

**UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**“DISEÑO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE,
CON AGREGADOS DE LA CANTERA CHULLQUI,
PARA EL DRENAJE URBANO EN
ESTACIONAMIENTOS EN LA CIUDAD DE HUÁNUCO”**

**TESISTAS : FRANCY AZAEL FALCON BALDEON
JUAN MANUEL SANTOS NIETO**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**HUANUCO – PERU
2016**

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso por regalarme la vida y darme las fuerzas para alcanzar mis metas y por todas sus bendiciones

A Esas Personas Especiales que ya no están conmigo pero que desde el cielo guiaron mi camino y me ayudaron a continuar

A mis Padres por todo el amor, paciencia y apoyo que me brinda día con día.

A mis Hermanos por compartir, apoyarme en este camino para lograr mi meta

A mi Tíos por su cariño incondicional, interés, brindarme su apoyo y por compartir conmigo este triunfo

A mis Amigos por su amistad y por su ayuda en ciertos momentos para lograr este triunfo

RESUMEN

El trabajo de investigación denominado “Diseño de un pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Chullqui, para el drenaje urbano en estacionamientos en la ciudad de Huánuco”.

Se obtuvo los agregados de la cantera Chullqui para ser analizado tanto como mecánica y físicamente, con un tipo de cemento I, donde se aplicó el diseño de pavimento poroso para estacionamiento en la zona urbana de la ciudad de Huánuco en la cuadra 7 del Jr. Mayro.

La investigación es aplicada con un enfoque mixto, tipo y nivel descriptivo, diseño experimental. La población del estudio fue de 9 unidades muestrales de concreto poroso, las cuales fueron extraídas de la cantera. Se desarrolló pruebas de compresión y flexión para determinar su grado de resistencia y así proponer un diseño de pavimento poroso.

Los resultados finales concluyeron que el más apropiado para el diseño del pavimento poroso en el estacionamiento de la zona urbana de la ciudad de Huánuco, el que mayor resultado tuvo es con $a/c = 0.28$, % vacíos = 15 a un tiempo de curación de 28 días, resulta un esfuerzo cortante corregido de 82.73 kg/cm² y esfuerzo de flexión de 27.09 kg/cm².

Palabras claves: pavimento poroso, resistencia a flexión y compresión, porcentaje de vacíos, relación agua - cemento.

SUMMARY

The research work entitled "Design of a permeable rigid pavement, with aggregates of the Chullqui quarry, for the urban drainage in parking lots in the city of Huánuco".

The aggregates of the Chullqui quarry were obtained to analyze as much as mechanically and physically, with a type of cement I, where the porous pavement design was applied for parking in the urban area of the city of Huánuco in block 7 of Jr. Mayro.

The research is applied with a mixed approach, type and descriptive level, experimental design. The population of the study was 9 sample units of porous concrete, which were extracted from the quarry. Compression and bending tests were developed to determine their degree of strength and thus to propose a porous pavement design.

The final results concluded that the most appropriate for the design of the porous pavement in the urban area of the city of Huánuco, which had the highest result with a / c = 0.28, % empty = 15 at a time of cure 28 days, a corrected shear stress of 82.73 kg / cm² and a bending stress of 27.09 kg / cm².

Key words: porous pavement, flexural strength and compression, percentage of voids, water - cement ratio.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
RESUMEN	III
SUMMARY	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
1.1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA:.....	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	5
1.2.1. <i>Problema general:</i>	5
1.2.2. <i>Problemas específicos:</i>	5
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. <i>Objetivo general:</i>	6
1.3.2. <i>Objetivos específicos:</i>	6
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA:.....	7
1.5. LIMITACIONES:.....	8
1.6. ALCANCES:	8
CAPITULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:	10
2.1.1. <i>Nivel internacional</i>	10
2.1.2. <i>Nivel nacional</i>	14
2.2. BASES TEÓRICAS:	16
2.2.1. <i>Concreto poroso</i>	16
2.2.2. <i>Diseño del concreto poroso</i>	16
2.2.3. <i>Parámetros de dosificación</i>	16
2.2.4. <i>Diseño de mezcla de Concreto Poroso</i>	20
2.2.5. <i>Aplicaciones</i>	24
2.2.6. <i>Ensayos en estado fresco en el concreto poroso</i>	28
2.2.7. <i>Ensayos en estado endurecido en el concreto poroso</i>	31
2.2.8. <i>Diseño de mezcla del pavimento permeable</i>	34
2.2.9. <i>Mezclas asfálticas porosas o autodrenantes</i>	34
2.2.10. <i>Ventajas de las mezclas drenantes</i>	37
2.2.11. <i>Desventajas de las mezclas drenantes</i>	38
2.2.12. <i>Características del sistema</i>	39
2.2.13. <i>Resumen del sistema</i>	40
2.2.14. <i>Drenaje</i>	41

2.3. MARCO CONCEPTUAL	42
CAPITULO III	48
MARCO METODOLÓGICO	48
3.1. HIPÓTESIS GENERAL:	49
3.2. HIPÓTESIS NULA:	49
3.3. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN:.....	49
3.4. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN:	49
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:	50
3.6. SISTEMA DE VARIABLES – DIMENSIONES E INDICADORES:	50
3.7. OPERACIÓN DE VARIABLES.....	51
3.8. DETERMINACIÓN DEL UNIVERSO / POBLACIÓN:.....	51
3.9. SELECCIÓN DE LA MUESTRA:	51
3.10. FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:.....	52
3.11. PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS:	52
CAPITULO IV.....	53
RESULTADO Y ANÁLISIS DEL PAVIMENTO POROSO.....	53
4.1. EJECUCIÓN DE PRUEBAS A LOS AGREGADOS.....	54
4.1.1. <i>Ensayo granulométrico de agregado grueso ASTM C-136</i>	54
4.1.2. <i>Método de prueba estándar para densidad de masa (“peso unitario”) y vacíos en agregado ASTM C-29</i>	58
4.1.3. <i>Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa, (gravedad específica) y absorción de agregado grueso ASTM C-12760</i>	
4.2. DISEÑO DE MEZCLA.....	64
4.3. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO	69
4.4. ELABORACIÓN DE LAS VIGAS DE CONCRETO	72
4.5. ENSAYO DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO	73
4.6. RESULTADOS:.....	77
4.7. ENSAYO DE VIGUETAS DE CONCRETO	77
4.8. ENSAYO DE INFILTRACIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO	77
4.9. APLICACIÓN DEL PAVIMENTO HIDRÁULICO PERMEABLE EN UN PROYECTO DE ESTACIONAMIENTO EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE HUANUCO, EN EL JR MAYRO CUADRA 7.....	78
CAPITULO V.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXO: ENSAYOS DE LABORATORIO	97

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA N° 1: VALORES EFECTIVOS B/BO	21
TABLA N° 2: CALIDAD DE DRENAJE	41
TABLA N° 3: VALORES PARA EL COEFICIENTE DE DRENAJE CD.....	42
TABLA N° 4: OPERACIÓN DE VARIABLES	51
TABLA N° 5: TAMAÑO DE LA MUESTRA SEGÚN PESO NOMINAL.....	55
TABLA N° 6: ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO.....	57
TABLA N° 7: PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE MASA	59
TABLA N° 8: TAMAÑO DE LA MUESTRA SEGÚN PESO NOMINAL.....	61
TABLA N° 9: MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD RELATIVA	63
TABLA N° 10: CÁLCULO DEL CONCRETO POROSO.....	64
TABLA N° 11: RESULTADOS DE LAS PROBETAS ENSAYADAS.....	77
TABLA N° 12: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ESTACIONAMIENTO EN PRUEBA.....	80
TABLA N° 13: LIMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO.....	81
TABLA N° 14: ENSAYO DE PROCTOR	82
TABLA N° 15: ENSAYO DE CBR, DEL ESTACIONAMIENTO.....	84
TABLA N° 16: RESULTADO DEL CBR DEL ESTACIONAMIENTO.....	85

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: RELACIÓN DE PORCENTAJE DE VACÍOS.....	22
GRÁFICO N° 2: DENSIDAD ÓPTIMA.....	83
GRÁFICO N° 3: CURVAS DEL CBR.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO EXPERIMENTAL EN EL CHEMIN DEPARTAMENTAL 44.	25
FIGURA N° 2: ENSAYO PESO UNITARIO (OLLA DE WASHINGTON-PRÓCTOR ESTÁNDAR)..	29
FIGURA N° 3: ENSAYO DEL CONO INVERTIDO (CONO DE ABRAMS)	30
FIGURA N° 4: EQUIPOS DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD	32
FIGURA N° 5: DEMOSTRATIVO COMPARATIVO FOTOGRÁFICO DE LAS DIFERENCIAS ENTRE CAPAS DE RODADURA CONVENCIONALES Y DRENANTES.	35
FIGURA N° 6: ACABADO DE MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE.....	35
FIGURA N° 7: COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES.....	36
FIGURA N° 8: PARTES DE PAVIMENTO DE CONCRETO DRENANTES	40
FIGURA N° 9: UBICACIÓN DEL ESTACIONAMIENTO EN PRUEBA.....	79
FIGURA N° 10: ESPESORES DE DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO.	90

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA N° 1: PROCEDIMIENTO DEL CUARTEO.	56
FOTOGRAFÍA N° 2: PESO Y ZARANDEO DE LA MUESTRA CUARTEADA.....	56
FOTOGRAFÍA N° 3: PESO Y MEDIA DEL MOLDE PARA DENSIDAD DE MASA.....	58
FOTOGRAFÍA N° 4: PESO DEL MOLDE CON EL AGREGADO	59
FOTOGRAFÍA N° 5: LAVADO DEL AGREGADO	61
FOTOGRAFÍA N° 6: SECADO Y PESADO EL AGREGADO.....	62
FOTOGRAFÍA N° 7: SE OBSERVA COLOCANDO LOS AGREGADOS EN EL TROMPITO MEZCLADOR.....	70
FOTOGRAFÍA N° 8: SE PUEDE OBSERVAR QUE EL REVENIMIENTO ES CERO.	71
FOTOGRAFÍA N° 9: LAS PROBETAS SE DESMOLDARON 24 HORAS DESPUÉS E INMEDIATAMENTE COLOCADAS EN LA POZA DE CURACIÓN.....	72
FOTOGRAFÍA N° 10: COMPACTANDO LAS VIGUETAS DE CONCRETO.	73
FOTOGRAFÍA N° 11: RETIRO DE LA POZA DE CURACIÓN PARA SU ENSAYO DE ROTURA.	74
FOTOGRAFÍA N° 12: PROCEDIMIENTO DE CADA PROBETA, PARA SU RESPECTIVA ROTURA.	75
FOTOGRAFÍA N° 13: SE MUESTRA QUE LA MAYORÍA DE LOS TESTIGOS TUVIERON UNA FALLA POR CORTANTE, Y ALGUNOS TUVIERON UNA FALLA EN LA BASE DE LAS PROBETAS.	76
FOTOGRAFÍA N° 14: CALICATA PARA ESTACIÓN DE PRUEBA.....	80

INTRODUCCIÓN

El pavimento de concreto permeable es una alternativa respecto al pavimento de concreto convencional para vías de bajo tráfico, estacionamientos vehiculares, aceras, ciclovías, etc. Una situación incómoda que puede generarse debido a deficiencias en el diseño hidráulico o a las condiciones topográficas de la vía en calles construidas con el concreto convencional son las películas de agua estancada en la superficie del pavimento, generando así la pérdida de adherencia entre la llanta del vehículo con la superficie del pavimento produciendo una inestabilidad de contacto entre estos, fenómeno conocido como hidropneumático; además los períodos intensos de lluvias, pueden hacer colapsar los sistemas de drenaje, por lo que se necesita que disminuya el caudal para no saturar dicho sistema.

Se conoce que Tingo María, Pucallpa y Huánuco son ciudades lluviosas y presentan terrenos de baja pendiente, lo cual dificulta la evacuación del agua, acumulándose agua en el pavimento.

Las presiones de los pulsos de agua que se dan por la acción de las ruedas pueden acumular su efecto dañino causando, no sólo erosión y expulsión de material, sino la eliminación por levantamiento del material asfáltico que compone las capas estabilizadas de base y subbase, prueba de eso se puede observar la carretera central, los pavimentos de las calles de la ciudad de Huánuco y de Tingo María.

Por otro lado el transporte en tiempos de lluvia genera problemas viales tales como: la pérdida de adherencia del vehículo generando accidentes de tránsito, este problema se da por la presencia de una capa de agua ubicada en la

superficie de rodadura, la solución de este problema es que el agua que se encuentra en la superficie se evacue rápidamente y es allí donde se emplea las mezclas drenantes.

Para el desarrollo de la tesis se plantearon los siguientes capítulos:

Capítulo I: Se titula planteamiento del problema, los objetivos, la justificación.

Capítulo II: Es el marco teórico, la teoría que respalda la investigación y el método del PCI.

Capítulo III: La metodología a emplear, el enfoque del desarrollo de la tesis, variables, hipótesis.

Capítulo IV: La aplicación y el diseño del pavimento poroso, en la ciudad de Huánuco en Jr. Mayro cuadra 7.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Fundamentación del problema:

En la ciudad de Huánuco en épocas de invierno, a causa de las precipitaciones en la zona urbana de la ciudad tiende a inundarse por efecto de las lluvias, por más que cuenta con un sistema de drenaje, las calles se inunda. En el análisis del transporte la ciudad de Huánuco en la zona urbana cuenta con un pavimento de hidráulico, con un tráfico medianamente pesado como moto taxi y automóviles, lo cual se puede proponer un pavimento permeable y/o poroso para los estacionamientos o donde hay tráfico liviano, por efecto del clima.

El extenso uso de pavimentos impermeables trae consigo, sobre todo en áreas de un importante desarrollo urbano, considerables problemas en la evacuación de las aguas de lluvias y en las condiciones de escurrimiento. El uso indiscriminado de estas estructuras en áreas urbanas, disminuye notoriamente la capacidad de recarga natural de agua en los terrenos, e incrementa de forma considerable el volumen y el caudal del escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de provocar inundaciones en los sectores más bajos de las urbanizaciones, sobre todo en zonas donde la Intensidad de lluvia es alta, propio de ciudades.

Ante el problema de escurrimiento superficial en las zonas urbanas, efecto isla calor, el hidroplaneo. El concreto permeable y/o poroso, es uno de los materiales de construcción que puede ser usado como pavimentos en vías de tráfico ligero, veredas, estacionamientos entre otros. Permitiendo el paso del agua a través de su estructura porosa, por lo que es considerado como un material de construcción sustentable, por su buen manejo de las aguas pluviales.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general:

¿En qué medida un diseño de pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Chullqui, permitirá un adecuado drenaje urbano en estacionamientos en la ciudad de Huánuco?

1.2.2. Problemas específicos:

- a. ¿Cuál será las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera de Chullqui?
- b. ¿Cuál será la relación entre el porcentaje de aire, relación agua/cemento (a/c), resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto permeable?
- c. ¿Cuál será el comportamiento mecánico que tiene el concreto permeable ante la resistencia a la compresión y a la permeabilidad?
- d. ¿Cuál será el costo del m³ del concreto permeable, utilizando agregados de la cantera de Chullqui?
- e. ¿Cuál será el Diseño Apropiado de la estructura de pavimento de concreto permeable para un tramo de prueba?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general:

Determinar una propuesta de diseño de pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Chullqui, para el drenaje urbano en estacionamientos en la ciudad de Huánuco.

1.3.2. Objetivos específicos:

- a. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera de Chullqui.
- b. Determinar la relación entre el porcentaje de aire, relación agua/cemento (a/c), resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto permeable.
- c. Evaluar el comportamiento mecánico que tiene el concreto permeable ante la resistencia a la compresión y a la permeabilidad.
- d. Determinar el costo del m³ del concreto permeable, utilizando agregados de la cantera de Chullqui.
- e. Determinar el Diseño de la estructura de pavimento de concreto permeable para un tramo de prueba.

1.4. Justificación e importancia:

La implementación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible ayuda a contrarrestar los efectos negativos de la urbanización en el ciclo hidrológico. Por medio de estos se mejora la calidad del agua lluvia en el sitio donde se produce, se puede obtener beneficio gracias al almacenamiento, no solo para el aprovechamiento del agua en las actividades diarias, sino en el control de inundaciones que con el cambio climático y la impermeabilidad de las zonas urbanizadas día a día se hace más presente (Ferguson, 2005).

Por lo tanto, los pavimentos permeables pueden llegar a ser parte de la solución a los problemas de inundaciones, debido a que el 70 por ciento de las zonas urbanizadas están constituidas por vías (Ferguson, 2005).

Por lo tanto, la aplicación de este pavimento hidráulico permeable en la zona urbana de la ciudad de Huánuco, no permitirá mejorar la transitabilidad y mejorar el confort de las vías urbanas. Este material puede ser usado como pavimentos en vías de tráfico ligero, veredas, estacionamientos entre otros. Permitiendo el paso del agua a través de su estructura porosa, por lo que es considerado como un material de construcción sustentable, por su buen manejo de las aguas pluviales; solucionando al problema de escurrimiento superficial. Además reduce el efecto isla calor, el hidroplaneo, aún con lluvia, permitiendo seguridad a los conductores y a los peatones. El concreto poroso es durable y resistente al tiempo.

1.5. Limitaciones:

- La investigación solo se realizó con cemento portland Andino tipo I.
- El no contar con experiencias de aplicación de este tipo de concreto en nuestro medio.
- El costo de los ensayos.
- Los ensayos al concreto poroso se limitaran a pruebas de asentamiento (slump), peso unitario, resistencia a la compresión y permeabilidad.
- No se emplearan aditivos.
- Agregados únicamente de la cantera de Chullqui

1.6. Alcances:

El alcance de este trabajo abarca en primer lugar procurar la investigación en nuestra Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura tanto de estudiantes y docentes, con estas acciones dar alcances a la comunidad de ingeniería y a la sociedad sobre el diseño de mezcla de concreto poroso, cuyos resultados de resistencia y permeabilidad, resulten aptos para aplicación en estructuras de pavimentos de tráfico ligero, veredas, estacionamientos entre otros, con una resistencia a la compresión mayor de 210 Kg/cm².

Además es necesario que los equipos que contamos en el laboratorio sean usados por tesis y investigadores de nuestra facultad.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación:

2.1.1. Nivel internacional

Los inicios de las mezclas drenantes tuvieron lugar en algunos aeropuertos del Reino Unido y luego en Estados Unidos bajo la forma de tratamiento superficial en capa de 0.02m, cuyo objetivo principal era evitar el hidroplaneo. Luego su uso comenzó a experimentar una evolución importante bajo el concepto de que la capa de rodadura fuera capaz de absorber las aguas. En Europa se introdujo a finales de los años 70 y en 1980 hizo su aparición en España, donde se generalizó su uso sólo a partir de 1985. Existen pavimentos drenantes con granulometrías continuas y discontinuas. Inicialmente se diseñaron con contenido de huecos entre el 15 y 18 %, pero la colmatación aparecía muy rápido con esta configuración, por lo que actualmente se exige un porcentaje mínimo de 20%. Se han desarrollado mezclas tan porosas que ya han bordeado el 28% de porcentaje de huecos.

Los pavimentos porosos o autodrenantes, son estructuras de hormigón o asfalto, fabricados con granulometrías sin finos, y que son en sí mismas permeables, escurriendo el agua a través de vacíos interconectados que generalmente alcanzan un valor entre 15 y 25% (Meininger, 1988; Debo & Reese, 1995; Ghafoori & Dutta, 1995).

Al ser estructuras construidas con materiales distintos a los utilizados comúnmente en pavimentos, el diseño de las mezclas de estos pavimentos requiere de un estudio más acabado.

Se define al Concreto Hidráulico Poroso, como un concreto con asentamiento cero y granulometría abierta, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y

agua. La mezcla de estos compuestos producirá un concreto endurecido con poros de diámetros de 0.002 a 0.012m que permiten que el agua lo atraviese fácilmente. El contenido de vacíos puede variar entre 15 y 35%, la tasa de drenaje del pavimento permeable varía de acuerdo al tamaño del agregado.

La resistencia y permeabilidad obtenidas con un pavimento poroso están determinadas por la mezcla que se va a utilizar. Las variables que afectan el comportamiento del concreto poroso son: granulometría, dosis de cemento, relación agua/cemento y contenido de vacíos. La granulometría utilizada resulta fundamental en las propiedades que tendrá el concreto poroso, tener un tamaño de agregado bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (del orden del 40%) y un tamaño máximo de árido de 0.012m, para permitir una adecuada terminación superficial.

Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el hormigón, perdiendo este su capacidad de infiltración. Es recomendable usar una dosis que fluctúe entre los 280 kg/m³ y los 415 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad. La dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua resultará una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Y una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

Actualmente, existe consenso sobre el hecho que la razón agua/cemento es en realidad una co-variable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio

para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico. Generalmente, este valor está en el rango de 0,24 a 0,45. Con un elevado contenido de vacíos, aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Este porcentaje de vacíos está determinado por la energía de compactación entregada, junto con las variables ya mencionadas. Para que una mezcla sea considerada porosa, debe tener como mínimo un 15% de vacíos. Se recomienda además que este contenido no supere el 35% por la poca estabilidad de la mezcla.

