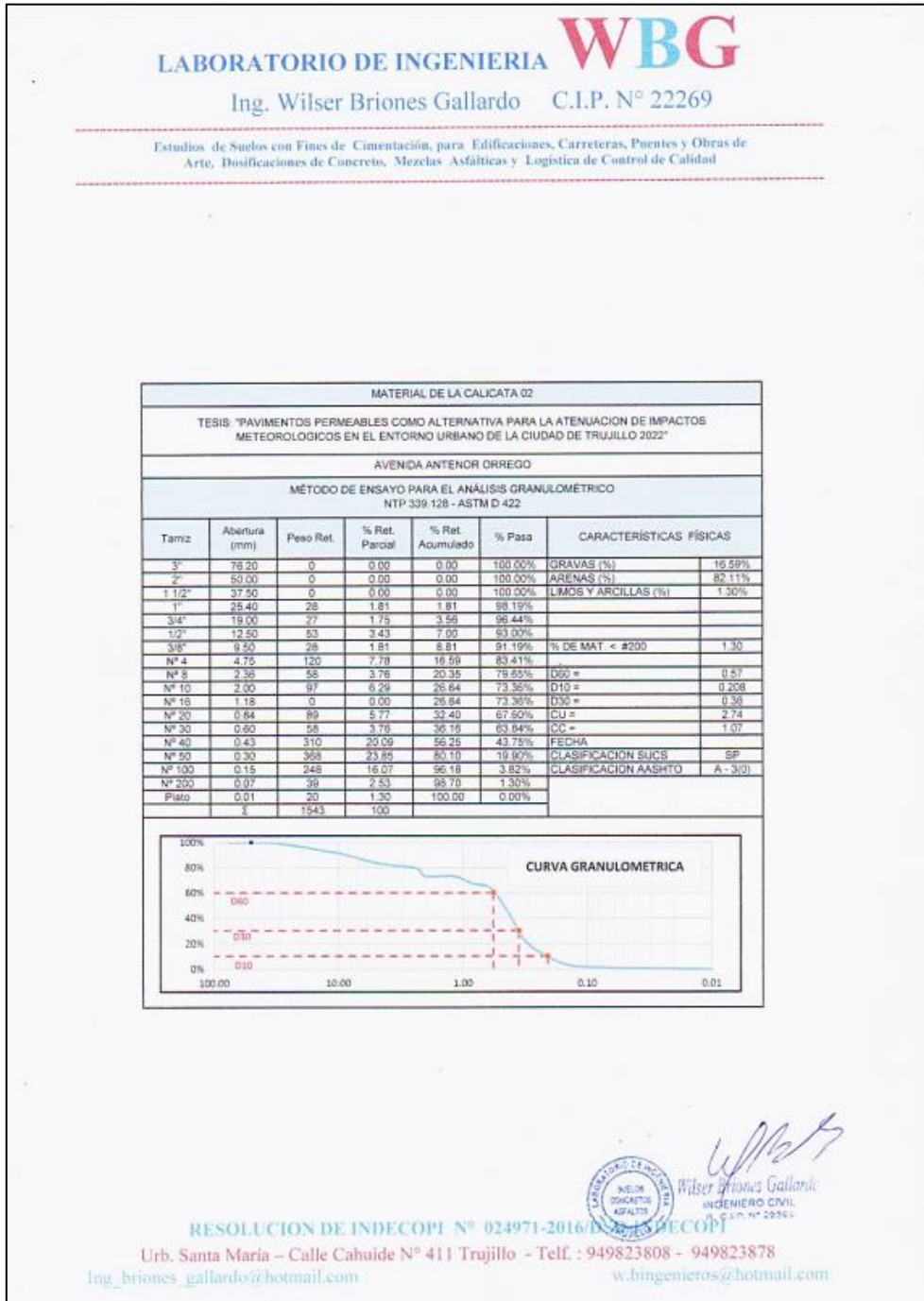


Figura 48

Certificado de ensayo de contenido de humedad, peso específico y contenido de sales solubles del suelo de Av. Antenor Orrego

