

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Resistencia de un concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Saavedra Jara Falcón Ever

Asesor:

Solar Jara Miguel Ángel

Huaraz – Perú

2019

PALABRAS CLAVES

TEMA Resistencia del concreto permeable

ESPECIALIDAD Tecnología del concreto

KEYWORDS

TEMA Strength of Pervious concrete

ESPECIALIDAD Technology Concrete

LINEA DE INVESTIGACION

Área Ingeniería y Tecnología

Sub área Ingeniería Civil

Disciplina Ingeniería Civil



TÍTULO

**Resistencia de un concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino**

RESUMEN

La presente tesis de investigación nace de dos grandes problemas en el medio ambiente, el primero por el incremento del volumen del agua y encharcamiento de las vías locales en las ciudades de alta precipitación, que genera problemas de transitabilidad vehicular y peatonal, al mismo tiempo las inundaciones en las zonas más bajas de las ciudades, todo esto por el uso de pavimentos tradicionales (impermeables). El segundo por la contaminación del medio ambiente generado por los procesos que realizan las empresas mineras, para la obtención de minerales generando gran cantidad de relaves que necesita espacio para su disposición y almacenaje de estos residuos contaminantes. Se propone como una opción para ser usado en reemplazo del agregado fino en la elaboración del concreto permeable de ($f'c = 175\text{kg/cm}^2$). Los porcentajes que se estudiaron son 5%, 10% y 15% con respecto a la arena. En lo que se analizó la influencia de la sustitución del relave por arena en la resistencia a compresión y permeabilidad. Del mismo modo los diferentes materiales utilizados para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas y el ACI 522R-10. Para ello, se evaluaron cuatro mezclas de concreto permeable. De cada mezcla se elaboraron 9 probetas de 6" x 12" para el ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39 y ACI 522R-10); tres probetas de 4" x 8" para el ensayo de permeabilidad (ACI 522R-10). En el diseño de mezclas se han tomado como variables el porcentaje de vacíos, la relación a/c y el tipo de agregado grueso (forma y tamaño máximo). El ensayo de permeabilidad se realizó de acuerdo a lo sugerido por el ACI 522R-10 para lo cual se realizó la construcción de un permeámetro de carga variable y se obtuvo el coeficiente de permeabilidad por la Ley de Darcy.

Los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, demuestran que para un 5% de sustitución de agregado fino por relave minero, la dosificación es ideal para lograr un mejor comportamiento a diferencia del resto de los porcentajes evaluados, es decir, la resistencia a compresión del concreto se incrementa a un 2.55% con respecto al patrón mientras que con la sustitución de 10% y 15% se reduce considerablemente con 39.76% y 53.57% respectivamente; en cuanto la permeabilidad el concreto con 15% de sustitución obtuvo el 1.42cm/seg de infiltración. Los resultados expresan que la sustitución del 5% de relave por agregado fino mejora la resistencia.

ABSTRACT

This research thesis arises from two major problems in the environment, the first by the increase in the volume of water and puddling of local roads in cities of high precipitation, which generates problems of traffic and pedestrian traffic, at the same time floods in the lower areas of the cities, all this due to the use of traditional pavements (waterproof). The second is due to the pollution of the environment generated by the processes carried out by the mining companies, to obtain minerals, generating a large quantity of tailings that needs space for their disposal and storage of these polluting residues. It is proposed as an option to be used to replace the fine aggregate for the production of permeable concrete ($f'c = 175\text{kg} / \text{cm}^2$). The percentages that were studied are 5%, 10% and 15% with respect to the sand. In what was analyzed the influence of the substitution of the tailings by sand in the resistance to compression and permeability. In the same way the different materials used to know their physical and mechanical properties, according to the Peruvian Technical Standards and the ACI 522R-10. For this, four permeable concrete mixtures were evaluated. From each mixture, 9 test pieces of 6 "x 12" for the compression resistance test (ASTM C39 and ACI 522R-10); three 4 "x 8" specimens for the permeability test (ACI 522R-10). In the design of mixtures, the percentage of voids, the ratio a / c and the type of coarse aggregate (form and maximum size) have been taken as variables. The permeability test was carried out according to what was suggested by the ACI 522R-10 for which the construction of a variable load permeameter was performed and the permeability coefficient was obtained by Darcy's Law.

The results Obtained from the compression and permeability tests show That for a 5% replacement of tailings by fine aggregates, the resistance Compared to other Percentages Improves, That is, the compressive strength of concrete at 7, 14 and 28 days was $138.21\text{ kg} / \text{cm}^2$, $162.24\text{ kg} / \text{cm}^2$ and $179.46\text{ kg} / \text{cm}^2$ while with the replacement 10% and 15% were $68.63\text{ kg} / \text{cm}^2$, $75.43\text{ kg} / \text{cm}^2$, $105.59\text{ kg} / \text{cm}^2$, $51.14\text{ kg} / \text{cm}^2$, $68.62\text{ kg} / \text{cm}^2$, and $81.25\text{ kg} / \text{cm}^2$ respectively; as soon as the permeability the concrete with 15% substitution obtained $1.42\text{ cm} / \text{sec}$ of infiltration. The results express that the replacement of 5% tailings by fine aggregate improves the resistance.