El diseño hidrológico e hidráulico del pavimento poroso debe tener en cuenta cuatro aspectos esenciales (Woods-Ballard et al., 2007):

- a. Estimar las características de percolación de la capa de pavimento.
- b. Determinar el volumen de almacenamiento (proporcionado por los poros de la sub-base) para alcanzar tasas de rendimiento adecuadas.
- c. Estimar la necesidad, y en su caso cuantificar, la capacidad del drenaje longitudinal adicional.
- d. Analizar la respuesta del pavimento ante eventos extremos de precipitación.

La capacidad de percolación de la propia capa de pavimento no suele ser un factor limitante en el diseño de éstos, pues suele ser al menos un orden de magnitud superior a las máximas intensidades de lluvia esperables. Por ejemplo, una tasa de percolación habitual a través de un pavimento de adoquines prefabricados de hormigón puede ser del orden de 4000 mm/h. Esta tasa se reduciría y estabilizaría con el tiempo debido a la colmatación, por lo que se suele recomendar en el diseño adoptar en este valor un factor de seguridad de 10.

La capacidad de almacenamiento en el propio pavimento depende directamente de las características del régimen de precipitación, de la capacidad de infiltración al terreno subyacente, de la capacidad del drenaje complementario y del área drenada al propio pavimento y está directamente relacionada con el espesor de cada una de las capas del pavimento y sus respectivos índices de huecos. No existen directrices estandarizadas en cuanto a la capacidad con que deben diseñarse los drenes de salida. En cualquier caso, su tratamiento no es muy distinto de la propia capacidad del terreno subyacente, puesto que no hacen sino suplementarla. Los drenes que vehiculan la salida del agua desde el pavimento permeable al punto de vertido suelen diseñarse para caudales no superiores a 5 l/s/ha.

Por último, aunque la concepción del pavimento poroso se realiza para que no se produzcan encharcamientos superficiales sobre el mismo, debe comprobarse para qué eventos extremos comenzaría pese a todo la escorrentía superficial. A modo de ejemplo, el Portland Stormwater Management Manual (City of Portland, 2008) establece como criterio de extremos que el pavimento esté correctamente diseñado para almacenar (sin formación de escorrentía superficial) el volumen de la tormenta de 10 años de periodo de retorno y duración 24 horas, y que se infiltre (o se evacue si la infraestructura cuenta con drenes) en menos de 30 horas. Los resultados muestran que existe una dosificación de hormigón poroso, distinta a las encontradas actualmente en la literatura internacional, que permite obtener resistencias hasta 20% más altas, manteniendo todavía una excelente capacidad hidráulica. Se determinó que una permeabilidad suficiente se puede obtener con un porcentaje real de huecos de 14%, y que agregar pasta de cemento en una proporción de 250 l/m³ permite maximizar la resistencia a flexo tracción de hormigones que utilizan diferentes razones a/c. Se encontraron relaciones entre el porcentaje de huecos y la permeabilidad del material,

y entre el porcentaje de huecos y la resistencia a flexo tracción a 28 días.

Las solicitudes a las que se ven sometidos los materiales empleados en la construcción de carreteras, ya sea por el incremento del volumen de tráfico y sus cargas, como por la necesidad de reducir al mínimo los trabajos de reconstrucción y mantenimiento, hace que el uso de asfaltos modificados con polímeros (como es el caso de las mezclas drenantes), desempeñen un papel cada vez más importante en las mezclas asfálticas como medio de conseguir pavimentos más duraderos, seguros, cómodos y rentables. Esto se debe a que en mezclas fabricadas con ligante modificado, se aprecia una menor degradación que en las mezclas con ligante convencional.

Existen requisitos y recomendaciones para proyectar pavimentos porosos como las características del terreno, consideraciones de tráfico y el área a drenar.

2.1.2. Nivel nacional

Se puede citar la “INVESTIGACIÓN EN CONCRETO POROSO” realizada por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. AREQUIPA – PERÚ.

Este estudio tuvo como conclusiones:

- ✓ Se comprueba que la forma de los agregados tiene influencia en la compactación del concreto al ser colocado, se determina que el agregado granular necesita mayor cantidad de pasta para alcanzar el porcentaje de vacíos de diseño, en comparación con el agregado natural redondeado ya que la forma redondeada facilita en acomodo de las partículas.

- ✓ El peso unitario del concreto poroso varió entre 2000 kg/m³ y 1600 kg/m³ para un 15% a 30% de vacíos, respectivamente.
- ✓ El peso unitario del concreto poroso depende principalmente del porcentaje de vacíos y las propiedades físicas del agregado grueso en particular del peso específico del agregado.
- ✓ La evolución de la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días en promedio es de 65%-70% para los 7 días y 85%-90% para 14 días, comparado con el concreto convencional presenta el mismo comportamiento.
- ✓ La resistencia del concreto poroso varía entre 155 kg/cm² y 55 kg/cm² para 15% y 30% de vacíos respectivamente.
- ✓ La resistencia a tensión varía entre 18 kg/cm² y 10 kg/cm² para un 15% y 30% de vacíos respectivamente, estas resistencias representa el 10%-15% de la resistencia a compresión.
- ✓ Se recomienda el ensayo de tensión indirecta para la obtención de la resistencia a tensión del concreto poroso por ser más conservador y no presentar mucha variación en los datos.
- ✓ Durante el vaciado del concreto poroso, se determinó que el tiempo de mezclado debe ser como mínimo de 2 - 4 minutos por trabajar con relaciones agua/cemento bajas (0.35-0.45).
- ✓ El concreto poroso puede ser utilizado para la construcción de veredas, estacionamiento, ciclo vías y pavimentos de tráfico ligero ya que el concreto poroso ofrece resistencias tanto a compresión y tensión para estas solicitaciones conservando un alta permeabilidad.

2.2. Bases teóricas:

2.2.1. Concreto poroso

El concreto poroso es una mezcla de agregado grueso, cemento, agua, y poco a ninguna arena. También conocido como el hormigón "sin finos" o poroso, esta mezcla crea una estructura de célula abierta, permitiendo al agua de lluvia infiltrarse al suelo subyacente. Simulando la superficie de tierra natural, el concreto permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia.

El termino de concreto poroso normalmente se describe como un concreto sin revenimiento (asentamiento).

2.2.2. Diseño del concreto poroso

El procedimiento de diseño del concreto poroso o permeable difiere mucho con relación al concreto convencional ya que este se basa en la relación agua/cemento o la resistencia del concreto ya sea compresión como a tensión, en cambio en el concreto poroso lo más importante es el porcentaje de vacíos y el volumen de pasta, ya que el porcentaje de vacíos determinara la velocidad de infiltración (en consecuencia la permeabilidad del concreto poroso), en cambio el volumen de pasta asegura la adherencia entre las partículas del agregado grueso.

Por ello se deben seguir las recomendaciones del (ACI-211.3R, 2000), donde se establece un procedimiento para obtener las distintas cantidades de materiales que forman el concreto poroso.

2.2.3. Parámetros de dosificación

La resistencia y permeabilidad en un pavimento permeable están determinadas por el diseño de mezcla del concreto poroso que se va

utilizar. Los parámetros de dosificación en el concreto poroso son los siguientes:

2.2.3.1. Tamaño máximo o granulometría del agregado grueso

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de Norma ASTM C33-07 y ASTM D448-07. La estructura interna de un concreto poroso puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por el mortero que forma la arena y el conglomerante; estos puentes son los que movilizan la resistencia del concreto. De hecho, la rotura de una probeta en la prensa, no es sino el resultado de la ruptura de los puentes aludidos. En contadísimas ocasiones se produce la fractura del agregado grueso.

El número de puentes que se forman por unidad de volumen es función principalmente del tamaño y la gradación del agregado grueso. La diferencia que presenta el concreto poroso en función del tipo del agregado grueso es notable, con un agregado uniforme se consigue menos resistencia que con un agregado graduado y tanto menos cuanto mayor sea el diámetro del agregado. Las variaciones en la porosidad son, en cambio, de signo contrario.

Como prácticamente existe contacto entre las partículas de agregado grueso, se concentran los esfuerzos mecánicos y es conveniente ser más restrictivo en lo que respecta al desgaste de los Ángeles. Como valor de referencia puede emplearse el adoptado por el instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja que indica utilizar agregados con un desgaste de Los Ángeles menor del 22%, absorción menor al 1% y un coeficiente de forma superior a 0.18.

2.2.3.2. Agregado fino

Para este existe una tabla del ACI en donde se aprecia que la cantidad de agregado fino está en función del peso del agregado grueso.

2.2.3.3. Relación ponderal entre el agregado fino y el agregado grueso (F/G)

El parámetro F/G tiene gran influencia en el comportamiento del concreto poroso, está íntimamente relacionado con el tamaño máximo del agregado grueso, de manera que a mayor tamaño del agregado grueso, y más uniforme, la relación F/G debe ser menor. La experimentación indica que el valor de F/G debe oscilar entre 0.05 y 0.030. Una relación F/G inferior a 0.05 impide la formación de puentes suficientemente resistentes con dotaciones de cemento y por otro lado, “desampara” excesivamente el conglomerante frente a ataques químicos de sustancias transportadoras por el agua o del agua pura misma. Valores elevados de F/G producen efectos en función de la relación agua/cemento (a/c); en estado fresco, si se trabaja con valores altos de a/c y mayor fluidez del mortero, este escurre hacia las zonas inferiores del concreto, colmatando y cementando la masa de dichas zonas, disminuyendo la permeabilidad del conjunto y reduciendo los puentes entre agregados.

2.2.3.4. Cemento

En general, se utiliza cemento Portland normal, pero podrían emplearse cementos especiales si las condiciones de exposición de la estructura así lo indican. Un aspecto que puede tener influencia en la selección del tipo de cemento lo constituye el curado. Los concretos porosos muestran un secado rápido, dado que su estructura alveolar permite la circulación de aire. Es por esto que el curado se ve interrumpido en poco tiempo, a

menos que se adopten medidas específicas, tales como el empleo de una capa de polietileno sobre la superficie del mismo. Los cementos con mejor evolución de resistencia a corta edad manifiestan mejor sensibilidad a los efectos de curado.

2.2.3.5. Relación ponderal entre el agua y el cemento (a/c)

Así como en el concreto convencional la relación a/c y la resistencia a la compresión están inversamente relacionadas, en el concreto poroso la dependencia es más compleja debido a que el agua juega un papel decisivo como lubricante cuando se trata de compactar el concreto poroso sobre todo si esta operación se realiza por vibración. Se ha podido determinar, que las resistencias obtenidas al variar la relación a/c, en una dosificación, presentan un máximo entre los valores de 0.5 a 0.7 de a/c. por encima de estos valores se obtiene una lógica caída de la resistencia; por debajo, disminuye también, pero por falta de compacidad. La relación a/c óptima debe variar de forma moderada, con F/G y en el mismo sentido.

Cuando la compactación se realiza por apisonado, las dotaciones de agua pueden disminuir hasta llegar a valores de la relación a/c del orden de 0.35 a 0.5. En este caso la relación a/c es prácticamente independiente de la relación F/G.

La calidad del agua para el concreto permeable está gobernada por los mismos requisitos que para el concreto convencional. Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua-cemento (w/a) relativamente baja (0.30 a 0.40), ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar pasta y al atascamiento del sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, tiene que ser vigilada cuidadosamente en el campo.

2.2.4. Diseño de mezcla de Concreto Poroso

El diseño de mezcla de concreto poroso está fundamentado por la norma ACI 211.3R "Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete", esta norma describe el procedimiento para encontrar la dosificación de los materiales. A continuación se describe los pasos seguidos para encontrar las cantidades de los materiales:

Paso 1. Características de los agregados

Para dosificar es necesario conocer las propiedades que posee el agregado:

- ✓ Granulometría del Agregado Grueso según "ASTM C-136".
- ✓ Gravedad Especifica Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado "ASTM C-128".
- ✓ Método de Prueba estándar para densidad de masa (peso unitario) y vacíos en agregado "ASTM C-29".

Paso 2. Datos de entrada

Se refiere a recopilar datos los cuales se usarán en el diseño: Relación agua cemento a/c , densidad del cemento, densidad del agua, porcentaje de absorción, tamaño del agregado $3/8"$ o $3/4"$).

Paso 3. Determinar peso del agregado

Para determinar el peso del agregado grueso se usa una tabla que se encuentra en el ACI 211.3R, en el cual se especifica el porcentaje de agregado según el peso varillado.

Tabla N° 1: Valores efectivos b/bo

Valores Efectivos b/bo		
Porcentaje de Fino	b/bo	
	ASTM C-33 N°8(3/8")	ASTM C-33 N°67(3/4")
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: ACI 211.3R "Valores para bien compactado"

Porcentaje de Fino: se refiere a la cantidad de agregado fino que llevara el diseño de mezcla. Se refiere al porcentaje referente del total del agregado.

W_a = Peso del Agregado

W_a = Peso Unitario del Agregado x factor b/bo.

Paso 4. Ajustar el peso de agregado según su peso saturado superficialmente seco

W_{sss} = Peso saturado superficialmente seco del Agregado

$W_{sss} = W_a \times (1 - \text{Porcentaje de Absorción}/100)$

Paso 5. Determinación de volumen de pasta

La Norma ACI 211,3 presenta un gráfico que relaciona porcentaje de vacíos con el porcentaje de pasta.

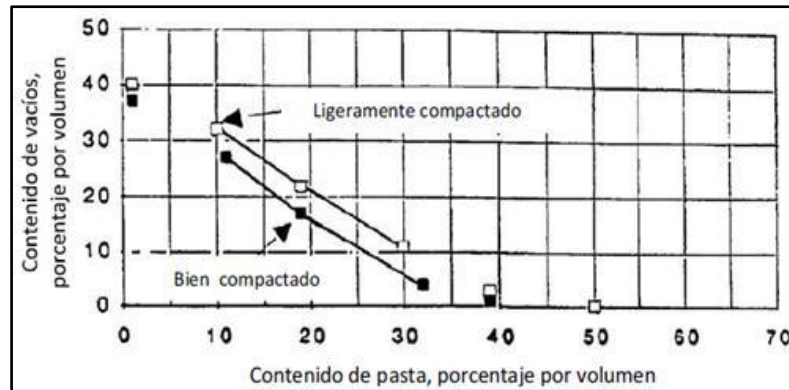


Gráfico N° 1: Relación de porcentaje de vacíos.

Fuente: Norma ACI 211,3.

Paso 6. Determinación del volumen de cemento

$V_p = \text{Volumen de Cemento} + \text{Volumen de Agua}$

$$V_p = V_c + V_a$$

$c = \text{peso del cemento, en kg.}$

$V_c = \text{volumen de cemento} = c / \text{peso específico del cemento}$

$V_a = \text{volumen de agua} = [(a/c) \cdot c] / \text{peso específico del agua.}$

Con los datos, podemos encontrar el peso de cemento, encontramos el volumen de cemento.

$$V_c = c / P. \text{ esp. Cemento}$$

Paso 7. Determinación de volumen de agua

Para determinar el contenido de agua, primero hallamos el peso del agua multiplicando la relación a/c por el peso de cemento.

$$a = (a/c) c$$

$$V_a = a / P. \text{ esp. Agua}$$

Paso 8. Encontrando volumen de solido

Se determina el volumen de solido dividiendo las cantidades encontradas con su respectiva densidad y se suman los volúmenes encontrados.

Volumen de Agregado = P. agregado/ P. esp. Seco

Volumen de Cemento= P. cemento/ P. esp. Cemento

Volumen de Agua =P. Agua/ P. esp. Agua

Volumen de Solido = $V_a + V_c + V_a$

Paso 9. Determinando el volumen de vacíos

Para lo cual se prosigue de la siguiente manera; En vista de que se determinan los volúmenes para un metro cubico de concreto, tan solo se resta el volumen de solido obtenido al metro cubico de diseño y se encuentra el volumen de vacíos.

Volumen Total = 1.00 m³

$V \text{ vacíos} = (V_{\text{tot}} - V_s) / V_{\text{tot}} * 100$

NOTA: Si no cumple con el volumen de vacíos requerido, si el volumen de vacíos es mayor al diseñado se prosigue a aumentar el cemento.

Paso 10. Ajuste de peso por medio de determinación del nuevo contenido de cemento

Para cumplir con el módulo de vacíos requerido se ajusta el peso del agua y del cemento, si el volumen de vacíos es mayor que el diseñado se prosigue a aumentar el cemento.

Una vez hallado el nuevo peso del cemento, se prosigue a hallar el nuevo peso del agua conociendo la relación agua cemento. Con esto se ajusta el peso de cemento, agregado y agua, para el volumen del trompito.

2.2.5. Aplicaciones

Recomendado especialmente para pavimentos, losas, veredas, como protección de la erosión de finos en el suelo, protección de cimentaciones y/o tuberías enterradas.

A continuación se presentan diversas aplicaciones con estos concretos, haciendo hincapié en aquellas que hacen referencia a carreteras o pavimentos.

2.2.5.1. Bermas de pavimento rígido con tráfico muy pesado

Esta técnica muy experimentada en Francia, en el que existen incluso normativas de la administración sobre el tema por el Ministerio de Transporte Francés, aprovecha las propiedades que presenta el concreto poroso para evacuar con rapidez el agua que puede acumularse en la zona situada entre el pavimento de concreto, la subbase de grava cemento y la berma. Como es sabido, el agua en dichas zonas tiene una gran influencia en el deterioro de las losas.

2.2.5.2. Bases de pavimento totalmente porosos

Estos pavimentos están constituidos por una base de concreto poroso y una capa de rodadura de mezcla bituminosa porosa. Con ello se dota el pavimento de cierta capacidad de almacenamiento de agua, principalmente fluvial con lo que se laminan los caudales punta que se presentan en las secciones de desagüe. Por tal razón, son de gran interés y tienen una aplicación importante en pavimentos urbanos con coeficientes de escorrentía elevados.

En la práctica normalmente se suele impermeabilizar la cara inferior de la base de concreto poroso, si bien en algunas ocasiones se ha utilizado sin impermeabilizar, permitiéndole infiltración al terreno, obteniendo

buenos resultados. Un ejemplo del primer tipo es un tramo experimental realizado en el Chemin Departamental 44 cerca de la ciudad de Marsella en 1983, dicho tramo, de 120m de longitud y 7m de ancho, tiene una pendiente de 3.5%. En el mismo se dispuso una sección estructural que se presenta a continuación.

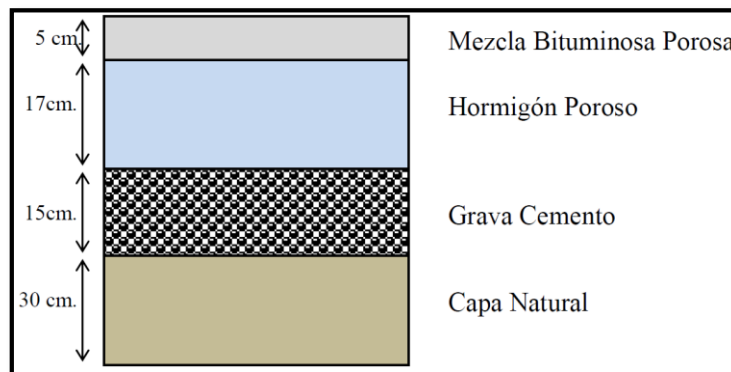


Figura N° 1: Sección transversal del tramo experimental en el Chemin Departamental 44.

Fuente: Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según el tipo de granulometría. (2 007)

Con estas condiciones las resistencias a compresión y tracción indirecta que se obtuvieron a los 28 días fueron de 22.5 Kg/cm² y 27 Kg/cm² respectivamente alcanzando la porosidad de la mezcla el valor de 17%. Cabe señalar que este tipo de pavimentos incluso sin capa de rodadura bituminosa, se ha utilizado en grandes zonas de parqueaderos. Un ejemplo lo constituye el conjunto de losas de concreto poroso del parqueadero del laboratorio regional de carreteras de Burdeos.

Esta solución tiene la ventaja de que resuelve la problemática de las pendientes de drenaje en profundidad, manteniendo una superficie casi horizontal. Sin embargo, presenta el inconveniente de la posible disgregación superficial del agregado por efectos mecánicos. Para mitigar este problema se han optado diversas soluciones. Una primera, para tráfico pequeño, es hacer un acabado superficial más rico en

cemento, espolvoreando con el mismo el concreto fresco de la superficie. Para tráfico relativamente intenso, o bien en condiciones climáticas severas se puede hacer una capa final de rodadura de concreto poroso con resina.