LABORATORIO DE INGENIERIA WBG


Ing. Wilser Briones Gallardo C.I.P. N° 22269

Estudios de Suelos con Fines de Cimentación, para Edificaciones, Carreteras, Puentes y Obras de Arte, Dosisaciones de Concreto, Mezclas Asfálticas y Logística de Control de Calidad

MATERIAL DE LA CALICATA 02		
TESIS: "PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA PARA LA ATENUACION DE IMPACTOS METEOROLOGICOS EN EL ENTORNO URBANO DE LA CIUDAD DE TRUJILLO 2022"		
Información Técnica y Muestras Presentadas por el Solicitante		
PROPIEDADES DEL TERRENO NATURAL		
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
PROCEDIMIENTO	Muestra N° 1	Muestra N° 2
Peso M. Humeda + Tara	89.0	87.0
Peso M. Seca + Tara	87.0	85.0
Peso Cápsula	16.0	16.0
Peso de la Muestra seca	71.0	69.0
Peso del Agua	2.0	2.0
Humedad	0.0282	0.0290
% de Humedad Natural	2.82	2.90
% de Humedad Natural, Promedio	2.86	

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO		
PROCEDIMIENTO	Muestra N° 1	Muestra N° 2
Peso Muestra Seca	103.0	103.0
Volumen Inicial del Agua	300.0	300.0
Volumen Agua + M. Seca	340.0	340.0
Diferencia de Volúmenes	40	40
Peso específico del Material	2.58	2.58
Peso específico del Agua	1.00	1.00
Peso específico del Material	2.58	2.58
Peso específico del Material, Promedio	2.58	

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES		
PROCEDIMIENTO	Muestra N° 1	Muestra N° 2
P. Recipiente + Agua Dest. + Material	106	105
Peso del Recipiente	50	50
Peso del Agua Destilada + Sales	56	55
Peso del Agua destilada	55.9	54.9
Peso de la Sal	0.1	0.1
Contenido de sales	0.0018	0.0018
Contenido de sales (%)	0.18%	0.18%
Contenido de sales (%), promedio	0.18%	
0.00 hasta 0.10 = insignificante		
0.10 hasta 0.20 = Moderada		
0.20 hasta 2.00 = Severa		
Mayor de 2.00 = Muy severa		