ÍNDICE

PALABRAS CLAVE	I
TÍTULO.....	II
RESUMEN	III
ABSTRACT.....	IV
INDICE.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABLAS.....	VIII

INTRODUCCIÓN.....	Pág.1
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	Pág.32
RESULTADOS.....	Pág.78
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	Pág.97
CONCLUSIONES.....	Pág.100
RECOMENDACIONES.....	Pág.102
AGRADECIMIENTOS.....	Pág.103
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	Pág.104
ANEXOS.....	Pág.106

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Ilustración de concreto permeable.....	7
FIGURA 2: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión (Adaptado de Meininger,1988).....	8
FIGURA 3: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a flexión para el concreto permeable (Adaptado de Meininger, 1988).....	10
FIGURA 4: Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión para el concreto permeable (Adaptado de Meininger,1988).	10
FIGURA 5: Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación (Adaptado de Meininger,1988).....	11
FIGURA 6: Filtración de agua vs. Contenido de aire.....	13
FIGURA 7: Permeámetro para medir la permeabilidad del concreto permeable.....	14
FIGURA 8: Muestra de los Husos granulométricos para poder realizar los diseños de mezcla (ASTM C33,1999).....	16
FIGURA 9: Cono de Abrams (Asentamiento del Hormigón Permeable)	21
FIGURA 10: Estructura Interna de un Hormigón Permeable.	22
FIGURA 11: Concreto Poroso	25
FIGURA 12: Capacidad de filtración del Hormigón Permeable.	25
FIGURA 13: Extracción de la muestra para su análisis en el laboratorio.....	35
FIGURA 14: Tamizado de los agregados.....	38
FIGURA 15: Clasificación Requerida para Agregado Grueso.....	39
FIGURA 16: Secado en el horno para el contenido de humedad.	40
FIGURA 17: Peso específico del agregado fino.	41
FIGURA 18: Peso unitario	43
FIGURA 19: Distribución de las cuatro mezclas.	46
FIGURA 20: Contenido de vacíos vs. Resistencia a la compresión (Adaptado de : ACI 522R-10,2010)	48
FIGURA 21: Volumen de pasta vs. Contenido de vacíos para agregado grueso.	49
FIGURA 22: Elaboración de la mezcla.	69
FIGURA 23: Elaboración de las probetas.	71
FIGURA 24: Prueba de Slump.	72
FIGURA 25: Pesado del concreto en estado fresco.	73
FIGURA 26: Rotura de probetas 7 días.....	75
FIGURA 27: Rotura de probetas 28 días.....	75
FIGURA 28: Permeámetro de carga variable.....	76
FIGURA 29: Permeámetro de carga variable.....	76
FIGURA 30: Ensayo de Permeabilidad.	76
FIGURA 31: Pesado del concreto en estado endurecido.	77
FIGURA 32: Curva granulométrico del Agregado Grueso.	79
FIGURA 33: Curva granulométrico del Agregado Fino (Arena).....	80
FIGURA 34: Curva granulométrico del Agregado Fino (Relave).....	82
FIGURA 35 Resultados de comparacion de la resistencia a compresión a los 7, 14, 28 Días. .	90

FIGURA 36: Curva comparativo de la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 Días.....	90
FIGURA 37: Resultados de la comparacion de permeabilidad de las 4 mezclas.	91
FIGURA 38: Permeabilidad promedio de las 4 mezclas.	92

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: Propiedades físicas de los agregados para su aceptabilidad.....	17
TABLA 2: Clasificación de los aditivos.....	20
TABLA 3: Revenimiento recomendado en Diversos Obras de Concreto	21
TABLA 4: Serie de Tamices IRAM y ASTM	27
Tabla 5: Esquema del diseño experimental	33
TABLA 6: Norma, American Society for Testing and Materials – ASTM. Norma Técnica Peruana - NTP	36
TABLA 7: Límites para Análisis Granulométrico del Agregado fino.....	38
TABLA 8: Rangos típicos de proporciones de materiales en concreto permeable.	44
TABLA 9: Valores efectivos de b/bo.	46
TABLA 10: Denominación de las cuatro mezclas elaboradas.....	47
TABLA 11: Características de los agregados.	47
TABLA 12: Resistencia especificada requerida.	48
TABLA 13: Resumen del diseño de mezcla para grupo de prueba.....	68
TABLA 14: Granulometría del Agregado Grueso (Huso N°7, 1/2")	78
TABLA 15: Granulometría del Agregado Fino (Arena).	80
TABLA 16: Granulometría del Agregado Fino (Relave).	81
TABLA 17: Contenido de humedad y absorción.	83
TABLA 18: Peso específico.....	83
TABLA 19: Peso Unitario.....	84
TABLA 20: Porcentaje de vacíos de los agregados.....	84
TABLA 21: Materiales para el diseño.....	85
TABLA 22: Materiales corregidos por humedad y absorción.....	85
TABLA 23: Proporcionamiento de los materiales en peso.....	86
TABLA 24: Proporcionamiento de los materiales en volumen.....	86
TABLA 25: Asentamiento del concreto (Slump).....	86
TABLA 26: Relacion a/c inicial.....	87
TABLA 27: Relación a/c del concreto en estado fresco (S. Thaulow).	87
TABLA 28: Densidad del concreto en estado fresco, norma ASTM C1688.	87
TABLA 29: Contenido de Vacíos del concreto en estado fresco.	88
TABLA 30: Densidad del concreto en estado endurecido.	89
TABLA 31: Resultados de la resistencia a la compresión de las cuatro mezclas.	89
TABLA 32: Resultados de la permeabilidad de las cuatro mezclas.	91
TABLA 33: Resultado del análisis de la composición química elemental del Relave.	92
TABLA 34: Resultados del análisis de composición química expresado en óxidos del Relave.....	93
TABLA 35: Resultados de análisis de pH del Relave.....	94
TABLA 36: Resistencia del concreto permeable en kg/cm2 para la verificación de varianza Anova.....	94
TABLA 37: Resistencia a la compresión de probetas de concreto permeable con un porcentaje de arena sustituido por relave, según días de curado.	95

TABLA 38: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas del concreto permeable.....	95
TABLA 39: Cálculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencias a la compresión de las probetas del concreto permeable es diferente.	96
TABLA 40: Resultados de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	98

I. INTRODUCCION

Con el aumento de la urbanización en las ciudades de alta precipitación pluvial, ocurre la impermeabilización del suelo, debido a la construcción de viviendas con calzadas impermeables, ligados por calles y rutas pavimentadas. El crecimiento urbano y la demanda por vías de tráfico asfaltadas llevan a la ocupación de una gran parte de la superficie de las ciudades con materiales impermeables, como el concreto asfáltico y el hormigón de cemento portland.