2.2.5.3. Capa de rodadura

Las exigencias que se le imponen a los concretos porosos utilizados en capa de rodadura son superiores a las requeridas cuando se utilizan en bases o bermas. El material no solo debe garantizar unas características drenantes y de resistencia mecánica, sino también debe satisfacer algunas otras aplicaciones, como son una estabilidad suficiente frente a los esfuerzos horizontales generados por los vehículos, y en algunos casos, frente a las solicitaciones del tipo climático. Por otra parte, el material debe posibilitar la obtención de una regularidad superficial y unas características antideslizantes correctas. En ocasiones, puede imponérsele una reducción de los niveles sonoros del tráfico frente a los generados con otras alternativas. En el cumplimiento de alguno de estos requisitos intervienen de forma preponderante las características del material en sí, influidas a su vez no solo por su composición, sino también, en general, por la puesta en obra, y especialmente por la compactación alcanzada. Para otros parámetros, como la absorción acústica, factores como el espesor de la capa construida pueden tener también una importancia similar o incluso superior.

Las condiciones mencionadas dependen así mismo del tipo de carretera en la que vaya a colocarse la capa de rodadura de concreto poroso. Las exigencias en cuanto a absorción del ruido son también diferentes en una calle urbana que en una carretera a campo abierto atravesando una zona sin edificar. Por todo ello, en los concretos porosos empleados como capa de rodadura pueden destacarse algunas diferencias fundamentales

en cuanto a la composición, con respecto a los utilizados en bases y bermas, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- ✓ El empleo de mayores contenidos de cemento, (oscilando entre 200-300 Kg/m³).
- ✓ La incorporación de aditivos.
- ✓ La utilización de tamaños máximos de agregados triturados, no superan lo 12mm.

Las dos primeras están relacionadas con la superior resistencia a exigir, tanto mecánica como el arrancamiento; mientras que la tercera obedece tanto a exigencias de regularidad superficial como a la construcción de espesores más reducidos y la exigencia de mayor homogeneidad del material, sobre todo en lo que se refiere a las posibles segregaciones en el transporte y/o la puesta en obra del material. El empleo de aditivos puede venir motivado así mismo por consideraciones de tipo constructivo. (Aguado, 1991).

2.2.5.4. Otras aplicaciones

En la actualidad a medida que han avanzado las investigaciones el pavimento permeable se viene usado en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo [7]:

- ✓ Pavimentos permeables para áreas de estacionamiento.
- ✓ Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores de grandes centros comerciales.
- ✓ Pisos de invernaderos para mantener el piso libre de agua estancada.
- ✓ Pavimentos, muros, y pisos en donde se desean mejores características de absorción acústica.

- ✓ Capas de base para las calles de la ciudad, carreteras municipales, caminos particulares y aeropuertos.
- ✓ Terraplenes de puentes.
- ✓ Estructuras de playas y muros marinos.
- ✓ Lechos de sedimentos de plantas para el tratamiento de aguas negras.
- ✓ Sistemas para almacenamiento de energía solar.

2.2.6. Ensayos en estado fresco en el concreto poroso

Una vez obtenido el diseño de mezclas se procedió a realizar el vaciado del concreto poroso en donde se realizan los ensayos en estado fresco:

a. Peso Unitario de Producción (Rendimiento) y contenido de vacíos del concreto (ASTM_C-1688, 2010).

Este es uno de los ensayos en estado fresco más importantes, ya que mediante el peso unitario calculado podemos obtener el porcentaje de vacíos con que se está produciendo la mezcla de concreto poroso.

También es importante señalar que este ensayo difiere al utilizado en el concreto convencional, ya que, se realiza en un molde de 7 litros utilizado para medir el aire atrapado en concreto convencional, donde se coloca el concreto en dos capas aplicándole 20 impactos por capa con un martillo de Próctor estándar, el peso unitario y porcentaje de vacíos del concreto poroso se calcula con las siguientes expresiones:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} U = \frac{T - D}{T} \times 100\% \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ 1$$

Dónde:

D = Peso Unitario del concreto (Kg/m^3)

T = Densidad teórica del concreto calculada al aire libre (Kg/m^3)

U = Porcentaje de vacíos en estado fresco del concreto permeable, incluyendo el aire atrapado dentro de la pasta.

MS = Masa total de todos los materiales de la mezcla (Kg)

MC = Masa llenada con concreto (Kg)

Mm = Masa de la medida (Olla de Washington) (Kg)

Vm = Volumen de la medida (Olla de Washington), (m^3)



Figura N° 2: Ensayo peso unitario (Olla de Washington-Próctor estándar)

Fuente: Investigación en concreto poroso realizada por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. AREQUIPA – PERÚ (2013)

El concreto permeable en vista de poseer un porcentaje significativo de vacíos la cual oscila entre el 18% y 35% según Norma ACI 522 y otros documento anexos, posee una densidad menor a los concreto

convencionales siendo un aproximado de 1600kg/m³ y 200kg/m³, la cual es ideal para aplicar en pavimentos de baja intensidad .

b. Ensayo del cono invertido – Métodos de prueba alternativos (ASTM C09.49, 2011)

Uno de los métodos alternativos en este tipo de concreto es el del cono invertido, en donde, se utiliza el Cono de Abrams invertido (Ilustración II-03) El procedimiento consiste en llenar el cono sin realizar ningún tipo de compactación, para luego ser enrasado y levantado haciendo que el concreto pase por la abertura la más corta de cono, para luego medir la altura con una regla y tomar el diámetro provocado por el concreto.



Figura N° 3: Ensayo del cono invertido (Cono de Abrams)

Fuente: Investigación en concreto poroso realizada por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. AREQUIPA – PERÚ (2013)

El Concreto poroso se caracteriza por poseer bajo revenimiento debido a la baja relación agua cemento que este posee, y por el hecho de no hacer uso de fino, no se caracteriza por ser un concreto muy fluido.

2.2.7. Ensayos en estado endurecido en el concreto poroso

a. Ensayo de Permeabilidad

Es uno de los ensayos más importantes, porque va permitir conocer un parámetro más importante, el coeficiente de permeabilidad, el cual caracteriza a nuestro concreto poroso, se usa un permeámetro de carga variable recomendado en el reporte (ACI.522R-06, 2006), donde se ensaya probetas de 0.010m de diámetro por 0.015m de alto. A continuación se muestra el equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI- 522.

En cuanto al cálculo del coeficiente permeabilidad fue realizado utilizando la ley de Darcy:

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2} \dots \text{Ecuación N}^\circ 2$$

K: Coeficiente de permeabilidad.

L: Longitud de la muestra.

A: Área de la muestra.

a: Área de la tubería de carga.

t: Tiempo en demora en pasar (h1-h2).

h1: Altura de agua medida del nivel de referencia (parte superior de la muestra).

h2 : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (0.01m).



Figura N° 4: Equipos de ensayo de permeabilidad

Fuente: Investigación en concreto poroso realizada por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. AREQUIPA – PERÚ (2013)

b. Ensayo para el Esfuerzo a la Compresión

Este ensayo está normalizado según la NTP 339.034 y en el ASTM C – 39. La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm²), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg² o psi) a una edad de 28 días.

Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días.

La resistencia a compresión que el concreto logra, es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto. La correspondencia entre resistencia y la relación agua-cemento ha sido estudiada desde el final del siglo XIX y principio del siglo XX (Ferret 1897 y Abrams 1918).

c. Porosidad del concreto

La porosidad de la pasta de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos de la pasta, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado.

La porosidad del concreto (P) o total de huecos en el material compuesto, se ha modelado como una función de: (a/c) la relación agua/cemento, el grado de hidratación del cemento (h), el volumen de aire atrapado (A), las cantidades de agregados fino (arena, Af) y grueso (grava, Ag), y del cemento (c); y las gravedades específicas de los agregados (ρ_f y ρ_g).

Según el manual de pavimentos permeables del cemento portland FCPA, "Portland Cement Pervious Pavement Manual" el rango es de porosidad es del 15 al 25 % y según ACI 522 R es del 18 al 35 %.

d. Permeabilidad

La permeabilidad o capacidad de filtración, es la capacidad de un material para que un fluido atraviese por él, sin alterar su estructura interna.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicamente:

- a. Porosidad del material
- b. Densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura
- c. Presión a que está sometido el fluido

2.2.8. Diseño de mezcla del pavimento permeable

El diseño del pavimento permeable depende principalmente de la intensidad de lluvia (consecuentemente de la localidad o el lugar de aplicación) y este parámetro determinaran las características principales de la superficie de rodadura (porcentaje de vacíos). En cuanto a la altura de la base depende de la velocidad de infiltración del suelo y la cantidad de lluvia que se produce en la localidad.

Es importante señalar que no en todos los tipos de suelos se puede emplear el pavimento permeable, dependerá de la velocidad de infiltración del suelo.

2.2.9. Mezclas asfálticas porosas o autodrenantes

Las mezclas asfálticas drenantes son aquellas mezclas asfálticas cuyo porcentaje de vacíos es lo suficientemente alto (es superior al 20%) para permitir que a través ellas se filtre el agua con rapidez y pueda ser evacuada hacia las bermas, cunetas u otro elementos de drenaje evitando así su permanencia en la superficie de la vía (capa de rodadura), incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.



Figura N° 5: Demostrativo comparativo fotográfico de las diferencias entre capas de rodadura convencionales y drenantes.

Fuente: Mezclas drenantes, 2012

Para que una mezcla pueda considerarse como drenante debe de tener un contenido inicial de vacíos del 16%, el cual permite una permeabilidad adecuada en este tipo de mezclas. Para que la capacidad de drenaje se mantenga durante un periodo razonable, lo aconsejable es partir de una mayor relación de vacíos de la mezcla con el fin de aumentar su permeabilidad.



Figura N° 6: Acabado de Mezcla Asfáltica Drenante

Fuente: Mezclas drenantes, 2012

Las mezclas drenantes pueden construirse tanto en caliente como en frío, empleando como ligantes, los betunes puros o las emulsiones asfálticas, modificadas o no. De hecho, las mezclas en frío fabricadas tradicionalmente en España, con un contenido nulo o casi nulo de arena, son drenantes en sentido estricto con porcentajes de vacíos presente en las mezclas asfálticas del orden del 25%. Sin embargo, la técnica de las mezclas drenantes ha adquirido un auge espectacular en los últimos años debido al avance de sistemas de diseño e instalación en obra como mezcla bituminosa en caliente.

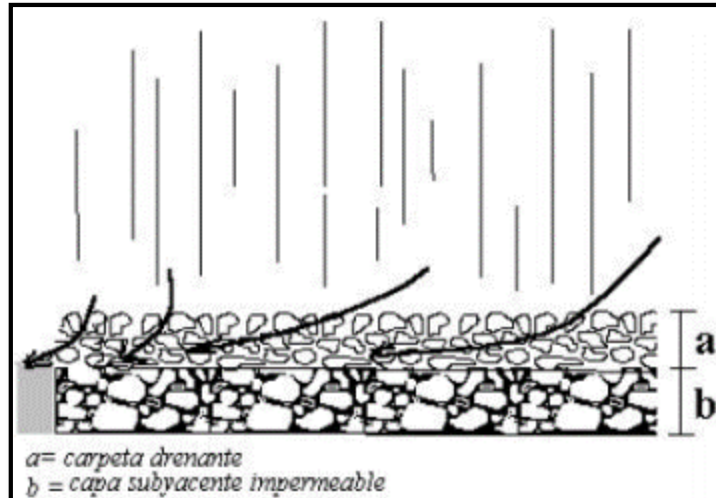


Figura N° 7: Comportamiento de las Mezclas Asfálticas Drenantes

Fuente: Metodología de diseño y colocación de Mezclas Drenantes, 2002

El uso de las mezclas asfálticas porosas cambia radicalmente el concepto tradicional de una carpeta de “rodado impermeable” traspasando la función de proteger de los efectos negativos del agua a la capa subyacente. Esta deberá ser impermeable y con un buen diseño geométrico que asegure el escurrimiento del agua a los drenes laterales y no se infiltre a capas inferiores del camino.

El ensayo Cántabro sirve para promover el desarrollo en la investigación de los asfaltos modificados y su efecto, también permite mediante la determinación de las pérdidas al Cántabro de probetas en seco y tras inmersión, valorar la resistencia de estas mezclas a la acción del agua, pues estas mezclas drenantes por su alta porosidad van a estar muy expuestas a la acción del agua y por ello es muy importante conocer esta resistencia y mejorarla, en este caso con el empleo de áridos y asfaltos especiales.

Las capas de MAD exponen a la película de ligante que rodea a los agregados a la acción de los rayos ultravioletas, catalizador de la oxidación y la humedad. Resulta crítico que la película de ligante tenga

suficiente espesor para resistir estos efectos. Cuando se busca extender el período de vida, se lo hace con mayor espesor de película asfáltica. Es aquí donde los asfaltos modificados encuentran su aplicación sumando la adición de filler (generalmente cal) mejorando la cohesión y durabilidad de la mezcla y contribuyendo a reducir significativamente la tendencia al escurrimiento en comparación con los asfaltos convencionales.

2.2.10. Ventajas de las mezclas drenantes

- ✓ Eliminación del hidropneumático.- Uno de los mayores riesgos cuando se conduce con lluvia es el hidropneumático, esto es, la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompe el contacto entre ambos, el neumático “flota en el agua” de modo que el conductor pierde el control de su vehículo. La evacuación rápida del agua de la superficie del camino a través de la mezcla porosa impide que se produzca este fenómeno.
- ✓ Resistencia al deslizamiento con pavimento mojado.- Aun cuando no exista el hidropneumático, la lluvia puede reducir considerablemente la resistencia al deslizamiento de la superficie del camino, los asfaltos porosos pueden contrarrestar este efecto permitiendo, debido a su macrotextura, que exista rozamiento entre el neumático y la superficie de rodadura de modo que el vehículo realice los movimientos que desea el conductor logrando así una mayor seguridad (menores distancia de frenado).
- ✓ Reducción de las proyecciones de agua.- Estas mezclas al permitir mantener la superficie del pavimento libre de agua cuando está lloviendo impiden que se produzcan el levantamiento (“splash”) y pulverización (“spray”) del agua al paso de los vehículos mejorando notablemente la visibilidad del usuario.

- ✓ Asimismo, evita empozamientos de agua en pavimentos (estacionamientos, pistas y veredas) sujetos a flujos de agua constantes sea por lluvias o regadío.
- ✓ Menor deslumbramiento por los faros de los vehículos.- Los conductores que circulan en dirección contraria durante la noche se ven enfrentados al deslumbramiento debido a la reflexión de la luz en los pavimentos mojados tradicionales (superficie lisa), en cambio, los pavimentos de textura rugosa dispersan la luz y por lo tanto reducen el problema de deslumbramiento permitiendo al conductor ver mejor la señalización horizontal.
- ✓ Reducción del ruido al paso del vehículo.- Las mezclas drenantes tienen la capacidad de absorber los ruidos provocados principalmente por el contacto que se produce entre el neumático y el pavimento cuando el vehículo está en movimiento. Los huecos interconectados entre sí permiten el paso del aire, atenuando los efectos sonoros. Tanto el conductor, como el entorno, se ven favorecidos por esta reducción [11].
- ✓ Este producto forma parte de los concretos ecológicos debido a su bajo impacto en el medio ambiente, ya que posibilita la recarga de los acuíferos al permitir que el agua de lluvia llegue al suelo en zonas pavimentadas.

2.2.11. Desventajas de las mezclas drenantes

- ✓ Mayor costo inicial: Las mezclas deben construirse con asfaltos modificados y áridos de mejor calidad que encarecen los costos.
- ✓ Diseño Geométrico Riguroso: La mezcla se debe extender sobre una capa que sea impermeable, estructuralmente estable y además, que tenga una geometría tal que permita la evacuación del agua.

- ✓ Drenaje lateral: El agua que ha escurrido por la mezcla drenante debe ser evacuada a través de drenes laterales, esto implica la construcción de canales y otras obras de arte.
- ✓ Pérdida de drenabilidad: Las mezclas porosas en el transcurso de su vida útil pueden colmatarse por la acumulación de polvo y otros agentes contaminantes como arena, materia orgánica, etc., entre los huecos. Es importante señalar que, si bien pierde sus propiedades drenantes, seguirá funcionando como carpeta de rodado. Actualmente existen técnicas de lavado a presión que pueden limpiar las mezclas retardando su colmatación.
- ✓ Vialidad invernal: La conservación invernal en las mezclas drenantes requiere de un mayor esfuerzo que la tradicionales, por ejemplo se necesita mayor cantidad de sales fundentes para mantener los caminos libres de nieve, los vehículos con cadenas para la nieve pueden producir arranque superficial de partículas.
- ✓ Menor Durabilidad: El período de diseño es menor debido a las condiciones propias de las mezclas.
- ✓ No pueden utilizarse donde haya arrastre superficial de grandes cargas de sedimentos.
- ✓ Por ahora no se usan en carreteras con tráfico elevado.
- ✓ A largo plazo, si no hay mantenimiento, existe riesgo de crecimiento de malas hierbas y de obstrucciones.

2.2.12. Características del sistema

- ✓ Es un hormigón que posee poros conectados.
- ✓ Posee un peso ligero que los pavimentos convencionales.
- ✓ Almacena menos calor, ayuda a reducir el efecto Isla de Calor.

2.2.13. Resumen del sistema

El sistema consta de hormigón poroso en la parte superior de una subcapa de áridos. El hormigón poroso permite drenar el agua de lluvia desde la superficie hasta el suelo ya sea directamente o mediante tubos. El sistema proporciona una alternativa simple y económica para los sistemas de drenaje complejos.

Además, el color del pavimento de hormigón absorbe la luz y almacena menos calor de la radiación solar en comparación con los materiales más oscuros, tales como asfalto convencional, reduciendo así el efecto isla de calor.

El hormigón permeable se obtiene mediante la eliminación de la arena y la elección de la estructura de áridos correcta.

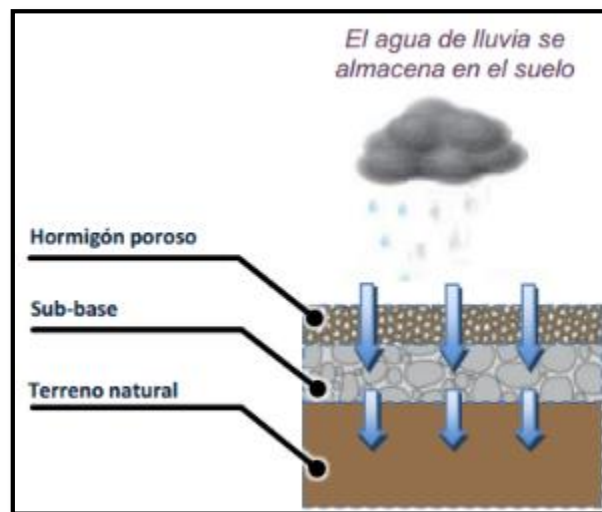


Figura N° 8: Partes de pavimento de Concreto Drenantes

Fuente: Pavimentos de hormigón poroso - Hidromedia, 2013

2.2.14. Drenaje

En cualquier tipo de pavimento, el drenaje es un factor importante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil y por lo tanto en el diseño del mismo. Se puede evaluar mediante el coeficiente de drenaje (Cd) el cual depende de [2]:

2.2.14.1. Calidad del drenaje

Viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.

2.2.14.2. Exposición a la saturación

Porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este valor depende de la precipitación media anual y de las condiciones del drenaje.

Para el caso se definen varias condiciones del drenaje:

Tabla N° 2: Calidad de drenaje

Calidad de drenaje	Tiempo en que tarde el agua en ser evacuada
Excelente	El suelo libera el 50% de agua en 2 horas.
Bueno	El suelo libera el 50% de agua en 1 día.
Mediano	El suelo libera el 50% de agua libre en 7 días.
Malo	El suelo libera el 50% de agua libre en 1 mes.
Muy malo	El agua no evacua.

Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Combinando todas las variables que interviene para llegar a determinar el coeficiente de drenaje Cd, se llega a los valores de la siguiente Tabla N° 3:

Tabla N° 3: Valores para el Coeficiente de drenaje Cd

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 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
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: Guía para el Diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Es importante evitar que exista presencia de agua, dado que en caso de presentarse afectará en gran medida a la respuesta estructural del pavimento. El agua atrapada puede producir efectos nocivos como:

- ✓ Reducción de la resistencia de materiales granulares.
- ✓ Reducción de la resistencia de la subrasante.
- ✓ Expulsión de finos.
- ✓ Levantamientos diferenciales de suelos expansivos.
- ✓ Expansión por congelamiento del suelo.

2.3. Marco conceptual

- Absorción

Proceso en el que un líquido penetra y llena los intersticios de un material sólido poroso. Se define como la diferencia: Peso Saturado Superficialmente Seco – Peso Seco. En el diseño de mezcla es importante pues si no se toma en cuenta puede variar la relación agua cemento (A/C).

- **Análisis granulométrico**

Es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños. La medición de los diferentes tamaños de partículas es indirecta, tamizándolas por mallas de aberturas conocidas y pesando el material retenido referido en %. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o sub-bases de carreteras. La serie de tamices estándar para concreto ASTM E-11.