Wilser Briones Gallardo
INGENIERO CIVIL
C.I.P. N° 22269

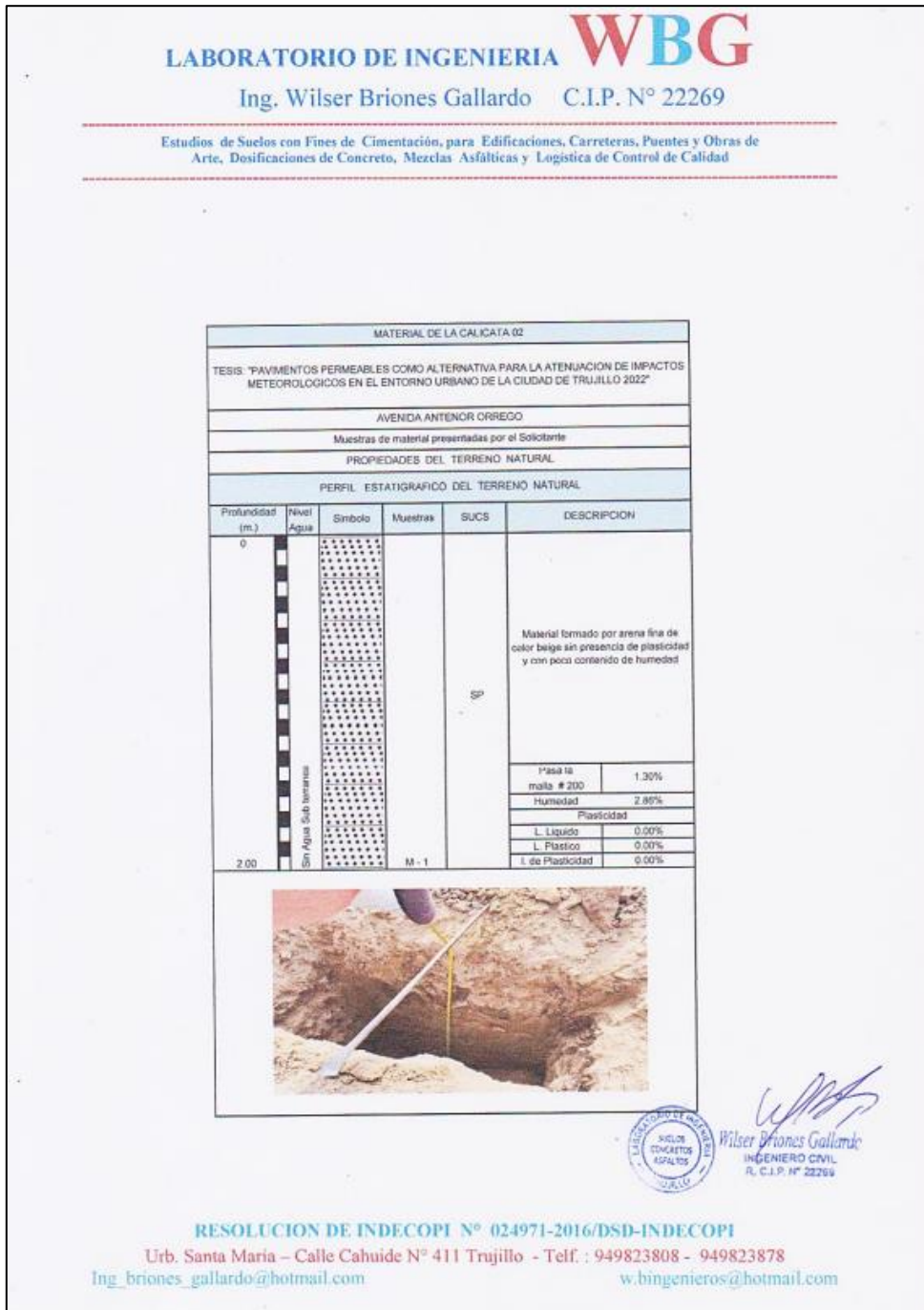
RESOLUCION DE INDECOPI N° 024971-2016/DSD-IN

Urb. Santa María - Calle Cahuide N° 411 Trujillo - Telf. : 949823808 - 949823878

Ing. briones_gallardo@hotmail.com w.bingenieros@hotmail.com

Figura 49

Certificado de perfil estratigráfico del suelo de Av. Antenor Orrego



ANEXO N.º 07. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 50

Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto permeable



Figura 51

Elaboración de especímenes prismáticos de concreto permeable



Figura 52

Medición de probetas de concreto permeable previamente a ser ensayadas en resistencia a la compresión



Figura 53

Medición de vigas de concreto permeable previamente a ser ensayadas en resistencia a la flexión



Figura 54

Ejecución del ensayo de resistencia a la compresión del concreto permeable mediante rotura de probetas



Figura 55

Ejecución del ensayo de resistencia a la flexión del concreto permeable mediante rotura de vigas



Figura 56

Fractura de probetas de concreto permeable posteriormente a ser ensayas en prensa hidráulica



Figura 57

Fractura de vigas de concreto permeable con falla al tercio central posteriormente a ser ensayas en prensa hidráulica



Figura 58

Ensayo de permeabilidad de probetas de concreto permeable por medio del uso del permeámetro



Figura 59

Estudio de tráfico vial y conteo vehicular de Avenida Antenor Orrego



Figura 60

Exploración y perforación mecánica de suelo en Avenida Antenor Orrego