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 de escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de provocar inundaciones en las zonas más baja de las ciudades.

Para disminuir los efectos relacionados a los problemas en la evacuación de aguas pluviales y las condiciones de escurrimiento, en los últimos años se ha desarrollado a nivel mundial un modo alternativo de diseñar elementos de concreto permeable para dar uso en pavimentos, veredas estacionamientos, etc.

La minería legal e ilegal en nuestro país ha dejado muchos desechos en las plantas concentradoras llamado relave, este material en estado de desuso genera contaminación ambiental y grandes problemas en la sociedad.

Dadas estas problemáticas ambientales y sociales, este trabajo tiene como objetivo incorporar el relave en el concreto permeable y analizar su comportamiento físico y mecánico de este material.

En esta investigación se encontró antecedentes de origen nacional e internacional los cuales se le mencionará como sigue.

ANTECEDENTES

Morgado, (2014) desarrolló el Proyecto De Tesis en la Universidad de Santiago de Chile: “Caracterización física y mecánica de mezclas cementantes de relave”.

El objetivo de este proyecto de tesis fue determinar la dosificación óptima de Relave-Cemento-Agua para obtener una pasta que pueda ser transportada hidráulicamente y que desarrolle una resistencia mecánica adecuada una vez endurecida. Concluye que la mezcla que cumple con las condiciones de transporte hidráulico y resistencia es la que se obtiene con un relave de 65% de sólidos y un 5% de cemento. Teniendo en consideración que los resultados obtenidos son válidos para la muestra RAI estudiada y podrían variar de acuerdo a la distribución granulométrica del relave y su composición mineralógica.

Medina, (2017), desarrolló el Proyecto De Tesis en la universidad nacional de Loja-Ecuador: “comportamiento físico-mecánico del hormigón simple fabricado con arenas de relave de la planta de tratamiento y beneficio “reina del cisne”, código 390354, del cantón portovelo, provincia de el oro”. El objetivo de este proyecto de tesis era determinar el comportamiento físico-mecánico del hormigón simple utilizando las arenas de relave generadas en la Planta de Tratamiento y Beneficio “Reina del Cisne”, como parte del agregado fino. Concluyo, que el diseño experimental previó del remplazo de relave por agregado y por cemento, en ambos casos en variaciones del 5, 10 y 15 % en peso, reconociendo que los dos últimos valores están fuera de lo que recomienda la norma ecuatoriana respecto de las cantidades de finos (5 - 7 %). En cuanto a la trabajabilidad del hormigón, en el primer caso, con relave como reemplazo de agregado todas las dosificaciones presentaron disminución del asentamiento en el cono de Abrams, siendo la mezcla con el 5% de relave como agregado con plastificante la que registró un valor aceptable (35 mm). En cambio, todos los hormigones con relave en remplazo del cemento presentaron incremento del asentamiento, lo que facilita su manejo en estado fresco. Los resultados obtenidos evidencian un aumento de las resistencias tanto a la compresión simple como a la flexión en los dos grupos experimentales: cuando el relave es usado en remplazo de agregado y cuando lo es por cemento, en comparación con la dosificación patrón, siempre y cuando las cantidades en el primer caso no excedan al 10 %, y en el segundo al 5 %; sobresaliendo la mezcla que corresponde al 5% de relave con aditivo en

reemplazo del agregado, con un aumento a la resistencia a la compresión simple de 3.61 MPa a los 28 días y de 5.22 MPa a los 60 días y de la flexión de 0.52 MPa y 0.44 MPa en el mismo periodo de tiempo respecto a los valores del hormigón patrón con plastificante.

Lissett Rojas y Liz Ventura (2017), En su tesis titulada “Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblaje”, realizada en la Universidad Nacional de Huancavelica, donde sus objetivos era determinar la incidencia del uso del relave minero en bloques de concreto tipo ensamblaje, como sustituto al agregado fino en diferentes proporciones, en la que se evaluó los efectos en sus propiedades (resistencia a la compresión, absorción, absorción y densidad). Para ello realizaron un diseño de mezcla incorporando el RM por agregado fino en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% en la dosificación para un $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, analizándolo en 7 probetas cilíndricas para cada tratamiento a los 28 días, obteniendo una mayor resistencia de $f'c = 144.26 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución de RM con 50%. Concluyeron que la sustitución de RM en un 50% mejora la resistencia del concreto.

Marlon Ebiezer Vigil Sánchez (2012). En su tesis titulada “Diseño, proceso constructivo y evaluación post construcción de un pavimento rígido de concreto permeable”; Elabora una propuesta de diseño para un Pavimento Rígido de Concreto Permeable, considerando el proceso constructivo en general; desde la elaboración del concreto, transporte, colocación y control de calidad del mismo. El diseño de mezclas obtenido en el trabajo reúne las características indispensables y primordiales para un concreto permeable, donde las propiedades mecánicas e hidráulicas son las siguientes: permeabilidad de 15.92 mm/s, porcentaje de vacíos del 21.97%, resistencia a la flexión de 24 kg/cm², módulo de elasticidad estático de $2.2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, desgaste por abrasión e impacto (sin esferas) en la máquina de los ángeles de un 30%. Para el trabajo realizado utilizo la metodología de la National Ready Mixed Concrete Association. Además, concluyo sosteniendo que los pavimentos de Concreto Permeable están concebidos 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.

Cesar E. Flores Quispe y Iván A. Pacompia Calcina (2015); en su tesis: “Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos en la ciudad de Puno”, realizada en la Universidad Nacional del Altiplano facultad de ingeniería civil, tuvieron como objetivo evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico (polipropileno) en las propiedades del concreto permeable diseñado para pavimentos, siendo dicha investigación de tipo cuantitativa, con diseño de investigación de nivel experimental, en el cual llegaron a la siguiente conclusión: la incorporación de tiras del polipropileno (3mm x 3mm) en el diseño de mezcla de un concreto permeable diseñado para pavimentos $f'c$ 175 kg/cm² en la ciudad de Puno, mejora parcialmente las propiedades del concreto permeable, específicamente la resistencia a la compresión.