- **Coefficiente de drenaje**

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año.

- **Concreto Permeable**

Es un concreto formado por cemento Portland Ordinario, agregado grueso, poco agregado fino, aditivos y agua. Cuando endurece posee poros conectados, que van de 0.002 a 0.008m lo cual permite que percole fácilmente.

- **Desgaste micro-deval (IRAM 1762)**

Este ensayo está orientado a valorar el desgaste por frotamiento de las rocas, habiéndose desarrollado en Francia. Representa el desgaste que sufren las partículas en la planta asfáltica y también el del paso de los vehículos sobre la carpeta de rodamiento.

El desgaste se basa en el frotamiento recíproco de los áridos de granulometrías especificadas que se encuentran dentro de un cilindro de acero que gira a 100 RPM durante 2 horas. El ensayo se puede realizar

en presencia de agua o en seco. Dentro de los cilindros, se coloca una carga abrasiva formada por pequeñas esferitas de acero de 10mm de diámetro en una cantidad correspondiente con la granulometría ensayada.

- **Drenaje**

El drenaje de pavimentos es esencial para mantener un buen nivel de servicio y seguridad en el tráfico.

- **Durabilidad al Sulfato**

Los sulfatos se hallan usualmente en el suelo en contacto con el concreto o pavimento, en solución en agua de lluvia, en aguas contaminadas por desechos industriales o por flujo en suelos agresivos sulfatos. Es por ello que los agregados deben ensayarse previamente.

- **Ensayo de Abrasión**

Ensayo para la Resistencia a la degradación del Agregado Grueso por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles.}

- **Factor de Seguridad**

Es la confiabilidad, es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

- **Fenómeno de Bombeo**

Es un tipo de falla ocasionado por el agua que queda atrapada debido a la lluvia que ingresa por falta de drenaje en la interface, posteriormente las presiones transmitidas por los vehículos se absorbe, y generará un

efecto de subpresión o “bombeo” sobre la carpeta, destruyéndola con el tiempo. El fenómeno del bombeo se da en pavimentos flexibles.

- **Índice de Serviciabilidad**

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 0. Donde 5 (cinco) representa un pavimento excelente y 0 (cero) un pavimento intransitable.

- **Intensidad de lluvia**

Es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo. Se clasifica en ligera, moderada y fuerte según se observa en la tabla. Criterios para determinar la intensidad de la lluvia.

- **Isla de Calor**

Fenómeno de circulación del aire debido a las superficies pavimentadas que continúan irradiando calor incluso después de la puesta del sol.

- **Módulo de Rotura**

Resistencia máxima determinada en un ensayo de flexión o torsión. En un ensayo de flexión, el módulo de rotura en la flexión es el esfuerzo máximo en la fibra cuando se produce el fallo.

- **Pavimentos flexibles**

Se denomina pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. Este tipo de pavimentos está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase.

- **Pavimento poroso**

Los pavimentos porosos son un tipo especial de pavimento, que gracias a su gran diseño permite la infiltración del agua por medio de su y permite el almacenamiento temporal de la misma en la sub-base, para su posterior disposición o infiltración en el terreno.

- **Peso Unitario**

Permite determinar el peso unitario del agregado en condición compactada o suelta y calcula los vacíos entre las partículas en los agregados finos, grueso o mezclas basados en la misma determinación.

- **Periodo de diseño**

Es el tiempo para el cual se estima que un sistema va a funcionar satisfactoriamente, el establecimiento del periodo de diseño o año horizonte del proyecto se puede establecer para cada par de componente del proyecto y depende de la vida útil de las estructuras o equipamientos teniéndose en cuenta su obsolescencia o desgaste.

- **Relación de vacíos**

Es la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos.

- **Resistencia**

Es la capacidad de un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas de sin colapsar.

- **Velocidad de infiltración**

La velocidad de infiltración nos da la capacidad del suelo de absorber agua. Al principio (cuando el suelo está más seco) la velocidad de penetración en el suelo es más rápida pero si seguimos aportando agua,

llega un momento en que esta velocidad es más o menos constante. A esta velocidad se la conoce como velocidad de infiltración.

- **Volumen de tránsito**

Se define como el número de vehículos o peatones que pasan por un punto o sección transversal de un carril. Se expresa como: $Q=N / T$

N = Número total de vehículos; T = Periodo determinado.

CAPITULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis general:

El diseño de pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Chullqui, mejora el drenaje urbano en zonas de estacionamientos en la ciudad de Huánuco.

3.2. Hipótesis nula:

El diseño de pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Chullqui, no mejora el drenaje urbano en zonas de estacionamientos en la ciudad de Huánuco.

3.3. Tipo de la investigación:

- **De acuerdo a la orientación es Aplicada**, porque el desarrollo de la presente tesis se utilizará la investigación aplicada, algunos autores lo nombran “investigación práctica o empírica”, pues se caracteriza por buscar la aplicación y utilización de los conocimientos, mediante pruebas o experimentos en laboratorio.
- **De acuerdo a su enfoque es Cuantitativo**, porque son ensayos experimentales cuyo valores son numéricos, es diseñado y calculado el pavimento permeable y/o poroso.
- **De acuerdo al tipo es Descriptivo**, porque se recopilará información bibliográfica referida a las características de los sistemas de drenaje pluvial en vías y a las consideraciones de diseño del pavimento permeable y/o poroso.

3.4. Nivel de la investigación:

El nivel de esta investigación es **Descriptivo**, porque se entiende que describir es medir, pues el investigador tiene capacidad y disposición de evaluar y exponer, en forma detallada, las características del objeto de estudio. A su vez este nivel nos permite medir de manera independiente

las variables. La presente investigación es de carácter descriptivo debido, que se pretende especificar las características del porcentaje de vacíos en los pavimentos porosos, coeficiente de drenaje y su resistencia del pavimento poroso.

3.5. Diseño de la investigación:

- **El diseño de esta investigación Experimental**, porque para determinar las características físicas y mecánicas del agregado, concreto permeable las cuales se realizarán ensayos en el laboratorio de la Geotecnia y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.
- **De acuerdo con la direccionalidad es Prospectiva**, se estudia la causa en el presente mediante las intensas lluvias, inundaciones en los jirones principales de la ciudad. Para su buen uso de los pavimentos permeables en el futuro y mejorar su transitabilidad.
- **De acuerdo con el tipo de fuente de recolección de datos Prolectiva**, la recolección va ser primaria mediante libros, fuentes de internet o investigaciones ya relacionadas.
- **De acuerdo con la evolución del fenómeno estudiado es Transversal**, el análisis y/o estudio se va a desarrollar una sola vez de acuerdo a la cantera Chullqui y sus ensayos de laboratorio.

3.6. Sistema de variables – dimensiones e indicadores:

Variable independiente:

Diseño de un Pavimento Rígido de Concreto Permeable

Variable dependiente:

Adecuado drenaje urbano en estacionamientos.

3.7. Operación de variables

Tabla N° 4: operación de variables

TIPO DE VARIABLE		INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	
<ul style="list-style-type: none">• Diseño de un Pavimento Rígido Permeable.	<ul style="list-style-type: none">• Adecuado drenaje urbano en estacionamientos.	<ul style="list-style-type: none">➤ Resistencia a la compresión.➤ Resistencia a la abrasión.➤ Coeficiente de permeabilidad➤ Diseño apropiado de concreto permeable

Fuente: Elaboración propia

3.8. Determinación del universo / población:

La población de estudio es toda la zona urbana de la ciudad de Huánuco, se desarrolló un análisis de tráfico, de estudio de suelo, relación a/c, de lo cual se realizó 9 unidades muestrales, donde se tomó las muestras aleatoriamente.

3.9. Selección de la muestra:

- Se revisarán revistas, artículos y tesis para registrar la mayor cantidad y variedad de características de información sobre diseño de mezcla de concreto poroso.
- Se realizarán 9 tipos de mezcla de concreto poroso bajo condiciones de laboratorio usando normativa ASTM desarrollada para concreto convencional, ya que no existe normativa específica para concreto poroso.
- La relación agua cemento (a/c), que se consideraran en el diseño de mezcla de concreto poroso serán: 0.30, 0.35 y 0.40.
- El porcentaje de aire, que se consideraran en el diseño de mezcla de concreto poroso serán: 15%, 20% y 25%.
- Las mezclas se identificaron como M-X, donde X corresponde con la

numeración, desde 1 hasta 9, se fabricaran 6 especímenes de 15x30cm., 1 espécimen de 10x10x10cm. y 1 espécimen de 10x20cm., por mezcla; para determinar la resistencia a compresión, resistencia a la abrasión y coeficiente de permeabilidad respectivamente.

TIPO DE MEZCLA	RELACIÓN AGUA CEMENTO	PORCENTAJE DE AIRE
M-1	0.30	15%
M-2	0.35	15%
M-3	0.40	15%
M-4	0.30	20%
M-5	0.35	20%
M-6	0.40	20%
M-7	0.30	25%
M-8	0.35	25%
M-9	0.40	25%

3.10. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Para el presente trabajo de investigación también se ha utilizado instrumentos de investigación ensayos de laboratorios normalizados como: Porcentaje de vacíos, coeficiente de drenaje, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión (ASTM C78).

3.11. Procesamiento y presentación de datos:

Para el procesamiento de datos se ha utilizado software estadísticos, con márgenes mínimos de errores. Para la contrastación de hipótesis estadística se ha utilizado el Microsoft Excel, es un conjunto de herramientas para realizar análisis estadístico avanzado. Posee poderosas capacidades para generar informes y gráficos.

CAPITULO IV
RESULTADO Y ANÁLISIS DEL PAVIMENTO POROSO.

4.1. Ejecución de pruebas a los agregados

En los diferentes ensayos de los agregados, se utilizaran las normativas ASTM para poder conocer las diferentes propiedades a considerar en la presente investigación.

4.1.1. Ensayo granulométrico de agregado grueso ASTM C-136

Por medio de la granulometría de los agregados, se determina la distribución de los tamaños de partículas de los agregados, tanto finos como gruesos, a través de un tamizado. Para en nuestro caso se analizara Grava N°67 y con tamaño nominal de 3/4". La prueba de granulometría está regida por la Norma ASTM C-136, así como: ASTM C-33 "Especificaciones de agregados para concreto", ASTM C-75 "Muestreo de agregados".

4.1.1.1. Procedimiento

La Realización de la Prueba se hizo según la Norma ASTM C-136 "Método de Prueba Estándar para Análisis de Tamices de Agregados Fino y Grueso" a la cual se le consideró como una guía para la ejecución de la prueba. La cantidad de la Muestra a ser sometida a la prueba se hizo según el tamaño máximo nominal que poseía el material pétreo dependiendo de la siguiente tabla de la Norma ASTM C-136:

Tabla N° 5: Tamaño de la Muestra según Peso Nominal

Tamaño máximo nominal mm(in)	Tamaño de muestra kg(lb)
9.5(3/8)	1(2)
12.5(1/2)	2(4)
19(3/4)	5(11)
25(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)

Fuente: ASTM C-136.

En nuestro caso el tamaño nominal era de 3/4" por lo tanto nuestra muestra tendría que ser 5kg. El número de mallas a ser usados se determinó por medio de la Norma ASTM C-33, en donde se especifica el número de mallas que se usara según el tamaño de agregado y en nuestro caso por ser agregado número N°67, en el cual se clasifica que para esa clase de agregado se usaran las mallas de 3/4", 1/2", 3/8", N°4.

4.1.1.2. Documentación del ensayo

Se tomó una muestra representativa de todo el agregado que se compró, después se pasó a cuartear el agregado para así obtener los 5kg de la muestra para el ensayo de granulometría.



Fotografía N° 1: procedimiento del cuarteo.

Fuente: Elaboración propia



Fotografía N° 2: peso y zarandeo de la muestra cuarteada.

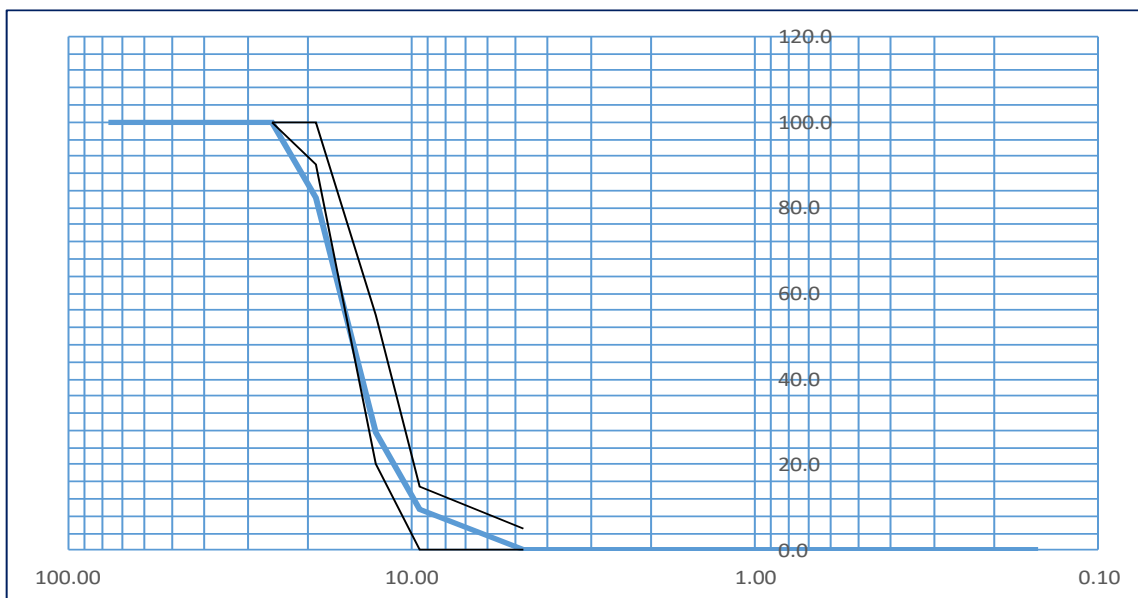
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6: Ensayo granulométrico de agregado grueso.

ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO ASTM C - 136

Fecha: 31/03/2015
 Cantera: Unicon
 TMN: 3/4"
 Procedencia: Colpa Baja - Huánuco
 Responsable: Tesista

MALLA	mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL	% PASANTE ACUMUL	LIMITES HUSO 67	
3 pulg.	76.20	0.00 gr.	0.0	0.0	100.0		
2 1/2 pulg.	63.50	0.00 gr.	0.0	0.0	100.0		
2 pulg.	50.80	0.00 gr.	0.0	0.0	100.0		
1 1/2 pulg.	38.10	0.00 gr.	0.0	0.0	100.0		
1 pulg.	25.40	0.00 gr.	0.0	0.0	100.0	100.0	100
3/4 pulg.	19.05	879.00 gr.	17.6	17.6	82.4	90.0	100
1/2 pulg.	12.70	2740.00 gr.	54.8	72.4	27.6	20.0	55
3/8 pulg.	9.53	905.00 gr.	18.1	90.5	9.5	0.0	15
# 4	4.75	460.00 gr.	9.2	99.7	0.3	0.0	5
# 8	2.38	0.00 gr.	0.0	99.7	0.3		
# 16	1.19	0.00 gr.	0.0	99.7	0.3		
# 30	0.59	0.00 gr.	0.0	99.7	0.3		
# 50	0.30	0.00 gr.	0.0	99.7	0.3		
# 100	0.15	0.00 gr.	0.0	99.7	0.3		
FONDO		16.00 gr.	0.3	100.0	0.0		
TOTAL		5000.00 gr.	MODULO FINEZA		7.79		



Fuente: elaboración propia

4.1.2. Método de prueba estándar para densidad de masa (“peso unitario”) y vacíos en agregado ASTM C-29

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad de masa (“peso unitario”) de agregado en una condición compactada o suelta, y calculando vacíos entre partículas en fino, grueso o mezclas de agregados basados en la misma determinación. Este método de prueba es aplicable a agregados que no excedan 5in [125mm] en tamaño máximo nominal.

4.1.2.1. Procedimiento

La Prueba se ejecutó bajo los estándares y procedimiento de la Norma ASTM C-29 de la misma forma se determinó el tamaño de la muestra según la tabla N°1 de la Norma ASTM C-29, en el cual se selecciona el medidor y según el tamaño nominal.

4.1.2.2. Documentación del ensayo



Fotografía N° 3: peso y media del molde para densidad de masa

Fuente: elaboración propia.



Fotografía N° 4: peso del molde con el agregado

Fuente: elaboración propia.

Tabla N° 7: Prueba estándar para densidad de masa

ASTM C-29 “MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO”

Fecha: 31/03/2015
Cantera: Unicon
TMN: 3/4"
Procedencia: Colpa Baja - Huánuco
Responsable: Tesista

Características del molde:

Diámetro de molde = 0.152m
 Altura de molde = 0.151m
 Peso del molde = 1.786kg
 Volumen del molde = 0.0028m³

Determinación del Peso Volumétrico Suelto

Peso del molde	1.786kg
Peso de molde + Agregado	6.214kg
Peso Agregado	4.428kg
Volumen del molde =	0.0028m ³
Peso Unitario	1608kg/m ³

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa, (gravedad específica) y absorción de agregado grueso ASTM C-127

Este método de prueba cumple con la determinación de una densidad promedio de una cantidad de partículas del agregado grueso (sin incluir volúmenes de vacíos en las partículas) la densidad relativa y el porcentaje de absorción del agregado grueso.

Este método de prueba es usado para la determinación de la densidad de la porción sólida de un gran número de partículas de la muestra y provee un valor promedio de la muestra.

4.1.3.1. Resumen de procedimiento

Una Muestra de agregado es inmersa durante 24 horas +- 4 horas hasta llenar los poros. Después es removida el agua superficial Subsecuentemente el volumen de la muestra es determinado por el método de desplazamiento de agua- Finalmente la muestra es secada al horno y la masa determinada Usando los valores de masa así obtenidos y formulas en este método de prueba es posible calcular la densidad, la densidad relativa y absorción.

La masa mínima para la muestra será tomada según los tamaños de las partículas dadas en la siguiente tabla.

Tabla N° 8: Tamaño de la Muestra según Peso Nominal

Tamaño máximo nominal mm(in)	Tamaño de muestra kg(lb)
12.5(1/2) o menos	2(4.4)
19(3/4)	3(6.6)
25(1)	4(8.8)
37.5(1 ½)	5(11)
50(2)	8(18)
63(2 ½)	12(26)
75(3)	18(40)
90(3 ½)	25(55)
100(4)	40(88)
125(5)	75(165)

Fuente: ASTM

4.1.3.2. Documentación del ensayo



Fotografía N° 5: lavado del agregado

Fuente: elaboración propia



Fotografía N° 6: secado y pesado el agregado

Fuente: elaboración propia.

Tabla N° 9: Método de prueba estándar para densidad relativa

<u>ASTM C-127 "MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA, (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO</u>	
Fecha:	06/04/2015
Cantera:	Unicon
TMN:	3/4"
Procedencia:	Colpa Baja - Huánuco
Responsable:	Tesista
<u>Peso Saturado Superf Seco del agregado Grueso</u>	
Peso de recipiente	168.00gr.
P. de recipiente + Muestra Sat Superf Seca	3164.00gr.
P. Muestra Sat Superf Seca	W_{sss}= 2996.00gr.
<u>Peso aparente del agregado Grueso</u>	
Peso de tara de bronce aparente	365.00gr.
1°	732.00gr.
2°	703.00gr.
3°	370.00gr.
Peso aparente del agregado	1805.00gr.
<u>Secado al Horno</u>	
Peso de tara de aluminio	411.00gr.
Peso de tara de aluminio+P. Muestra Seca	3394.00gr.
Peso Muestra Seca	W_s= 2983.00gr.
%Absorción=(W_{sss}/W_s-1)x100	0.44%

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Diseño de mezcla

Tabla N° 10: cálculo del concreto poroso.

1. PARÁMETROS BÁSICOS

A/C= valores: $0.26 \leq A/C \leq 0.45$
 Slump= pulg. 0.27-0.3 con Aditivo
 0.31-0.36 sin Aditivo

Nota: Se utilizará agregados gruesos recomendados T.M 3/8" y 3/4".

2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Gravedad específica
 Densidad Densidad Seca del Varillado

	P. esp. Seco	P. Unitario	M.F.	% de Absorc.	% de Hum.
Cemento	3150 kg/m ³	1400 kg/m ³	-----	-----	-----
Arena	2700 kg/m ³	1600 kg/m ³	2.80	1.30 %	1.00 %
Piedra	2505 kg/m ³	1622 kg/m ³	5.85	0.44 %	2.30 %
Agua	1000.0 kg/m ³				
Aditivo 01	1320 kg/m ³		(Dosis <input type="text" value="1.20"/> % del peso del cemento)		
T.M.=	3/4 pulg.				

f'c inicial= 150 kg/cm² 2347
 de 20% a 30% 14.64
 Porcentaje de vacíos. % 160.3142077
 Peso volumétrico seco-compactado de la grava
 pulg.
 kg/m³

>> DETERMINAR PESO DE AGREGADO

Para determinar el peso del agregado grueso se usa la tabla de valores efectivos encontrada en el ACI 211.3, en el cual se especifica el porcentaje de agregado según el peso varillado.