Benites (2014) en la investigación de tesis titulada "Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast", realizado en la Universidad Nacional de Cajamarca, donde su objetivo era determinar si las propiedades de permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto permeable elaborado con agregados propios de Cajamarca como son los de la cantera río Jequetepeque ubicada en Chilite y un aditivo tipo A están dentro del rango de valores que considera la norma ACI a dicho concreto permeable, siendo dicha investigación de tipo aplicativa, con diseño de investigación de nivel experimental. Concluye que la resistencia del concreto permeable a una edad de 28 días es de 7.556MPa y se encuentra dentro del rango que define la norma ACI 522R-10, también se llegó a un coeficiente de permeabilidad es de 0.321 cm/s y se encuentra dentro del rango que normalmente posee el concreto permeable, por lo que respecta a permeabilidad este grado es aceptable.

Agneth X. Guisado Barrios y Elvis R. Curi Grados (2017); en su tesis: “Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú”, realizada en la Universidad Pontificia Católica del Perú facultad de ingeniería civil, tuvieron como objetivo contribuir con el estudio del concreto permeable como alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa norte del Perú, para ello elaboraron quince mezclas que cumplan con la definición del concreto permeable utilizando las

proporciones de materiales sugeridas por el ACI 522R-10. Por ello utilizaron contenido de vacíos de 15%, 17% y 19%; agregado grueso chancado de TMN 3/4" (huso 67) y 3/8" (huso 8), y agregado grueso redondeado de TMN 3/8 (huso 8), y relación de a/A 0.00 0.10. concluyeron que el módulo de rotura en las mezclas del concreto permeable varían entre 16% y 22% de la resistencia a la compresión. En concreto convencional esta relación es entre 13% y 15% para resistencia entre 175 y 250 kg/cm². La diferencia se debe a que el módulo de rotura del concreto permeable depende del contenido de vacío al cual fue diseñado, se sugiere diseñar con % de vacíos menores a 21.5% para obtener como mínimo MR de 34 kg/cm².

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Alrededor del mundo se produce el fenómeno de migración desde áreas rurales hacia grandes urbes, tanto así que se prevé en 2030, casi 5 mil millones de personas vivan en áreas urbanas (Naciones Unidas, 2010).

La razón es que en las zonas alto andinas las altas precipitaciones inundan las calles y las zonas bajas de la ciudad desbordando y colapsando las alcantarillas pluviales, generando caos vehicular y peatonal, estos problemas generan pérdida de tiempo en el tránsito, además el encharcamiento y la escorrentía de las aguas pluviales inundan casas y calles en las horas de alta intensidad de lluvia, al mismo tiempo la extracción minera en el mundo genera grandes desechos depositados a cielo abierto llamado relave minero, que es un material contaminante para el medio ambiente. Por este motivo en el presente proyecto se diseñará un concreto permeable incorporado con relave minero. La importancia de este proyecto es reducir el costo del agregado fino en el diseño de este tipo de concreto al mismo tiempo mitigar el medio ambiente dando uso a este material en el diseño del concreto permeable.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se vienen presentando problemas en la evacuación de aguas pluviales y las condiciones de escurrimiento aguas abajo (arrastre de materiales sólidos y varios contaminantes depositados en las calles), principalmente por el crecimiento

acelerado de las ciudades, asociado al amplio uso de pavimentos convencionales (impermeables). El uso indiscriminado de estas estructuras en áreas urbanas incrementa notablemente el volumen y el caudal del escurrimiento superficial, aumentando los riesgos de eventuales inundaciones en los sectores más bajos de las zonas urbanas, desfavoreciendo de esta manera las condiciones de escurrimiento de agua pluvial y disminuyendo la capacidad de recarga natural en los terrenos.

Es por ello que ante la falta de concretos alternativos a los convencionales, nos planteamos con la investigación y experimentación del concreto permeable. Esto en el marco de desarrollo sostenible y construcción sostenible, para su uso en pavimentos rígidos.

Existe una gran variedad de minerales explotados a lo largo del territorio nacional como los metales (oro, plata, cobre, hierro, etc.), los minerales industriales (potasio, azufre, cuarzo, etc.), los materiales de construcción (arena, áridos, arcilla, grava, etc.), las gemas (diamantes, rubíes, zafiros y esmeraldas), y combustibles (carbón, lignito, turba, petróleo y gas). Según el tipo de extracción y ubicación de los minerales, tales actividades comprenden una serie de procesos o etapas, de la extracción de minerales, tales actividades dejan inmensos volúmenes de relave, que es un material conocido como material altamente contaminante.

Estas actividades mineras que se asienta en las diferentes regiones del país, es responsable del deterioro del medio ambiente y la degradación de la calidad de vida, esta actividad nos trae como consecuencia tales como, la pérdida de áreas verdes, de la fauna y flora y la contaminación del suelo y agua.

Es por ello ante la falta de dar uso y de una manera de mitigación nos planteamos, incorporar el relave en el concreto permeable.

Por lo expuesto nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto permeable $f'_c=175\text{kg/cm}^2$ con la Sustitución de un 5%, 10% y 15% del relave minero por agregado fino?

CONCEPTUACION Y OPERACIONALIZACION DE VARIABES

DEFENICION

El concreto permeable o concreto poroso, es definido como un concreto con revenimiento cero con alto grado de porosidad y con una relación de vacíos alta, usados para aplicaciones en superficies de concreto que permita el paso del agua a través de él, proveniente de precipitaciones y otras fuentes, reduciendo la escorrentía superficial de un sitio y recargando los niveles de aguas subterráneas; consiste de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que varía de tamaño de 2 a 8 mm, lo cual permite que el agua pase fácilmente a través de él. El contenido de vacíos puede variar de 15% a 35%, y se pueden alcanzar resistencias a la compresión entre 28 a 280 kg/cm². La capacidad de drenaje de un concreto permeable variará con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 L/min/m² o 0.14 a 1.22 cm/s. (ACI 522R-10). Figura 1 ilustración de concreto permeable.



FIGURA 1: Ilustración de concreto permeable.

Fuente: [http://www.peviouspavement.org/\(2017\)](http://www.peviouspavement.org/(2017))

ASPECTOS TECNICOS DEL CONCRETO PERMEABLE

El concreto permeable es cómo un concreto hidráulico y poroso debido a que sus características físicas (densidad, consistencia, tiempo de fraguado, tiempo de endurecimiento entre otros) poseen un contenido de vacíos muy alto en comparación con el concreto tradicional. Este tipo de concreto al tener un alto contenido de vacíos permite el

paso del agua y del aire de forma sencilla. La granulometría, la relación agua/cemento, y la adición de aditivos permiten obtener una mezcla exitosa de acuerdo a las características físicas y mecánicas requeridas.

CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO PERMEABLE.

Las propiedades del concreto permeable dependen de su porosidad (contenido de aire) el cual depende el contenido de cemento, relación agua/cemento (w/c), nivel de compactación, y calidad de los agregados. Su contenido influirá en el desarrollo de su resistencia a compresión, flexión e infiltración, las propiedades más importantes de este concreto.

Resistencia a compresión

La resistencia a compresión varía entre los 2,8 mega Pascales hasta 28 mega Pascales. La resistencia a compresión del concreto permeable se ve afectado por el diseño de mezcla y el esfuerzo de compactación, al mismo tiempo la adición del agregado fino en proporciones mínimas mejora la resistencia del concreto permeable. En otras palabras, sus propiedades físicas y mecánicas están en función de la calidad de los materiales, la proporción en que se usen y el esfuerzo de compactación que se utilice en la colocación del concreto. Un factor que incide considerablemente en la resistencia a compresión es el contenido de aire y está inversamente relacionado con su resistencia. El Comité ACI 522 ha realizado diferentes ensayos para verificar la resistencia del concreto debido a su contenido de aire. En la figura 2 se muestra la relación entre esfuerzo a compresión y contenido de vacíos.

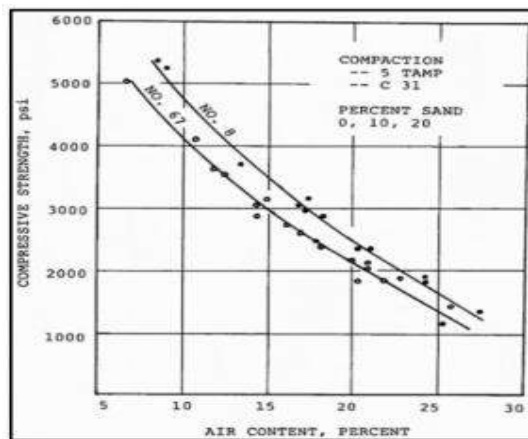


FIGURA 2: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión (Adaptado de Meininger,1988)

También se ha comprobado que un incremento en el tamaño del agregado grueso reduce la resistencia de compresión del concreto, así como el incremento del módulo de finura en los agregados.

Aunque la relación agua/cemento (w/c) es importante en la resistencia a compresión del concreto convencional, los efectos en el concreto permeable no son los mismos. Al utilizar una relación alta (w/c), el concreto es más fluido, llenando los vacíos y al utilizar una relación baja (w/c), la adherencia entre agregados puede verse perjudicada, por lo que es importante encontrar una cantidad óptima de agua para cada diseño de mezcla.

Resistencia a flexión

La resistencia a flexión es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto permeable, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico convencional, comúnmente es 30% de la resistencia a la compresión, es decir, relativamente más alta que en el concreto convencional (Pérez, 2009). La resistencia a la compresión la cual es más fácil de medir que la resistencia a la flexión, se puede usar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados.

Diversas instituciones han estado involucradas con la investigación y desarrollo del concreto permeable, entre las cuales se puede mencionar el Comité ACI 522, Instituto Mexicano del Concreto y el Centro de Investigaciones de Ingeniería. Según sus experiencias con la fabricación del concreto permeable, estas instituciones han observado que para obtener una buena resistencia a flexión se deben utilizar agregados gruesos entre 1/4 y 3/8 de pulgada y un contenido de vacíos de aproximadamente 25 por ciento. El Comité ACI 522 encontró que el contenido de aire tiene una influencia importante en el esfuerzo de flexión, disminuyéndolo mientras el contenido de aire aumenta. En la figura 3 se muestra la relación entre la resistencia a flexión y contenido de vacíos.

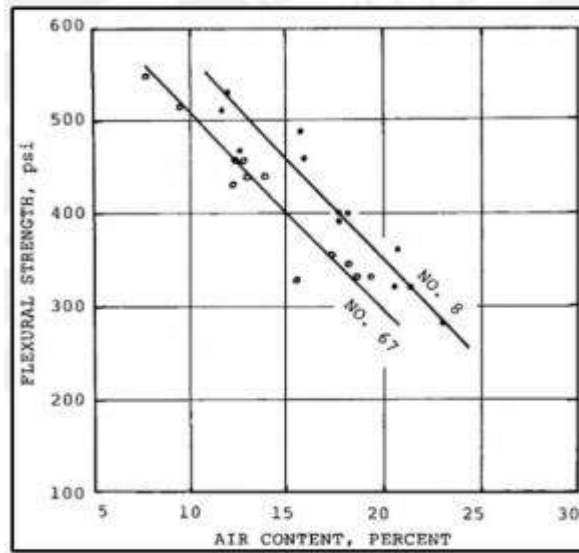


FIGURA 3: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a flexión para el concreto permeable (Adaptado de Meininger, 1988).