Porcentaje de Fino	Valores Efectivos b/bo	
	ASTM C-33 N°8(3/8")	ASTM C-33 N°67(3/4")
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: ACI 211.3R "Valores para bien compactado"

NOTA: Si es que es ligeramente compactado, estos valores deben de reducirse 0.07.

En vista que se usara un tamaño nominal de: pulg.
 y se usara un porcentaje de fino de: %
 el valor de b/bo es:

Determinación del Peso del Agregado (según valore efectivos)
 Wa= Peso Unitario del Agregado x factor b/bo
 Wa= 1622 kg/m³ *0.99* 1m³
 Wa= **1606.26 kg**

Fuente: Elaboración propia.

>>AJUSTAR EL PESO DE AGREGADO SEGÚN SU PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

$$W_{sss} = W_a \times \text{Porcentaje de Absorción}$$

$$W_{sss} = 1606.255 \text{ kg} \times 1.004$$

$$W_{sss} = 1613.32 \text{ kg}$$

4. Absorción : Peso S.S.S - Peso Seco

$$\% A = (P_{sss} - P_d) / P_d \times 100$$

$$\% A = (P_{sss} / P_d - 1) \times 100$$

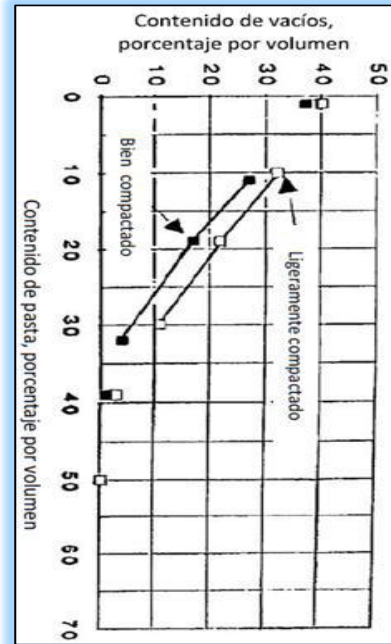
5>>DETERMINACION DE VOLUMEN DE PASTA

Se hará según tabla de la Norma ACI 211,3, donde se interpolara el contenido de vacíos teórico con respecto al volumen de la pasta.

Para un contenido de Vacío de: **15.00 %**

Con ayuda de la gráfica 2. Se determina el volumen de pasta para un 15% de vacíos para la mezcla de concreto permeable bien compactada, dando como resultado 19.5%.

Contenido de pasta= **19.50 %**
 Volumen de pasta (Vp)= **0.195 m3**
 Volumen de vacíos (Vv) = **0.150 m3**
0.345 m3



6>>DETERMINACION DEL VOLUMEN DE CEMENTO

Por otro lado: $V_p = V_c + V_a$ $V_p = \text{Volumen de Cemento} + \text{Volumen de Agua}$
 $c = \text{peso del cemento, en kg}$
 $V_c = \text{volumen de cemento} = c / \text{peso específico del cemento}$
 $V_a = \text{volumen de agua} = [(a/c)c] / \text{peso específico}$
 $a/c = \text{relación agua-cemento}$

Por lo tanto,

$$0.195 \text{ m}^3 = \frac{c}{3150 \text{ kg/m}^3} + \frac{[a/c]*c}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$0.150 \text{ m}^3 = \frac{c}{3150 \text{ kg/m}^3} + \frac{0.28 * c}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$c = 326.38 \text{ kg}$$

Para determinar el volumen de cemento (Vc), se tiene que:

$V_c = c / P. \text{ esp. Cemento}$

$$V_c = \frac{c}{3150 \text{ kg/m}^3} = \frac{326.38 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_c = 0.104 \text{ m}^3$$

7>>>DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AGUA

Para determinar el contenido de agua,

$$a = (a/c) c$$

$$a = 0.28 c$$

$$a = 0.28 * 326.38$$

$$a = 91.387 \text{ kg}$$

$$a = 91.387 \text{ lts}$$

Para determinar el volumen de agua (Va),

$$V_a = \frac{a}{1000 \text{ kg/m}^3} = \frac{91.39 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_a = 0.091 \text{ m}^3$$

8>>>ENCONTRANDO VOLUMEN DE SOLIDO

Se determina el volumen de solido dividiendo las cantidades encontradas con su respectiva densidad y se suman los volúmenes encontrados.

$$\text{Volumen de Agregado} = \frac{1613.32 \text{ kg}}{2505 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de Agregado} = 0.644 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Cemento} = \frac{326.38 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de Cemento} = 0.104 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Agua} = \frac{91.387 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen de Agua} = 0.091 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Sólido} = V_a + V_c + V_v$$

$$\text{Volumen de Sólido} = 0.839 \text{ m}^3$$

9>>>DETERMINANDO EL VOLUMEN DE VACIOS

Para lo cual se prosigue de la siguiente manera; En vista de que se determinan los volúmenes para un metro cubico de concreto, tan solo se resta el volumen de solido obtenido al metro cubico de diseño y se encuentra el volumen de vacios.

$$\text{Volumen Total} = 1.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Sólido (Vs)} = 0.839 \text{ m}^3$$

$$V \text{ vacios} = (V_{tot} - V_s) / V_{tot} * 100$$

$$V \text{ vacios} = 16.09 \%$$

NOTA: En vista de que no cumple con el volumen de vacíos requerido; se aplicara lo mencionado en la norma que nos indica que podemos usar más de **30kg** de cemento sin afectar la relación a/c.

10>>>AJUSTE DE PESO POR MEDIO DE DETERMINACION DEL NUEVO CONTENIDO DE CEMENTO

Para cumplir con el modulo de vacios requerido se ajustó el peso del agua y del cemento de la siguiente forma:

$$\text{Cemento; Si aumentamos: } 18.20 \text{ kg} \quad 15.00 \%$$

$$c = 326.38 \text{ kg} + 18.20 \text{ kg}$$

$$c = 344.58 \text{ kg}$$

Fuente: Elaboración propia.

11>>DETERMINACION DEL NUEVO CONTENIDO DE AGUA

Según Relación Agua Cemento

$$a=c*[a/c] \quad a= \quad 344.58 \text{ kg} * 0.28 = \quad \mathbf{96.483 \text{ lts}}$$

12>>ENCONTRANDO NUEVO VOLUMEN DE SOLIDO

$$\text{Volumen de Agregado} = \quad 1613.32 \text{ kg} / 2505 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de Agregado} = \quad \mathbf{0.644 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen de Cemento} = \quad 344.58 \text{ kg} / 3150 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de Cemento} = \quad \mathbf{0.109 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen de Agua} = \quad 96.483 \text{ kg} / 1000.0 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de Agua} = \quad \mathbf{0.096 \text{ m}^3}$$

Volumen de Sólido $V_a+V_c+V_a$

$$\text{Volumen de Sólido} = \quad \mathbf{0.850 \text{ m}^3}$$

13>>DETERMINANDO EL VOLUMEN DE VACIOS

$$\text{Volumen Total} = \quad 1.000 \text{ m}^3$$

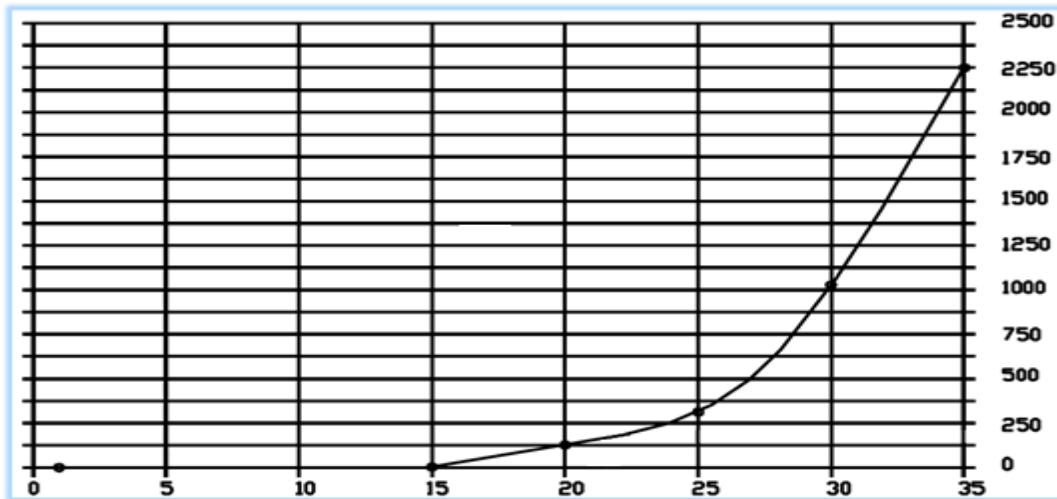
$$\text{Volumen de Sólido} = \quad 0.850 \text{ m}^3$$

$$V \text{ vacios} = (V_{\text{tot}} - V_s) / V_{\text{tot}} * 100$$

$$V \text{ vacios} = \quad \mathbf{15.00 \%}$$

14>>ENCONTRANDO TASA DE INFILTRACION TEORICA

Se determina la tasa de infiltración interpolando en la siguiente grafica el porcentaje de vacíos antes calculado: $\mathbf{15.00 \%}$

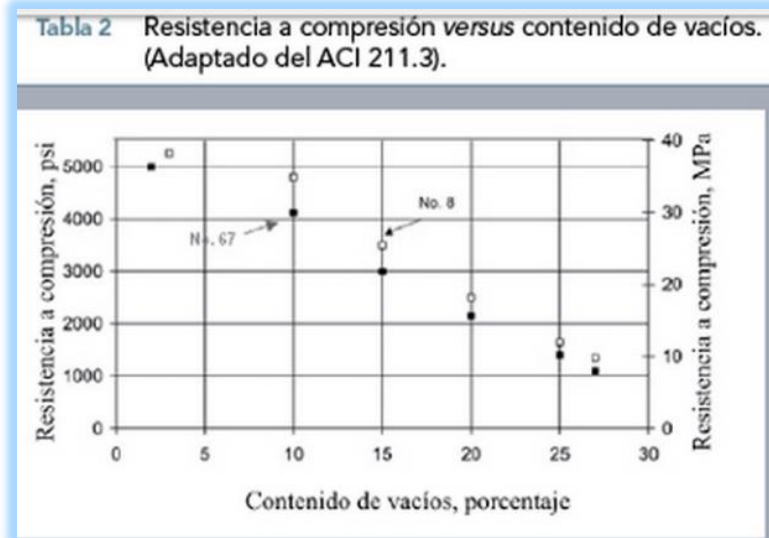


Se tiene que para un porcentaje de vacíos de 15% tiene una tasa de percolación aproximada de= $\mathbf{13.95 \text{ mm/min}}$ ----- De la Tabla

Fuente: Elaboración propia.

15>>ENCONTRANDO LA FUERZA DE COMPRESION TEORICA

Por medio de la grafica presentada se interpola el modulo de vacíos tirando una perpendicular en el punto donde corta la grafica de “Mezcla bien Compactada” y el punto donde toca el eje de las “y” es la fuerza a compresión teórica que tendría.



Para este diseño de mezcla si se tiene un modulo de vacíos: **15.00 %**

se tiene una resistencia en: **3000psi** **210.92 kg/cm²**

16>>PRESENTACIONES DE VOLUMENES DE MEZCLA PARA UN METRO CUBICO

Material	Peso en kg	Volumenes en
Cemento	344.582 kg	0.109 m ³
Agregado	1613.323 kg	0.644 m ³
Agua	96.483 kg	0.096 m ³
Total	2054.39 kg	0.850 m³

Para confirmar el porcentaje de vacíos:

% de vacíos = $(1 - 0.850012498573747) * 100 =$ **15.00 %**

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Elaboración de las probetas de concreto

Para la Ejecución de la prueba compresión de cilindros y de flexión de concreto se aplicó un conjunto de Normas ASTM para la elaboración de concreto:

Procedimiento

Se inició preparando los moldes cilíndricos de 6x12" los cuales fueron limpiados y engrasados antes de moldear el concreto. Una vez los cilindros estén listos para el moldeo de concreto se prosigue a la elaboración del concreto, proporcionando el peso de sus componentes según el diseño de mezcla correspondiente que para nuestro caso variaba (15%,20%,25 %).

En primer lugar se colocó el agregado junto con el cemento para homogenizar la mezcla después se agregó agua según el diseño de mezcla, se hizo el ensayo de revenimiento del concreto según norma ASTM C-143, luego se prosiguió a elaborar los especímenes cilíndricos.

Para la elaboración del espécimen se compacto con una varilla compactadora, dando 25 varilladas por cada capa, debido a los moldes utilizados (6x12") se hizo en tres capas, consecuentemente se prosiguió a golpear con un martillo de goma (15 golpes por capa).



Fotografía N° 7: Se observa colocando los agregados en el trompito mezclador.

Fuente: elaboración propia.



Fotografía N° 8: Se puede observar que el revenimiento es cero.

Fuente: elaboración propia.



Fotografía N° 9 Las probetas se desmoldaron 24 horas después e inmediatamente colocadas en la poza de curación.

Fuente: elaboración propia.

4.4. Elaboración de las vigas de concreto

Del mismo modo como se elaboraron las probetas cilíndricas, se elaboraron las viguetas de concreto poroso por cada diseño de mezcla; preparando tales viguetas es decir limpiándolas y engrasándolas antes de la colocación del concreto, compactándolas con las varillas de 5/8" diámetro y de 60 cm de longitud con 64 golpes a lo largo de afuera hacia adentro, y dividiendo el vertido de concreto en dos capas.



Fotografía N° 10: compactando las viguetas de concreto.

Fuente: elaboración propia.

4.5. Ensayo de compresión de las probetas de concreto

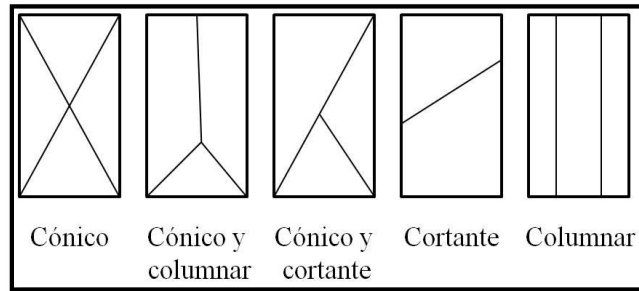
Para la Ejecución de esta prueba se aplicó la Norma ASTM C-39. Nos dice que la prueba consiste en aplicar una carga de compresión axial a las probetas. Los especímenes a ser sometidos a prueba tuvieron de haberse realizado con los procesos constructivos adecuados y el debido curado antes de la edad a ser probados, tales requerimientos se mencionan en la norma ASTM C-31.

Las edades a ser sometidas fueron 7,14, y 28 días para cada diseño de mezcla.

Procedimiento

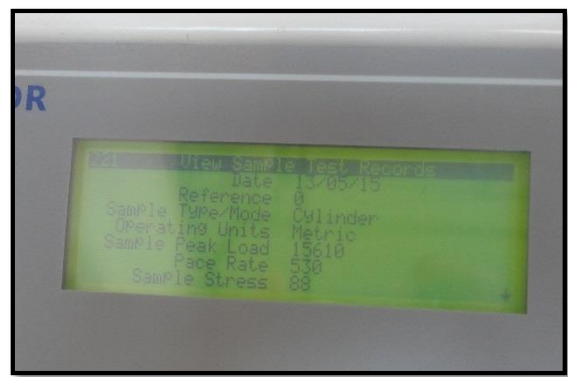
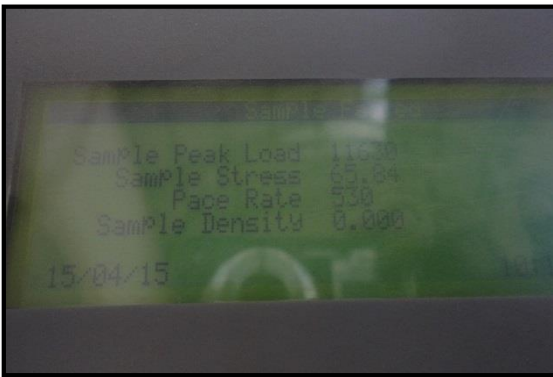
El proceso que se llevó a cabo para ejercer la prueba fue lo siguiente: Para iniciar se tomó las medidas con la wincha tanto del diámetro como la altura de los cilindros en dos extremos opuestos y luego se prosiguió a sacar el promedio tanto del diámetro como de la altura del cilindro.

Al tener perfectamente colocado el espécimen, se le aplica la carga hasta que falle, se registra la carga soportada durante la prueba y anotar el tipo de falla, siguiendo como patrón, las siguientes figuras que muestra las formas de:



Fotografía N° 11: retiro de la poza de curación para su ensayo de rotura.

Fuente: elaboración propia.



Fotografía N° 12: procedimiento de cada probeta, para su respectiva rotura.

Fuente: elaboración propia.



Fotografía N° 13: Se muestra que la mayoría de los testigos tuvieron una falla por cortante, y algunos tuvieron una falla en la base de las probetas.

Fuente: elaboración propia.

4.6. Resultados:

Tabla N° 11: resultados de las probetas ensayadas.

ELEMENTO ESTRUCTURAL	A/C	% de Vacíos	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	PROPIEDADES FÍSICAS DEL CILINDRO				Máx. Car. de Prueba (Kgf)	Esfuerzo Absoluto (Kgf/cm ²)	Tipo de Forma de Falla	D prom.	Esfuerzo Corregido (Kgf/cm ²)	
					Diámetro superior		Diámetro inferior							Altura
					D1(cm)	D2(cm)	D1(cm)	D2(cm)	(cm)					
Probeta # 1	0.28	15	08/04/2015	15/04/2015	14.80 cm	15.20 cm	15.00 cm	15.10 cm	31.00 cm	11630 kgf	65.84 kgf/cm ²	Cortante	15.03 cm	65.59 kgf/cm ²
probeta # 2	0.28	15	08/04/2015	15/04/2015	15.00 cm	15.10 cm	15.00 cm	15.10 cm	31.00 cm	10430 kgf	59.01 kgf/cm ²	Cortante	15.05 cm	58.63 kgf/cm ²
probeta # 3	0.28	15	08/04/2015	15/04/2015	14.80 cm	15.10 cm	15.20 cm	14.80 cm	31.50 cm	10350 kgf	58.57 kgf/cm ²	Cortante	14.98 cm	58.76 kgf/cm ²
probeta # 4	0.28	15	09/04/2015	23/04/2015	15.10 cm	15.20 cm	15.00 cm	15.10 cm	31.20 cm	10400 kgf	58.84 kgf/cm ²	Cortante	15.10 cm	58.08 kgf/cm ²
probeta # 5	0.28	15	09/04/2015	23/04/2015	14.90 cm	15.00 cm	15.40 cm	15.00 cm	31.40 cm	9500 kgf	53.73 kgf/cm ²	Cortante	15.08 cm	53.23 kgf/cm ²
probeta # 6	0.28	15	09/04/2015	23/04/2015	15.00 cm	15.10 cm	14.90 cm	15.00 cm	31.00 cm	8730 kgf	49.42 kgf/cm ²	Cortante	15.00 cm	49.40 kgf/cm ²
probeta #10	0.28	15	13/04/2015	11/05/2015	15.50 cm	15.40 cm	15.70 cm	15.40 cm	31.40 cm	15610 kgf	88.32 kgf/cm ²	Cortante	15.50 cm	82.73 kgf/cm ²
probeta #11	0.28	15	13/04/2015	11/05/2015	14.90 cm	15.00 cm	15.10 cm	15.00 cm	31.50 cm	13330 kgf	75.00 kgf/cm ²	Cortante	15.00 cm	75.43 kgf/cm ²
probeta #12	0.28	15	13/04/2015	11/05/2015	15.10 cm	15.10 cm	15.60 cm	15.00 cm	31.50 cm	10840 kgf	61.34 kgf/cm ²	Cortante	15.20 cm	59.74 kgf/cm ²
probeta #13	0.28	20	13/04/2015	20/04/2015	14.80 cm	15.10 cm	15.20 cm	15.10 cm	31.20 cm	6760 kgf	38.23 kgf/cm ²	Cortante	15.05 cm	38.00 kgf/cm ²
probeta #14	0.28	20	13/04/2015	20/04/2015	15.00 cm	15.10 cm	15.00 cm	15.00 cm	31.40 cm	8990 kgf	50.87 kgf/cm ²	Cortante	15.03 cm	50.70 kgf/cm ²
probeta #15	0.28	20	13/04/2015	20/04/2015	14.80 cm	15.00 cm	15.10 cm	15.20 cm	31.50 cm	6800 kgf	38.47 kgf/cm ²	Cortante	15.03 cm	38.35 kgf/cm ²
probeta #16	0.28	20	14/04/2015	29/04/2015	15.10 cm	15.20 cm	15.00 cm	15.10 cm	31.20 cm	8320 kgf	47.11 kgf/cm ²	Cortante	15.10 cm	46.46 kgf/cm ²
probeta #17	0.28	20	14/04/2015	29/04/2015	15.00 cm	15.20 cm	15.40 cm	15.00 cm	31.50 cm	7520 kgf	42.57 kgf/cm ²	Cortante	15.15 cm	41.72 kgf/cm ²
probeta #18	0.28	20	14/04/2015	29/04/2015	15.20 cm	15.10 cm	15.00 cm	15.00 cm	31.40 cm	8370 kgf	47.39 kgf/cm ²	Cortante	15.08 cm	46.89 kgf/cm ²
probeta #19	0.28	20	14/04/2015	12/05/2015	15.40 cm	15.20 cm	15.40 cm	15.50 cm	31.00 cm	12030 kgf	68.08 kgf/cm ²	Cortante	15.38 cm	64.80 kgf/cm ²
probeta #20	0.28	20	14/04/2015	12/05/2015	15.00 cm	15.00 cm	15.00 cm	15.20 cm	31.90 cm	9820 kgf	55.60 kgf/cm ²	Cortante	15.05 cm	55.20 kgf/cm ²
probeta #21	0.28	20	14/04/2015	12/05/2015	15.20 cm	15.00 cm	15.30 cm	15.40 cm	32.50 cm	8130 kgf	46.00 kgf/cm ²	Cortante	15.23 cm	44.66 kgf/cm ²
probeta #22	0.28	25	23/04/2015	30/04/2015	15.10 cm	15.20 cm	14.90 cm	15.10 cm	31.60 cm	5320 kgf	30.12 kgf/cm ²	Cónico	15.08 cm	29.81 kgf/cm ²
probeta #23	0.28	25	23/04/2015	30/04/2015										
probeta #24	0.28	25	23/04/2015	30/04/2015										
probeta #25	0.28	25	23/04/2015	07/05/2015	15.00 cm	15.20 cm	15.10 cm	15.10 cm	31.50 cm	5410 kgf	31.00 kgf/cm ²	Falla por corte	15.10 cm	30.21 kgf/cm ²
probeta #26	0.28	25	23/04/2015	07/05/2015	15.10 cm	15.00 cm	15.10 cm	15.20 cm	31.30 cm	5770 kgf	33.00 kgf/cm ²	Falla por corte	15.10 cm	32.22 kgf/cm ²
probeta #27	0.28	25	23/04/2015	07/05/2015										
Probeta # 30	0.36	15	05/05/2015	19/05/2015										
Probeta # 31	0.36	15	05/05/2015	19/05/2015										
Probeta # 32	0.36	15	05/05/2015	19/05/2015										
probeta #33	0.32	15	05/05/2015	19/05/2015										
probeta #34	0.32	15	05/05/2015	19/05/2015										
probeta #35	0.32	15	05/05/2015	19/05/2015										
probeta #36	0.42	15	05/05/2015	19/05/2015										
probeta #37	0.42	15	05/05/2015	19/05/2015										
probeta #38	0.42	15	05/05/2015	19/05/2015										