Meininger muestra la relación entre la resistencia a la flexión y a la compresión del concreto permeable. La Figura 4 Meininger muestra esta relación.

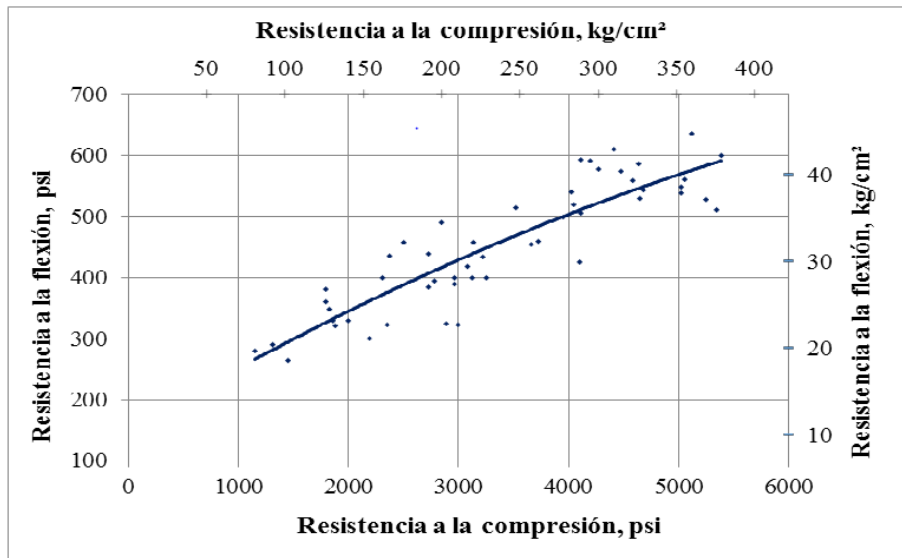


FIGURA 4: Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión para el concreto permeable (Adaptado de Meininger, 1988).

La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40 kg/cm². Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la relación agregado-cemento (AG/C).

Permeabilidad

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar agua a través de su matriz, por lo cual lleva su nombre “concreto permeable”, y su magnitud es medida por la tasa de filtración. La tasa de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos. Las pruebas han demostrado (Meininger 1988) que se requiere un mínimo contenido de vacíos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa. La Figura 5 (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que las tasas de filtración aumentan a medida que el contenido de vacíos aumenta, y, en consecuencia, la resistencia a la compresión disminuye, el reto en la dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de percolación y una resistencia a la compresión aceptables.

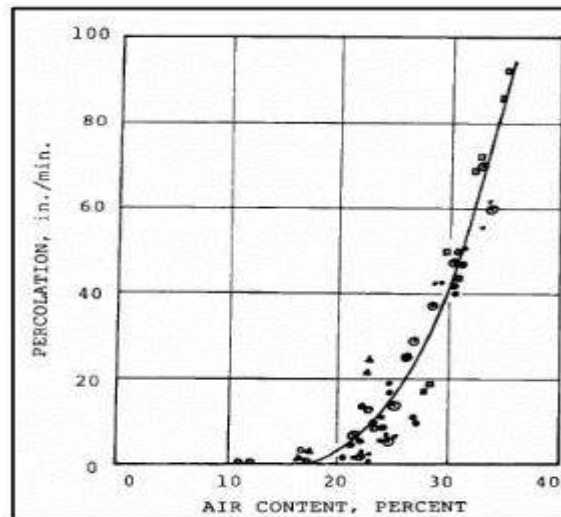


FIGURA 5: *Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación (Adaptado de Meininger,1988).*

Densidad

La densidad del concreto permeable es aproximadamente el 70 por ciento del concreto convencional, esto significa que su densidad varía entre 1 680 hasta 1 920 kilogramos por metro cúbico (105–120 libras por pie cúbico). La densidad del concreto permeable fresco puede ser determinado por el método ASTM C 1688 y está relacionado con el contenido de vacíos que se da a la mezcla. El contenido de vacíos depende de varios factores: tamaño del agregado, contenido de cemento, relación agua cemento (w/c) y esfuerzo de compactación. El esfuerzo de compactación puede hacer que la densidad del concreto permeable varíe considerablemente, provocando variación en la resistencia a la compresión. Se debe tener cuidado con la graduación del agregado que se utilice ya que, al tener mucha variación entre las partículas gruesas y finas, estas últimas pueden rellenar los vacíos dejados por las más gruesas, reduciendo la porosidad y por lo tanto también la permeabilidad.

Porosidad

Una propiedad que tiene gran influencia en el concreto permeable es el tamaño de los poros. Para generar poros grandes, se debe usar agregados con mayor graduación. Esto es recomendable debido a que se evita que los poros se obstruyan.

La porosidad y el tamaño de los poros están relacionados con la capacidad para filtrar el agua, lo cual es uno de los principales propósitos de este concreto. Se ha demostrado mediante ensayos que se requiere una porosidad de por lo menos 15 por ciento para lograr una tasa de infiltración significativa. Para una porosidad de 20-25 por ciento se ha reportado un coeficiente de permeabilidad aproximado de 0,01 metros por segundo. El Comité ACI 522, mediante ensayos a cilindros, ha demostrado que mientras el concreto tenga mayor contenido de aire, su filtración de agua será mayor. Figura 6 filtración de agua y contenido de aire.