Fuente: elaboración propia.

4.7. Ensayo de viguetas de concreto

Para determinar o ensayar las viguetas de concreto, se sacan del pozo de curado, se mide las dimensiones para poder aplicar las cargas a dos tercios ubicado a ambos lados de la misma. Después se coloca la vigueta en las distancias ya medidas y se aplica la carga hasta que falle.

4.8. Ensayo de infiltración para cilindros de concreto

En vista de que este es un tema que aún está sometido a investigación, no existe una Norma específica y precisa que mida la capacidad filtrante del concreto. Sin embargo en anteriores investigaciones hechas por el

ACI, definieron un método, para medir la tasa de percolación que posee el concreto permeable específicamente en ACI 522R.

En el cual son sometidos los cilindros de concreto permeable en un aparato denominado permeámetro el cual mide en que tiempo el cilindro de concreto filtra un cierto volumen de agua la columna de agua puede variar de 22-30cm.

El tiempo es dividido en su área constante y se determina el coeficiente de infiltración.

4.9. Aplicación del pavimento hidráulico permeable en un proyecto de estacionamiento en la zona urbana de la ciudad de huanuco, en el Jr Mayro cuadra 7.

Estudios en campo y laboratorio

Los estudios realizados en campo se ejecutaron con el fin de obtener la altimetría, área disponible y capacidad de infiltración del sitio escogido en donde se ubicará el campo de prueba piloto de pavimentos permeables; mediante levantamientos topográficos y pruebas de infiltración. También se realizaron ensayos de proctor y CBR para saber la capacidad portante del suelo, lo cual es indispensable en el diseño de pavimentos.

Levantamientos topográficos

En el sitio seleccionado para localizar el campo de prueba piloto se determinó por medio de observación de las escorrentías, disponibilidad de espacio y dificultad del terreno. Las aguas de lluvia no se evacuan formando charcos de agua, el volumen de agua que no es transportado queda dispuesto en áreas desconectadas, como espacios verdes, vías y parqueaderos.

A partir de lo anterior, se escogió el sitio adecuado donde el campo de prueba piloto no tuviera interferencia con escorrentías ya que se desea que esté aislado para poder calcular los volúmenes almacenados de manera más precisa. El levantamiento se realizó usando mira de escala milimétrica, nivel de precisión y cinta de 30 metros, para saber la altimetría y área disponible. Los datos tomados se muestran en la

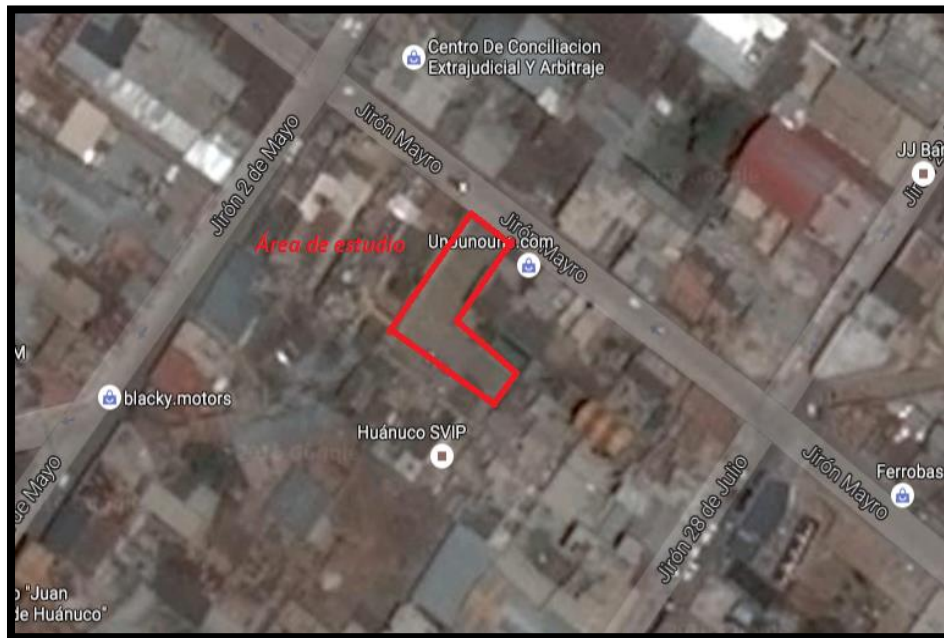


Figura N° 9: ubicación del estacionamiento en prueba.

Fuente: elaboración propia.

Ensayo de granulometría

Las muestras de suelo se tomaron de las excavaciones hechas para las pruebas de infiltración, y se siguió el procedimiento indicado en las normas AASHTO 93. Los resultados de las pruebas de granulometría se muestran en la tabla . Se tomaron 1 muestra con el fin de caracterizar el tipo suelo, y determinar qué tipo de drenaje se debe usar

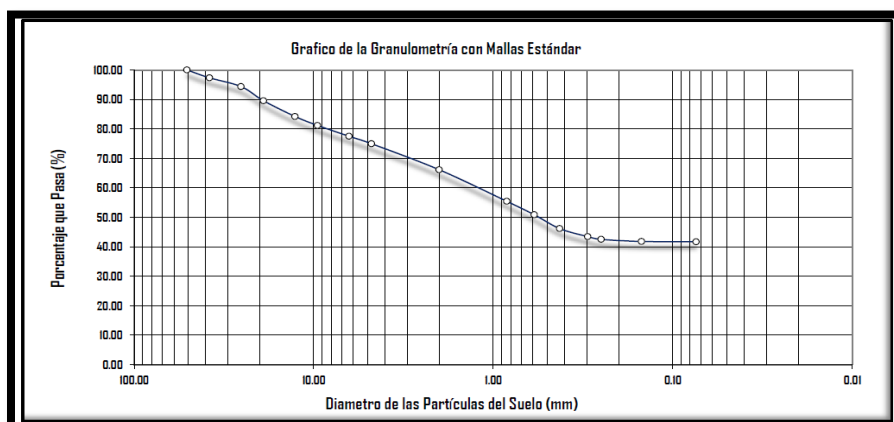


Fotografía N° 14: calicata para estación de prueba.

Fuente elaboración propia.

Tabla N° 12: análisis granulométrico del estacionamiento en prueba.

TAMIZ N°	Tamiz (mm)	Peso Retenido	Pasante (%)	Retenido acumulado (% parcial (%))	Retenido
3"	76.20	0.00	100.00	0.00	0.00
2"	50.80	0.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2"	38.10	90.30	97.35	2.65	2.65
1"	25.40	101.50	94.37	5.63	2.98
3/4"	19.05	163.40	89.57	10.43	4.80
1/2"	12.70	181.90	84.23	15.77	5.34
3/8"	9.53	103.40	81.19	18.81	3.04
1/4"	6.35	125.20	77.52	22.48	3.68
No 4	4.76	86.70	74.97	25.03	2.55
No 10	2.00	300.00	66.16	33.84	8.81
No 20	0.84	365.20	55.44	44.56	10.72
No 30	0.59	155.40	50.88	49.12	4.56
No 40	0.43	159.80	46.18	53.82	4.69
No 50	0.30	92.90	43.46	56.54	2.73
No 60	0.25	31.70	42.53	57.47	0.93
No 100	0.15	23.60	41.83	58.17	0.69
No 200	0.07	4.20	41.71	58.29	0.12
CAZOLETA	0.00	1420.5	0.00	100.00	41.71
TOTAL		3405.70			



Fuente elaboración propia.

Peso de la muestra Húmeda	3942.20 gr
Peso de la muestra Seca	3405.70 gr
Peso de la muestra Seca Lavada	2636.00 gr
Peso de la Tara	618.50 gr

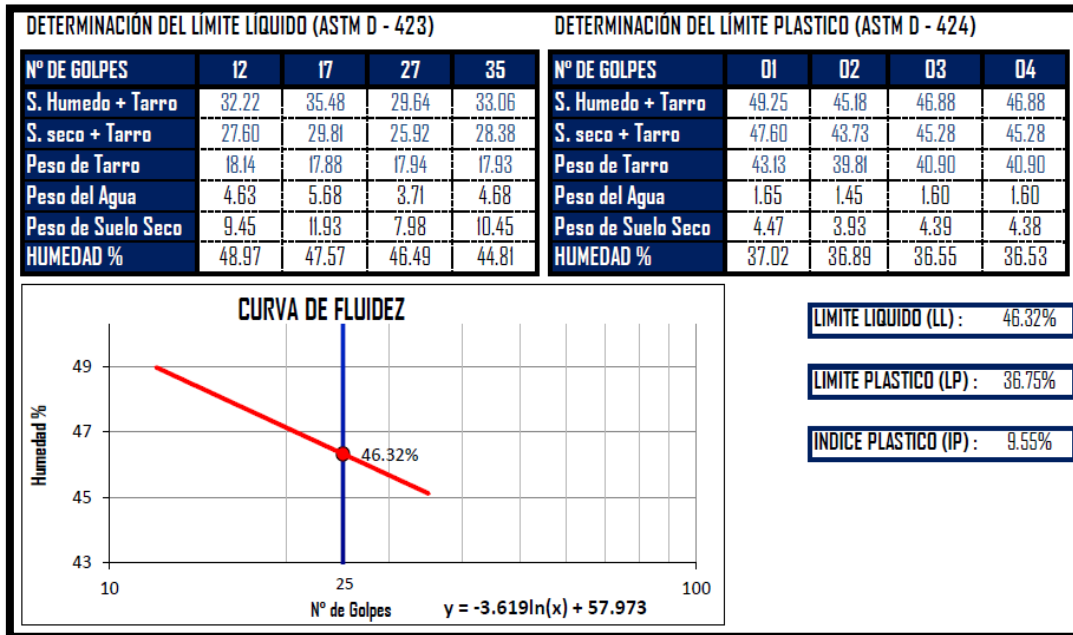
LIMITES DE CONSISTENCIA Y CONTENIDO			
Límite líquido LL	46.30%	Cantidad de Grava	25.03%
Límite plástico LP	36.75%	Cantidad de Arena	33.26%
Ind. de Plasticidad IP	9.55%	Cant. de Limo-Arcilla	41.71%
Material granular equivalente a:			58.29%

Pasa tamiz N° 4 :	50.88 %
Pasa tamiz N° 200:	41.71 %
D60(diámetro efectivo):	1.33 mm
D30(diámetro efectivo):	mm
D10 (diámetro efectivo):	mm
Coef. de uniformidad (Cu):	
Grado de curvatura (Cc):	

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de estos ensayos muestran que son suelos con grava, debido a que más del 40% del material queda retenido por el tamiz No. 10.

Tabla N° 13: limite líquido y limite plástico



Fuente elaboración propia.

La tabla 13 muestra la clasificación del suelo según A.A.S.H.T.O. y U.S.C.S. de acuerdo con los ensayos de atterberg realizados.

GM: Grava Limosa

A – 5: Suelo Limoso

Ensayos de Proctor y CBR:

Con fines de conocer la capacidad de compactación y resistencia que brinda el suelo natural del terreno, se procedió a realizar los ensayos de proctor y CBR respectivamente.

Posteriormente se muestran los datos del ensayo proctor realizado para determinar la densidad máxima seca del suelo del sitio seleccionado:

Tabla N° 14: ensayo de proctor

UBICACIÓN	: JIRON MAYRO CUADRA 7										
SOLICITA	: TESISITA										
MUESTRA	: CALICATA DI										
FECHA	: FEBRERO DEL 2016										
	MÉTODO: C										
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE	gr.	10190.7	10576.4	10978.0	10665.8	10722.6					
PESO DEL MOLDE	gr.	6360.4	6360.4	6360.4	6360.4	6360.4					
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	3830.3	4216.0	4617.6	4305.4	4362.2					
VOLUMEN DEL MOLDE	cm3.	2123.9	2123.9	2123.9	2123.9	2123.9					
DENSIDAD HUMEDA	gr/c3.	1.803	1.985	2.174	2.027	2.054					
Nº DE TARA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DETERMINACIÓN		SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
PESO MUEST. HUMEDA + TARA	gr.	510.771	510.771	461.776	464.782	492.483	495.489	507.112	507.112	465.028	465.028
PESO MUESTRA SECA + TARA	gr.	494.317	494.317	438.227	438.227	452.074	452.074	452.368	452.368	412.972	412.972
PESO DE LA TARA	gr.	2.766	2.766	2.689	2.689	2.811	2.811	2.793	2.793	2.179	2.179
PESO DEL AGUA	gr.	16.454	16.454	23.549	26.555	40.409	43.415	54.744	54.744	52.056	52.056
PESO MUESTRA SECA	gr.	491.551	491.551	435.537	435.537	449.263	449.263	449.575	449.575	410.793	410.793
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.347	3.347	5.407	6.097	8.995	9.664	12.177	12.177	12.672	12.672
HUMEDAD PROMEDIO	%	3.347		5.752		9.329		12.177		12.672	
DENSIDAD SECA	gr/c3.	1.7450		1.8771		1.9886		1.8071		1.8229	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los tres puntos de densidad seca calculados anteriormente y humedad, se graficó la curva de compactación para determinar la humedad óptima y la densidad máxima.

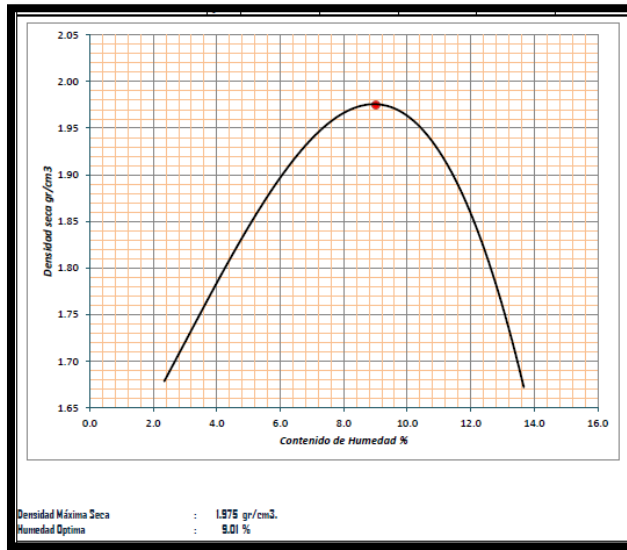


Gráfico N° 2: densidad óptima.

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que la densidad máxima seca de es 1.975 g/cm³ con un contenido de humedad óptimo de 9.01%.

A continuación se muestran los resultados del ensayo de CBR realizado al suelo en estudio, en el cual se tomó el valor máximo entre 56, 25 y 10 golpes analizando las penetraciones por pulgadas entre 0.1" y 0.2" , el valor de CBR.

Tabla N° 15: Ensayo de CBR, del estacionamiento.

MUESTRA		01				02				03			
N° DE GOLPES		56				25				10			
CONDICIÓN		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
Peso del molde + suelo humedo	gr.	12112.0		12279.0		11721.3		12190.0		11554.0		11943.0	
Peso del molde	gr.	7228.0		7228.0		7223.0		7223.0		7189.7		7189.7	
Peso del suelo humedo	gr.	4884.0		5051.0		4498.3		4967		4364.3		4753.3	
Volumen del suelo	cm ³	2123.9		2123.9		2123.9		2123.9		2123.9		2123.9	
Densidad humeda	gr/cc	2.800		2.378		2.118		2.339		2.055		2.238	
Humedad	%	4.52				7.37				11.23			
Densidad seca	gr/cc	2.200				1.973				1.847			
IDENTIFICACION DE TARA													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Peso tara + suelo humedo	gr.	259.00	254.30			253.20	262.30			265.30	236.60		
Peso tara + suelo seco	gr.	251.10	242.30			232.50	251.60			231.00	225.00		
Peso de la tara	gr.	25.40	25.60			25.40	26.10			25.10	25.30		
Peso del agua	gr.	7.900	12.000			20.700	10.700			34.300	11.600		
Peso de los solidos	gr.	225.70	216.70			207.10	225.50			205.90	199.70		
humedad	%	3.50	5.54			10.00	4.75			16.66	5.81		
Promedio de humedad	%	4.52				7.37				11.23			

P E N E T R A C I O N												
PENETRACION EN PULGADAS	MUESTRA N° 01				MUESTRA N° 02				MUESTRA N° 03			
	LECTURA mm	CORRECCION			LECTURA mm	CORRECCION			LECTURA mm	CORRECCION		
		Libras	Lb/Pulg.2.			Libras	Lb/Pulg.2.			Libras	Lb/Pulg.2.	
0	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025	36	361.5	120.5		20	200.8	66.9		10	100.4	33.5	
0.050	70	702.9	234.3		36	361.5	120.5		19	190.8	63.6	
0.075	92	923.8	307.9		50	502.1	167.4		25	251.0	83.7	
0.100	107	1074.5	358.2		62	622.6	207.5		33	331.4	110.5	
0.150	129	1295.4	431.8		81	813.4	271.1		45	451.9	150.6	
0.200	149	1496.2	498.7		101	1014.2	338.1		55	552.3	184.1	
0.250	167	1672.0	557.3		115	1154.8	384.9		65	652.7	217.6	
0.300	185	1852.7	617.6		130	1305.4	435.1		73	733.0	244.3	
0.400	212	2123.8	707.9		151	1516.3	505.4		89	893.7	297.9	
0.500	236	2369.9	790.0		168	1687.0	562.3		99	994.1	331.4	

Fuente: elaboración propia.

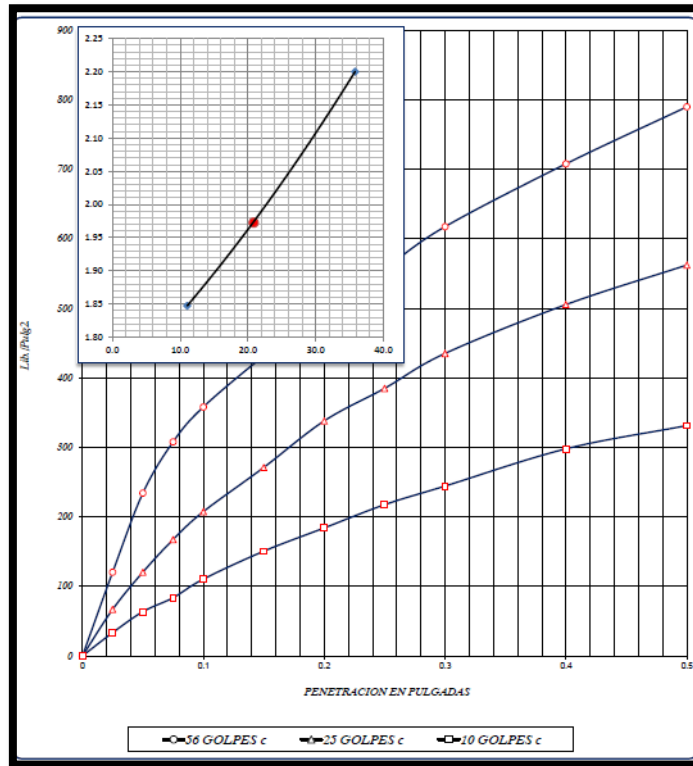


Gráfico N° 3: curvas del CBR

Fuente: elaboración propia.

Tabla N° 16: resultado del CBR del estacionamiento.

56 GOLPES	25 GOLPES	10 GOLPES	CBR DE DISEÑO	
DENSIDAD SECA = 2.20 gr/cm3.	DENSIDAD SECA = 1.97 gr/cm3.	DENSIDAD SECA = 1.85 gr/cm3.	CBR al 100% DE DENSIDAD SECA MAX.=	35.8 %
CBR a 0.1" = 36 %	CBR a 0.1" = 20.8 %	CBR a 0.1" = 11.0 %	CBR al 95% DE DENSIDAD SECA MAX.=	20.9 %
CBR a 0.2" = 99.7 %	CBR a 0.2" = 22.5 %	CBR a 0.2" = 12.3 %		

Fuente: elaboración propia.

Intensidad:

Con la curva IDF de la zona de la ciudad de Huánuco se calcula la intensidad de la lluvia para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 60 min.

$I = 20 \text{ mm/hora}$

Coeficiente de escurrimiento:

La zona es una zona residencial con jardines por lo que el valor de coeficiente de escurrimiento es:

$$C = 0.5$$

Volumen afluente:

$$V_{af}(t) = 1,25 * 0,001 C I_t A t = 0,00125 C A P_t^t$$

Donde:

V_{af} = Es el volumen de agua que aporta la zona adyacente al sistema, en metros cúbicos.

C = coeficiente de escurrimiento del área adyacente.

A = Es el área adyacente, en m².

I_t = Es la intensidad de la lluvia en una determinada duración, en mm/hora.

T = Tiempo de retorno, en años. t = Duración, en horas.

P_tT = Precipitación acumulada en una determinada duración y para un determinado periodo de retorno.

$$V_{af} = 1,25 * 0,5 * 0,02 * 97 * 1 = 1.21 \text{ m}^3$$

Volumen sobre el pavimento:

$$V_{inf}(t) = 0,001 f C_s A_e t$$

Donde:

f = La capacidad de infiltración de la subrasante, en mm/hora.

A_e = Área del pavimento permeable, en m².

t = Duración, en horas.

C_s = Coeficiente de seguridad de colmatación, este valor depende de la calidad del agua y del mantenimiento al sistema, la imagen muestra el grafico para seleccionar dicho valor.

$$V_p = 0,02 \cdot 1 \cdot 300 = 6 \text{ m}^3$$

Para evitar la proliferación de microorganismos y malos olores, por el estancamiento del agua se debe garantizar un tiempo de drenaje inferior a 48 horas, para esto se calcula el tiempo de drenaje (t_m), mediante la ecuación 10 se puede calcular el tiempo de drenaje:

$$t_m = \frac{p e_s}{C_s f}$$

Donde:

e_s = Espesor de la sub-base, en mm.

f = La capacidad de infiltración de la subrasante, en mm/hora.

C_s = Coeficiente de seguridad de colmatación, este valor depende de la calidad del agua y del mantenimiento al sistema.

p = Porosidad de la sub-base, usualmente 0,3.

$$T_m = 10 \text{ cm}$$

Volumen en la tubería

Como el sistema es de infiltración cero el volumen de salida será el caudal través de una tubería perforada (supuesta 2”), multiplicado por la duración del evento de precipitación da el volumen:

$$\text{Vol} = \text{tdur} \cdot \text{Qtub}$$

Se desconoce Q_{tub} .

$$\text{Qtub} = \text{Vel} \cdot \text{Atub}$$

Para hallar la velocidad se usa la formula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Se supone la pendiente de 1%.

El coeficiente de rugosidad de Manning es generalmente un dato entregado por el propio fabricante, como especificación técnica del producto, lo suponemos igual a 0,02.

El radio hidráulico se calcula como si el tubo fuera un canal circular, debido a que la tubería perforada viaja a flujo libre, para esto se supone un ángulo de 180° que indica que la tubería se llena hasta la mitad.

$$R_h = 0,0031 \text{ m}$$

Entonces:

$$\text{Vel} = 0,2721 \text{ m/s}$$

$$\text{Atub} = 0,00202 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{tub}} = 0,00055 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{ol}} = 1,98 \text{ m}^3$$

Volumen de almacenamiento

Teniendo las entradas y la salida la diferencia entre estas será el volumen de almacenamiento (V_{alm}).

$$V_{\text{alm}} = 1.21+6 - 1,98 = 5.23 \text{ m}^3$$

Espesor de la sub-base:

$$e = V_{\text{alm}} / (pA_e)$$

$$e = 5.23 / (0,3 * 300) = 6 \text{ cm}$$

El dato de espesor obtenido por el diseño hidráulico debe ser comparado con el dato de espesor que se obtendrá por medio del diseño estructural, el mayor entre estos dos será el espesor de diseño.

Diseño estructural:

Selección del tipo de carga de acuerdo al uso:

Tipo de uso = estacionamiento vehicular

Área de pavimento poroso: 300m²

Perímetro: 97 m

CBR: 21 %

a/c : 0.28

% vacíos: 15%

Resistencia a la compresión: 82.73 kg/cm²

Resistencia a la flexión: 27.09

Espesores de diseño:

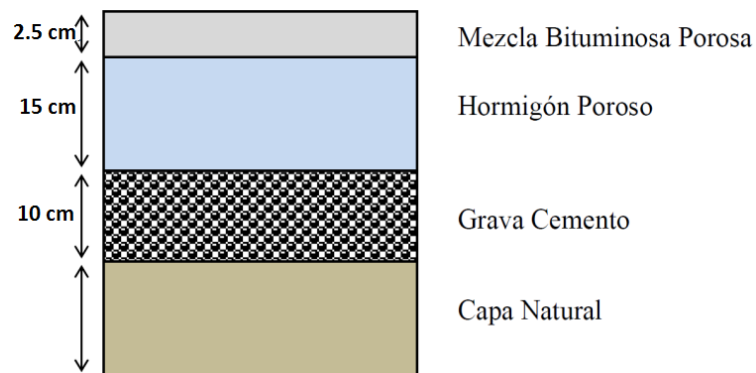


Figura N° 10: espesores de diseño de pavimento poroso.

Fuente: elaboración propia.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- En el análisis obtenido de los resultados (ver tabla N° 11), el más apropiado para el diseño del pavimento poroso en el estacionamiento de la zona urbana de la ciudad de Huánuco, es el que mayor resultado tuvo con $a/c = 0.28$, % vacíos = 15 a un tiempo de curación de 28 días, resulta un esfuerzo cortante corregido de 82.73 kg/cm² y esfuerzo de flexión de 27.09 kg/cm².
- El contenido de vacíos de un concreto permeable está en función de tres factores para una cantidad constante de pasta y son: esfuerzo de compactación, forma y superficie de textura de partículas del agregado, coeficiente de uniformidad del agregado. Agregados más redondeados producen menos contenido de vacío al mismo esfuerzo de compactación. El contenido de vacíos efectivo disminuye al incrementar el coeficiente de uniformidad del agregado.
- El sistema de pavimento de concreto permeable en comparación con el de concreto convencional, hace una excepción en aislar la subrasante ante la presencia del agua. El pavimento de concreto permeable está diseñado para captar el agua lluvia precipitada y conducirlo al suelo de subrasante para luego ser filtrada y recargar así los mantos acuíferos; o para ser conducida a sistemas de captación para su uso posterior.
- El diseño apropiado del pavimento poroso para el estacionamiento de la ciudad de Huánuco con los datos estructurales y los datos de cantera, como: el Área de pavimento 300m², Perímetro 97 m, CBR 21%, a/c 0.28, %vacíos 15%, Resistencia a la compresión 82.73 kg/cm² y Resistencia a la flexión: 27.09; el diseño apropiado con estos

datos es : 2.5 cm de mezcla bituminosa, hormigón poroso 15 cm y sb base 10 cm (ver figura N°10).

Recomendaciones:

- El uso de aditivos es opcional en proyectos donde no abarca un área muy grande, pero teniendo cuidado de colocar la mezcla de una manera rápida y eficiente sin afectar la calidad del concreto. Ya que el fraguado para este tipo de concreto es rápido comparado al de un concreto convencional.
- Es importante aclarar que el pavimento de Concreto Permeable está concebido para ser aplicado en estacionamientos vehiculares, calles de poco a mediano tráfico. También en aplicaciones tales como: aceras, senderos, fuentes, orillas de piscinas. No para tráfico vehiculares altos, a no ser que sirvan como sub bases drenantes en los que ayudaría en buena medida a evitar la migración de finos evitando así en futuro el fenómeno de bombeo.
- Llevar a cabo más diseños de mezclas utilizando agregados de nuestro país para ir estableciendo comparativas en las características hidráulicas y mecánicas, pero también en el costo de producirlas para que el sistema sea accesible a la población.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute ACI522R-06. (2002). Nacional Ready Mixed Concrete Association NRMCA – Portland Cement Association. Revista BIT.
- Azañedo, W., Chávez, H., & Muñoz, R. (2007). Diseño de Mezcla de Concreto Poroso con Agregados de la Canterala Victoria, Cemento Portland Tipo I con Adición de Tiras de Plástico, y su Aplicación en Pavimentos Rígidos, en la Ciudad de Cajamarca. Tesis de licenciatura. Universidad nacional de Cajamarca, Perú.
- Campos, J. (2008) Seguimiento y Comparación del Comportamiento de Tramos con Mezcla Drenante, Según Zona Geográfica y Condiciones Locales. Tesis de maestría. Universidad de Chile, Chile.
- Cibrián, I. (2009). Reducción de escurrimientos pluviales mediante la utilización de pavimentos de concreto permeable. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México. [Fecha de acceso 25 de octubre de 2014]. URL disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2903/cibrianfernandez.pdf?sequence=1>
- Juyar, G. & Pérez, G. (1998) Comparación de Mezclas Asfálticas Drenantes fabricadas con asfalto modificado y sin modificar. PP. 76-87.
- Kennedy, T.W. & Hudson, W.R. () Application of the indirect Tensile Test to Stabilized Materials. Highway Research Record, No. 235.
- López, E. (2010). Control de calidad y colocación de concretos permeables. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México. [Fecha de acceso 31 de octubre de 2014]. URL disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/559/A4%20Capitulo%201%20Aspectos%20Generales%20Del%20Concreto%20Permeable.pdf?sequence=4>

Meininger, R. (1988). No-Fines Pervious Concrete for Paving. Concrete International. Vol. 10, N°8, PP. 20-27. [Fecha de acceso 25 de octubre de 2014]. URL disponible en: <http://www.rmc-foundation.org/images/PCRC%20Files/Applications%20&%20Case%20Studies/No-Fines%20Pervious%20Concrete%20for%20Paving-Meininger.pdf>

Meneses, C. M., Bravo, C. H. (2007). Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según el tipo de granulometría. Tesis de maestría. Universidad de Medellín, Colombia. [Fecha de acceso 11 de febrero de 2015]. URL disponible en:

<http://cdigital.udem.edu.co/TESIS/CD-ROM25762007/01.TEXTO%20COMPLETO.pdf>

Mitacc, M. (1996). Tópicos de Inferencia Estadística. 2da. Edición. Lima. Universidad de Lima. PP. 182, 183,184.

Muñoz, G. & Ruiz, C. (2002). Metodología de diseño y colocación de Mezclas Drenantes. [Fecha de acceso 18 de febrero de 2015]. URL disponible en: <http://www.e-asphalt.com/magazine/mezclasdrenantes.pdf>

Rebollo, O., González, R., & Botasso, G. (2006) "Determinación del porcentaje de ligante optimo en mezclas asfálticas abiertas"

Ruiz, A. (1990). Las Mezclas Drenantes en España. Revista Rutas Octubre

Solminihac, H., Videla, C., Fernández, B., & Castro, J. (2007). Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables. Materiales de Construcción. Vol. 57, PP. 23-36. [Fecha de acceso 24 de octubre de 2014]. URL disponible en: <https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fmaterconstrucc.revistas.csic.es%2Findex.php%2Fmaterconstrucc%2Farticle%2Fdownload%2F54%2F67>

http://www.asocem.org.pe/web/actual_nac/actualidad%20nacional%20%202013%20-%20Septiembre.pdf

Verónica C. Y., Charca C. J. A., Yanqui C. C. (2013). Investigación en concreto poroso - ASOCEM (Asociación de productores de Cemento). [Fecha de acceso 06 de febrero de 2015]. URL disponible en: http://www.asocem.org.pe/web/actual_nac/actualidad%20nacional%20%202013%20-%20Septiembre.pdf

Anexo: Ensayos de laboratorio



PROYECTO : "DISEÑO DE UN PAVIMENTO RIGIDO PERMEABLE, CON AGREGADOS DE LA CANTERA CHULLQUI, PARA EL DRENAJE URBANO EN ESTACIONAMIENTOS EN LA CIUDAD DE HUANUCO 2016"
 UBICACIÓN : JIRON MAYRO CUADRA 7
 SOLICITA : TESISISTA
 CALICATA : CALICATA 01
 FECHA : FEBRERO DEL 2016

ANALISIS GRANULOMETRICO

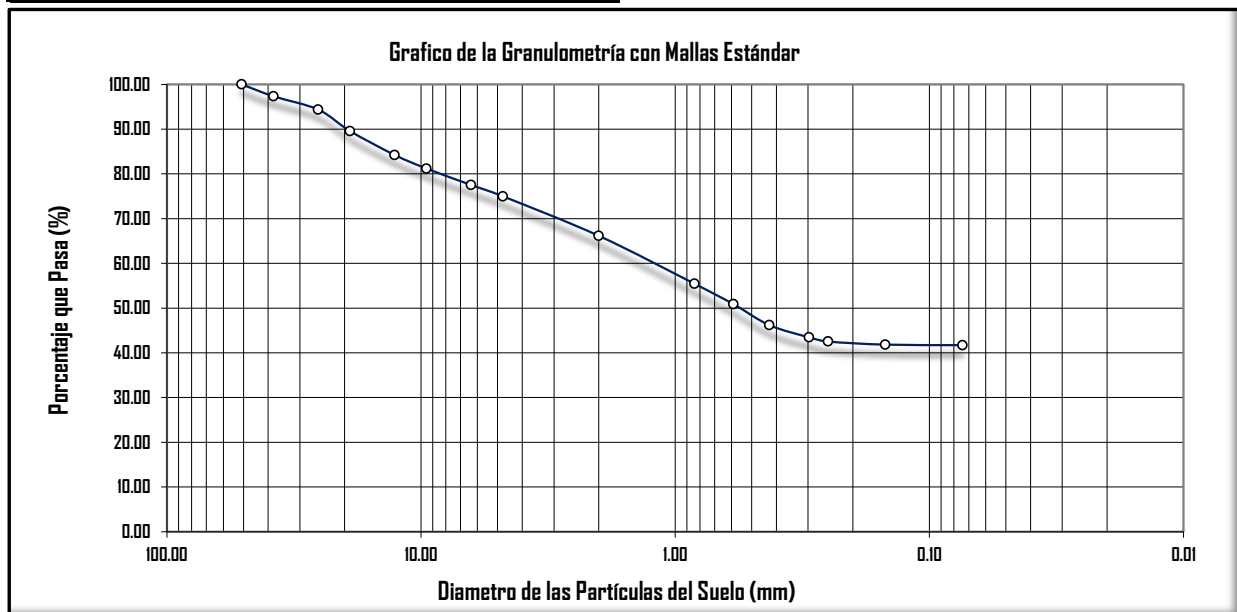
TAMIZ Nº	Tamiz (mm)	Peso Retenido	Pasante (%)	Retenido sumulado (%)	Retenido parcial (%)
3"	76.20	0.00	100.00	0.00	0.00
2"	50.80	0.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2"	38.10	90.30	97.35	2.65	2.65
1"	25.40	101.50	94.37	5.63	2.98
3/4"	19.05	163.40	89.57	10.43	4.80
1/2"	12.70	181.90	84.23	15.77	5.34
3/8"	9.53	103.40	81.19	18.81	3.04
1/4"	6.35	125.20	77.52	22.48	3.68
No 4	4.76	86.70	74.97	25.03	2.55
No 10	2.00	300.00	66.16	33.84	8.81
No 20	0.84	365.20	55.44	44.56	10.72
No 30	0.59	155.40	50.88	49.12	4.56
No 40	0.43	159.80	46.18	53.82	4.69
No 50	0.30	92.90	43.46	56.54	2.73
No 60	0.25	31.70	42.53	57.47	0.93
No 100	0.15	23.60	41.83	58.17	0.69
No 200	0.07	4.20	41.71	58.29	0.12
CAZOLETA	0.00	1420.5	0.00	100.00	41.71
TOTAL		3405.70			

Peso de la muestra Húmeda	3942.20 gr
Peso de la muestra Seca	3405.70 gr
Peso de la muestra Seca Lavada	2636.00 gr
Peso de la Tara	618.50 gr

LÍMITES DE CONSISTENCIA Y CONTENIDO			
Límite líquido LL	46.30%	Cantidad de Grava	25.03%
Límite plástico LP	36.75%	Cantidad de Arena	33.26%
Ind. de Plasticidad IP	9.55%	Cant. de Limo-Arcilla	41.71%
Material granular equivalente a:			58.29%

Pasa tamiz Nº 4 :	50.88 %
Pasa tamiz Nº 200:	41.71 %
D60 (diámetro efectivo):	1.33 mm
D30 (diámetro efectivo):	mm
D10 (diámetro efectivo):	mm
Coef. de uniformidad (Cu):	
Grado de curvatura (Cc):	

OBSERVACIONES:
NINGUNA





PROYECTO : "DISEÑO DE UN PAVIMENTO RIGIDO PERMEABLE, CON AGREGADOS DE LA CANTERA CHULLQUI, PARA EL DRENAJE URBANO EN ESTACIONAMIENTOS EN LA CIUDAD DE HUANUCO 2016"
 UBICACIÓN : JIRON MAYRO CUADRA 7
 SOLICITA : TESISISTA
 CALICATA : CALICATA 01
 FECHA : FEBRERO DEL 2016

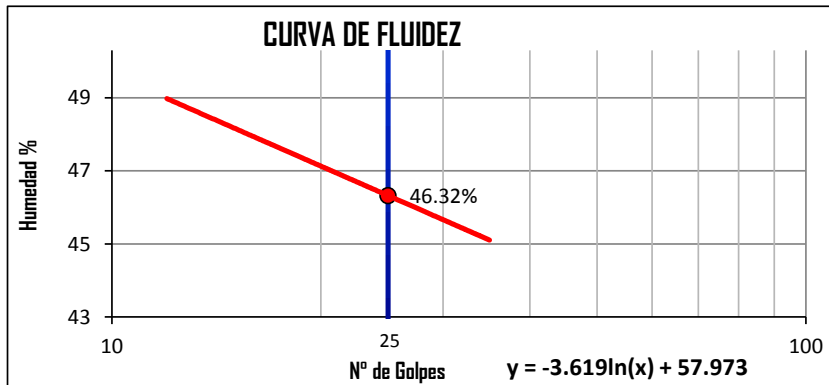
LIMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D - 423)

Nº DE GOLPES	12	17	27	35
S. Humedo + Tarro	32.22	35.48	29.64	33.06
S. seco + Tarro	27.60	29.81	25.92	28.38
Peso de Tarro	18.14	17.88	17.94	17.93
Peso del Agua	4.63	5.68	3.71	4.68
Peso de Suelo Seco	9.45	11.93	7.98	10.45
HUMEDAD %	48.97	47.57	46.49	44.81

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D - 424)

Nº DE GOLPES	01	02	03	04
S. Humedo + Tarro	49.25	45.18	46.88	46.88
S. seco + Tarro	47.60	43.73	45.28	45.28
Peso de Tarro	43.13	39.81	40.90	40.90
Peso del Agua	1.65	1.45	1.60	1.60
Peso de Suelo Seco	4.47	3.93	4.39	4.38
HUMEDAD %	37.02	36.89	36.55	36.53

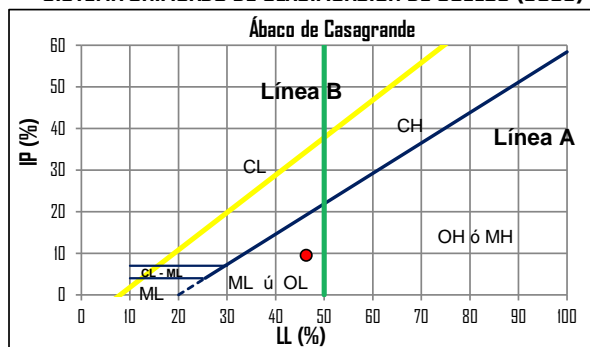


LÍMITE LÍQUIDO (LL) : 46.32%

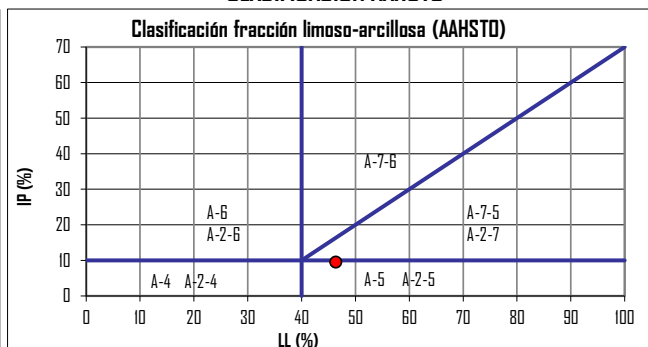
LÍMITE PLÁSTICO (LP) : 36.75%

ÍNDICE PLÁSTICO (IP) : 9.55%

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



CLASIFICACIÓN AASHTO



Clasificación de suelos: Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio).