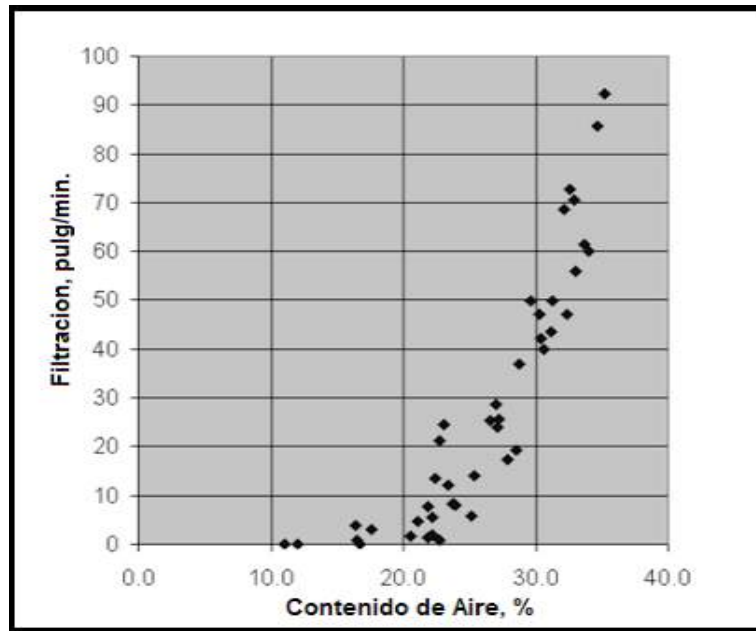


FIGURA 6: *Filtración de agua vs. Contenido de aire*

Fuente: Comité ACI 522, Reporte de Concreto Permeable ACI 522R-1

Tasa de filtración

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar agua. La tasa de filtración del concreto permeable se relaciona directamente con el contenido de vacío de aire. Las pruebas han demostrado que un contenido mínimo de aire de aproximadamente el 15% es necesario para alcanzar una filtración significativa. La tasa de filtración aumenta conforme aumenta el contenido de aire y en consecuencia disminuye la fuerza de compresión. El reto en el concreto permeable es lograr un equilibrio en la mezcla de dosificación entre una tasa de filtración aceptable y una resistencia a la compresión aceptable.

La permeabilidad del concreto permeable puede ser medida por un permeámetro como se muestra en la figura 7.

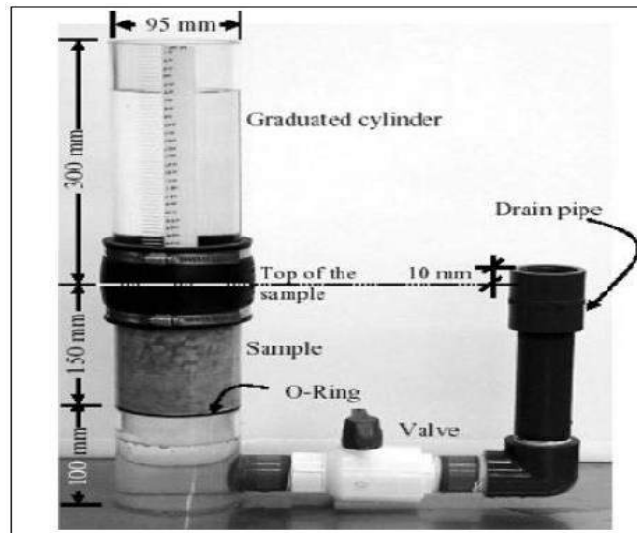


FIGURA 7: *Permeámetro para medir la permeabilidad del concreto permeable*

Fuente: (Neithalath, Weiss, & Olek, Predicting the Permeability of Pervious Concrete (Enhanced Porosity Concrete) from Non-Destructive Electrical Measurements, 2008)

USOS DEL CONCRETO PERMEABLE

El concreto permeable se utiliza sin refuerzo, debido a que su porosidad deja propenso al acero a la oxidación por agentes externos. Se debe tener una limpieza periódica de este material para prevenir el atascamiento. El concreto permeable es utilizado principalmente para pavimentar superficies de uso vehicular y peatonal y donde se requiera tener áreas permeables permitiendo así que el agua de lluvia infiltre libremente al subsuelo, como resultado obtenemos la reducción o eliminación de escorrentía superficial proveniente de las aguas pluviales. Entre la amplia gama de aplicaciones para el concreto permeable se tienen:

- Vialidades de tráfico ligero.
- Andadores, banquetas y Ciclo vías.
- Áreas de estacionamiento
- Patios y jardines.
- Pavimentos de bajo volumen de tránsito.

COMPONENTES Y PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE

Como se ha mencionado anteriormente el concreto permeable está constituido por agua, cemento, agregado grueso, agregado fino en cantidades mínimas y aditivos, cada componente cumple con funciones específicas según se detalla a continuación:

CEMENTO

El cemento es el material que se utiliza como aglutinante principal en la mezcla de hormigón permeable, ya que una vez amasado con el agua forma una pasta que permite recubrir y ligar las partículas, permitiendo que se genere buena adherencia. Según las normas ASTM C150/C150M, C595/C595M, o C1157/C1157M, el cemento Portland se usa como el aglomerante principal. Los materiales cementantes suplementarios como la ceniza volante, escoria, y el humo de sílice, deben de satisfacer los requerimientos de las normas ASTM C618, C989, y C1240, respectivamente (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010).

Para la fabricación de este tipo de concreto el cemento portland es el más utilizado debido a que es un material muy resistente, además se debe tener en cuenta que los Concretos con altos porcentajes de vacíos, tienden a tener un periodo de secado más corto, es decir que el curado es más rápido y más sensible a los cambios de temperatura y a la evaporación del agua de la mezcla. (MENESES, C. M. & BRAVO, C. H., 2007).

Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración (De Solminihac y Castro, 2002). Es recomendable utilizar una cantidad que fluctúe entre los 270 a 415 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad (Tennis et al., 2004).

Humo de sílice

Es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsílica, que permite aumentar las resistencias mecánicas en un concreto permeable. Su inclusión en la mezcla mejora las características de la matriz del concreto, pero disminuye la porosidad. Su dosificación se encuentra entre el 3% y 10% de la masa del cemento.

LOS AGREGADOS

Es un material granular tal como la arena, grava, roca triturada que se usa con un medio cementante hidráulico para producir ya sea concreto o mortero (INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO - IMCYC, 2012).