Grava limosa GM

Clasificación de suelos: AASHTO

A-5 Suelo limoso

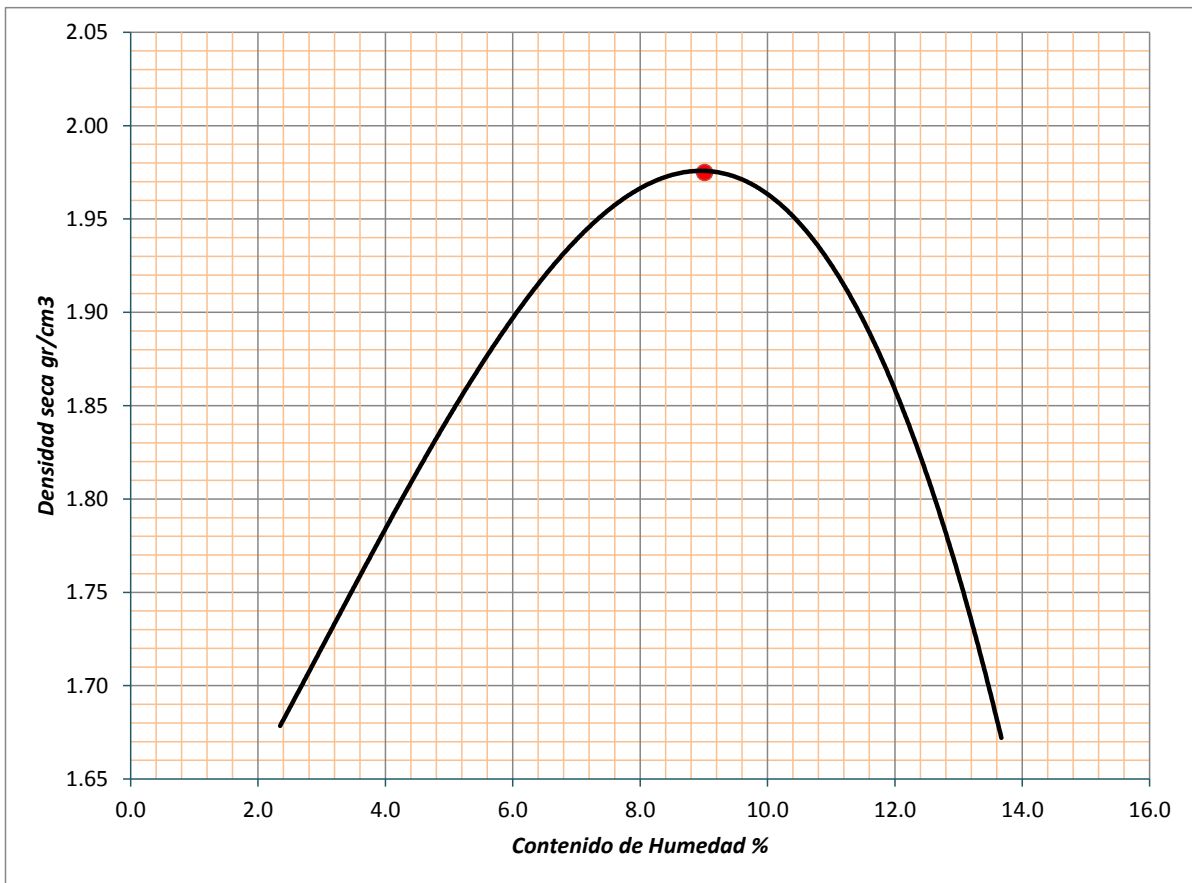
Valor del índice de grupo:



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA COMPACTADA

UBICACIÓN : JIRON MAYRO CUADRA 7
SOLICITA : TESISTA
MUESTRA : CALICATA DI
FECHA : FEBRERO DEL 2016 **MÉTODO: C**

PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE	gr.	10190.7	10576.4	10978.0	10665.8	10722.6					
PESO DEL MOLDE	gr.	6360.4	6360.4	6360.4	6360.4	6360.4					
PESO MUESTRA HÚMEDA	gr.	3830.3	4216.0	4617.6	4305.4	4362.2					
VOLUMEN DEL MOLDE	cm ³ .	2123.9	2123.9	2123.9	2123.9	2123.9					
DENSIDAD HÚMEDA	gr/c ³ .	1.803	1.985	2.174	2.027	2.054					
Nº DE TARA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DETERMINACIÓN		SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR
PESO MUEST. HÚMEDA + TARA	gr.	510.771	510.771	461.776	464.782	492.483	495.489	507.112	507.112	465.028	465.028
PESO MUESTRA SECA + TARA	gr.	494.317	494.317	438.227	438.227	452.074	452.074	452.368	452.368	412.972	412.972
PESO DE LA TARA	gr.	2.766	2.766	2.689	2.689	2.811	2.811	2.793	2.793	2.179	2.179
PESO DEL AGUA	gr.	16.454	16.454	23.549	26.555	40.409	43.415	54.744	54.744	52.056	52.056
PESO MUESTRA SECA	gr.	491.551	491.551	435.537	435.537	449.263	449.263	449.575	449.575	410.793	410.793
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.347	3.347	5.407	6.097	8.995	9.664	12.177	12.177	12.672	12.672
HUMEDAD PROMEDIO	%	3.347		5.752		9.329		12.177		12.672	
DENSIDAD SECA	gr/c ³ .	1.7450		1.8771		1.9886		1.8071		1.8229	



Densidad Máxima Seca : 1.975 gr/cm³.
Humedad Optima : 9.01 %



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ENSAYO DE CBR : ASTM D 1883 - 73

UBICACIÓN : JIRON MAYRO CUADRA 7
 SOLICITA : TESISTA
 MUESTRA : CALICATA 01

COMPACTACION : TIPO C
 FECHA : FEBRERO DEL 2016

MUESTRA		01				02				03			
Nº DE GOLPES		56				25				10			
CONDICIÓN		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO		SIN SUMERGIR		SUMERGIDO	
Peso del molde + suelo humedo	gr.	1212.0		12279.0		11721.3		12190.0		11554.0		11943.0	
Peso del molde	gr.	7228.0		7228.0		7223.0		7223.0		7189.7		7189.7	
Peso del suelo humedo	gr.	4884.0		5051.0		4498.3		4967		4364.3		4753.3	
Volumen del suelo	cm ³ .	2123.9		2123.9		2123.9		2123.9		2123.9		2123.9	
Densidad humeda	gr/cc	2.300		2.378		2.118		2.339		2.055		2.238	
Humedad	%	4.52				7.37				11.23			
Densidad seca	gr/cc	2.200				1.973				1.847			
IDENTIFICACION DE TARA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Peso tara + suelo humedo	gr.	259.00	254.30			253.20	262.30			265.30	236.60		
Peso tara + suelo seco	gr.	251.10	242.30			232.50	251.60			231.00	225.00		
Peso de la tara	gr.	25.40	25.60			25.40	26.10			25.10	25.30		
Peso del agua	gr.	7.900	12.000			20.700	10.700			34.300	11.600		
Peso de los solidos	gr.	225.70	216.70			207.10	225.50			205.90	199.70		
humedad	%	3.50	5.54			10.00	4.75			16.66	5.81		
Promedio de humedad	%	4.52				7.37				11.23			

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION		LECTURA DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

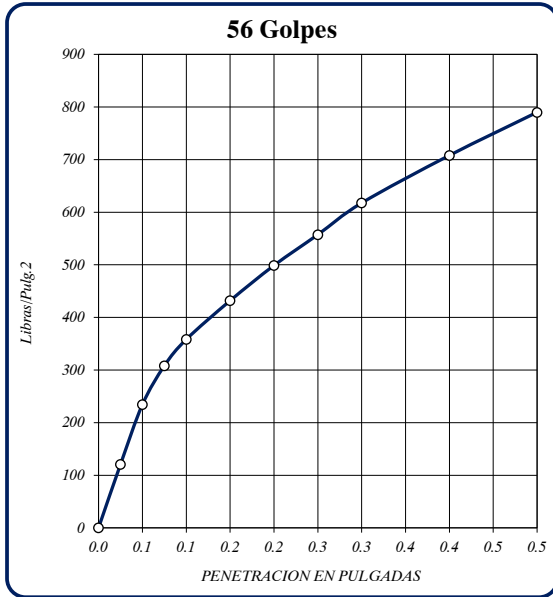
PENETRACION EN PULGADAS	MUESTRA Nº 01				MUESTRA Nº 02				MUESTRA Nº 03			
	LECTURA DIAI	CORRECCION		LECTURA DIAI	CORRECCION		LECTURA DIAI	CORRECCION				
		Libras	Lb/Pulg.Z.		Libras	Lb/Pulg.Z.		Libras	Lb/Pulg.Z.			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.025	36	361.5	120.5	20	200.8	66.9	10	100.4	33.5			
0.050	70	702.9	234.3	36	361.5	120.5	19	190.8	63.6			
0.075	92	923.8	307.9	50	502.1	167.4	25	251.0	83.7			
0.100	107	1074.5	358.2	62	622.6	207.5	33	331.4	110.5			
0.150	129	1295.4	431.8	81	813.4	271.1	45	451.9	150.6			
0.200	149	1496.2	498.7	101	1014.2	338.1	55	552.3	184.1			
0.250	167	1672.0	557.3	115	1154.8	384.9	65	652.7	217.6			
0.300	185	1852.7	617.6	130	1305.4	435.1	73	733.0	244.3			
0.400	212	2123.8	707.9	151	1516.3	505.4	89	893.7	297.9			
0.500	236	2369.9	790.0	168	1687.0	562.3	99	994.1	331.4			



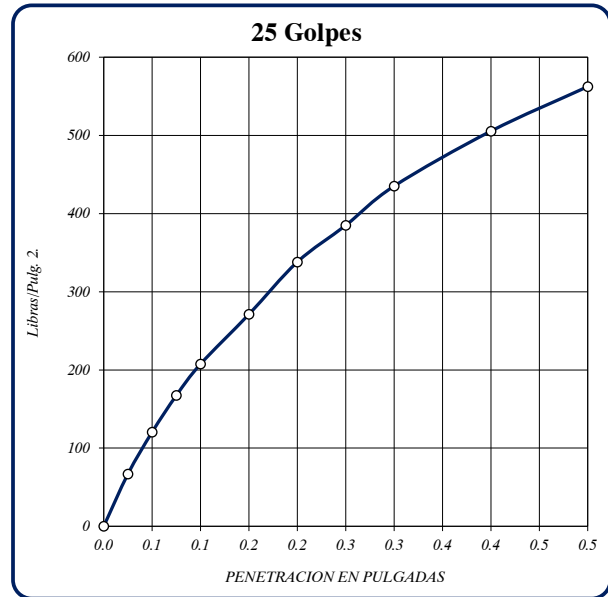
ENSAYO DE CBR : ASTM D 1883 - 73

UBICACIÓN : JIRON MAYRO CUADRA 7
SOLICITA : TESISISTA
CANTERA : CALICATA 01

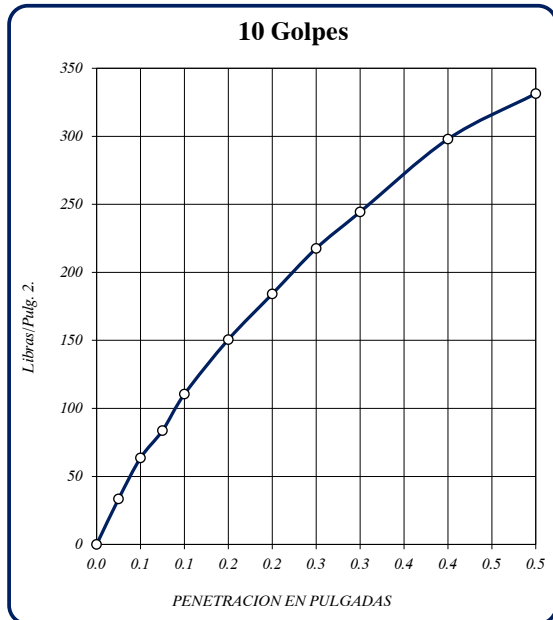
COMPACTACION : TIPO C
FECHA : FEBRERO DEL 2016



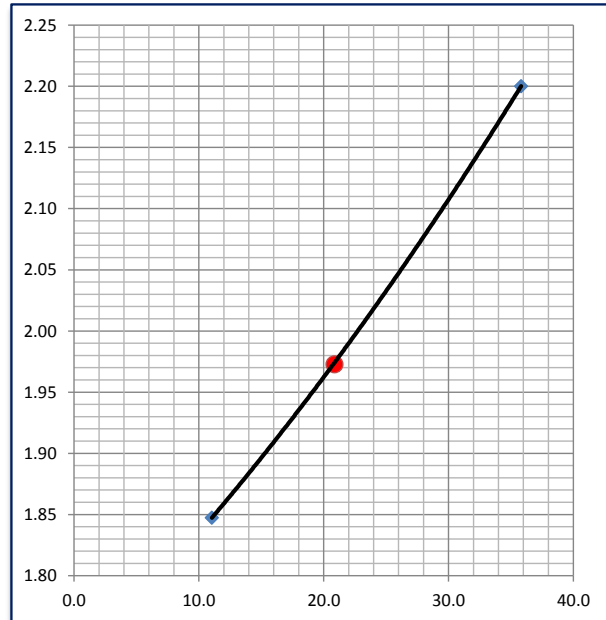
DENSIDAD SECA = 2.200 gr/cm³.
CBR a 0.1" = 35.8 %
CBR a 0.2" = 99.7 %



DENSIDAD SECA = 1.973 gr/cm³.
CBR a 0.1" = 20.8 %
CBR a 0.2" = 22.5 %



DENSIDAD SECA = 1.847 gr/cm³.
CBR a 0.1" = 11 %
CBR a 0.2" = 12.3 %



RESULTADOS DEL ENSAYO:

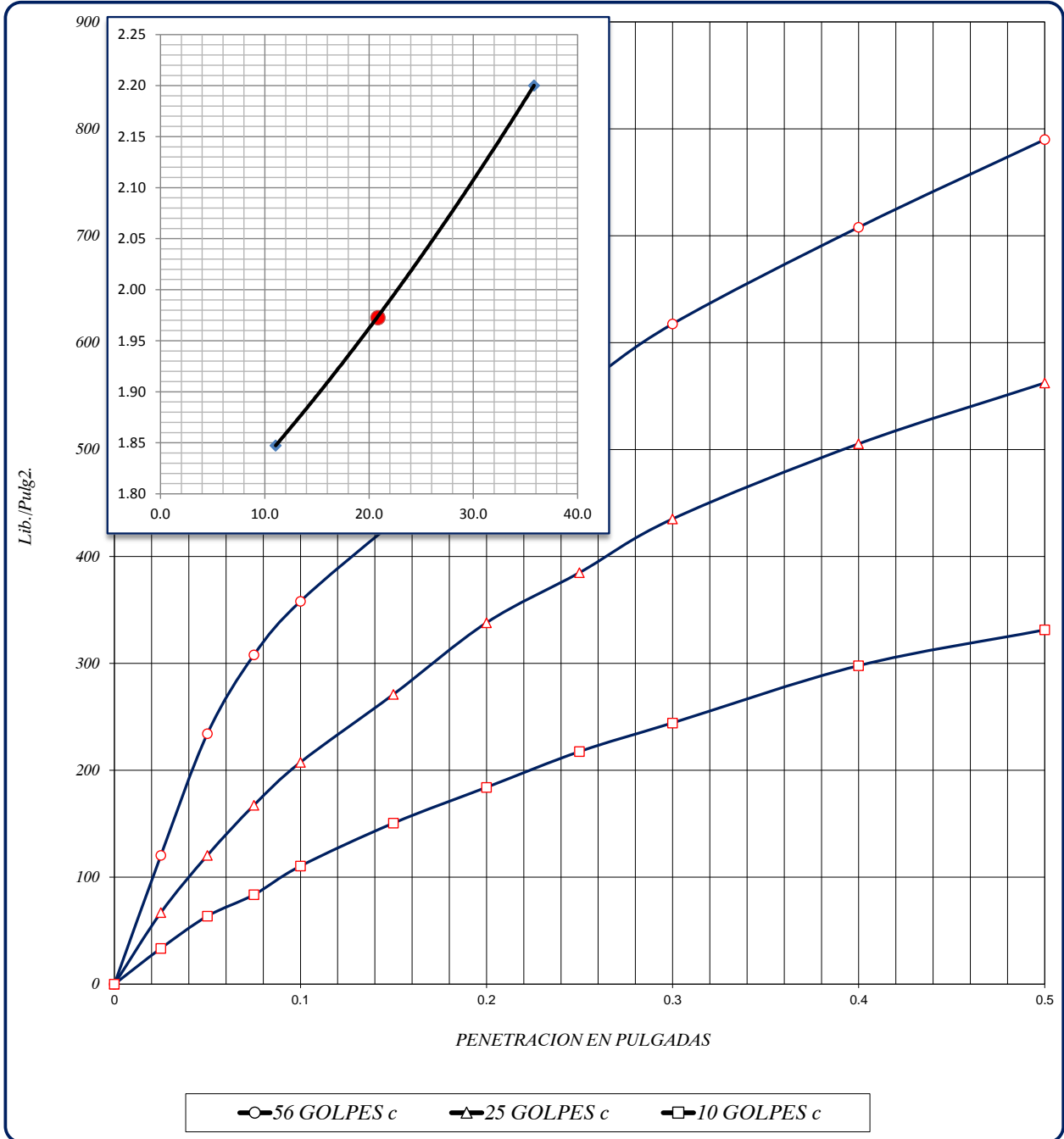
CONDICIÓN	CBR 0.1"	DENSIDAD
CBR CON 56 GOLPES =	35.8 %	2.20 gr/cm ³ .
CBR CON 25 GOLPES =	20.8 %	1.97 gr/cm ³ .
CBR CO 10 GOLPES =	11.0 %	1.85 gr/cm ³ .
CBR al 100% DE DENSIDAD SECA MAX =	35.8 %	
CBR al 95% DE DENSIDAD SECA MAX =	20.9 %	



ENSAYO DE CBR : ASTM D 1883 - 73

UBICACIÓN : JIRON MAYRO CUADRA 7
 SOLICITA : TESISISTA
 CANTERA : CALICATA 01

COMPACTACION : TIPO C
 FECHA : FEBRERO DEL 2016



56 GOLPES	25 GOLPES	10 GOLPES	CBR DE DISEÑO
DENSIDAD SECA = 2.20 gr/cm ³ .	DENSIDAD SECA = 1.97 gr/cm ³ .	DENSIDAD SECA = 1.85 gr/cm ³ .	CBR al 100% DE DENSIDAD SECA MAX = 35.8 %
CBR a 0.1" = 36 %	CBR a 0.1" = 20.8 %	CBR a 0.1" = 11.0 %	CBR al 95% DE DENSIDAD SECA MAX = 20.9 %
CBR a 0.2" = 99.7 %	CBR a 0.2" = 22.5 %	CBR a 0.2" = 12.3 %	