Los agregados son elementos indispensables en la constitución del hormigón, ya que representan alrededor del 70% del volumen total del mismo; debido a las características que presentan ayudan en el mejoramiento e incremento de la resistencia, así también permiten que la mezcla sea compacta.

Por lo general se utilizan agregados gruesos redondeados o triturados. Los agregados de forma redondeada producen mayores resistencias; los de mayor tamaño, superficies más ásperas, mientras que los de tamaño pequeño y textura suave son más fáciles de colocar, aunque requieren una mayor cantidad de cemento. (Calderón y Charca, 2012). Los agregados finos no deberían ser utilizado en mezclas de concreto permeable porque tienden a comprometer la conexión del sistema de poros” (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, Reporte on Pervious Concrete, 2010)

El ACI 211.3R-02 recomienda que las granulometrías de agregado grueso a ser utilizadas, deben de satisfacer las exigencias respecto al tamaño y gradación según la norma ASTM C33 o ASTM D448; estas son No. 67 (3/4” a No. 4), No. 7 (1/2” a No. 4) y No 8 (3/8” a No. 16).

Requisitos de calificación para gruesos Agregados															
Tamaño Número	Tamaño Nominal (Familias con Abertura Cuadrada)	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15						
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15						
3	50 a 25.0 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4.75 mm (2" a N° 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 15			
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15				
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N° 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15			
5	25.0 a 12.5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15				
56	25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25.0 a 4.75 mm (1" a N° 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")							100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a N° 4)							100	95 a 100		20 a 55	5 a 10	0 a 5		
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N° 4)								100	95 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N° 8)									90 a 100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9.5 a 1.18 mm (3/8" a N° 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 a 1.18 mm (N° 4 to N° 16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

FIGURA 8: Muestra de los Husos granulométricos para poder realizar los diseños de mezcla (ASTM C33,1999).

En general, la utilización de agregado fino en la elaboración de concreto permeable no está permitida, ya que ellos tienden a comprometer la capacidad de conexión del sistema de poros, salvo en los casos en los que se desea tener una resistencia a los agentes agresivos contenidos en el agua pluvial. Este resultado se obtiene introduciendo en la mezcla una cantidad de arena entre 150 y 250 kg/m³.

Propiedades físicas

Los ensayos realizados nos permiten conocer las propiedades físicas del agregado y diseñar un concreto permeable aceptable, las condiciones de los ensayos ponen a prueba a los agregados, su respuesta condiciona y pronostica su comportamiento durante el vaciado y en el concreto terminado. Los ensayos normalizados por la ASTM-C33 están descritos en la Tabla 1.

TABLA 1: Propiedades físicas de los agregados para su aceptabilidad.

Ensayo - Norma		ASTM	NTP	AASHTO
A	Análisis granulométrico - Agregado Grueso	C136	400.012	T27
B	Peso Unitario	C29	400.017	T19
C	Desgaste de Agregado - Método de los Ángeles	C131	400.019	T96
D	Gravedad Específica y Absorción	C127	400.021	T81

Fuente: Norma, American Society for Testing and Materials - ASTM, Norma Técnica Peruana - NTP, y la Norma American Association of State Highway and Transportation Officials – ASSHTO

Análisis Granulométrico agregado grueso

Granulometría es la distribución por tamaños del agregado por medio del tamizado, que consiste en pasar el material a través de mallas de diferentes aberturas; estas son: 1", ¾", 1/2", 3/8", #8 y #4 para agregados gruesos, con el peso de material retenido en cada malla,

se obtiene el porcentaje retenido, así como, el porcentaje de material pasante en cada malla y se tiene el porcentaje de material retenido respecto al total de la muestra. Las Normas ASTM C136, AASHTO T27 y NTP 400.012, indican el procedimiento para desarrollar el análisis granulométrico de los agregados gruesos.

Análisis Granulométrico agregado fino

Se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas y cumple con la norma NTP – 400.037. La granulometría del agregado fino empleado en un trabajo determinado debe ser razonablemente uniforme. Las variaciones de más o menos 0.2 en el módulo de fineza pueden ser causa de rechazo. El agregado fino deberá contener suficiente cantidad de material que pasa la malla N° 50 si se desea obtener adecuada trabajabilidad en la mezcla (Neville, 1999).

Rivva (2007) afirma que el agregado fino debe tener un módulo de fineza entre 2.3 y 3.1. Ello no excluye la posibilidad de emplear agregados con módulos de fineza mayores o menores si se toman las precauciones adecuadas en la selección de las proporciones de la mezcla. Debe estar compuesto de partículas limpias de perfil angular duras y compactas libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas.

El agregado fino es aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa al tamiz 3/8" y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. Podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes. Debe estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

AGUA

El agua ideal para el concreto es aquella que es apta para el consumo humano, debe ser limpia sin presencia de materia orgánica y sin sales, ya que estas afectan al tiempo de fraguado y a la resistencia. La calidad del agua para un buen desempeño del concreto debe

ser partícipe en el proceso de hidratación del cemento y debe dar una buena trabajabilidad al mismo.

La calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que el concreto convencional. Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua/cemento (w / c) relativamente baja (0,26 a 0,40) debido a una cantidad en exceso de agua dará lugar a un drenaje de la pasta y posteriormente a la obstrucción del sistema de poros (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010).

Debido a que el comportamiento del concreto permeable es impredecible, la cantidad de agua que se incluye en la mezcla debe ser controlada con la finalidad de evitar que afecte a la resistencia y trabajabilidad de la misma.

ADITIVOS

“Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado” (Steven H. Kosmatka, 2004); para mejorar sus características como son la trabajabilidad, consistencia, fraguado y resistencia final de la mezcla.

Para la elaboración de un concreto permeable según el código (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 522, 2010) “los aditivos deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 494/C494M. Los aditivos reductores de agua (de alta gama) se utilizan en función de la relación w/c , los aditivos retardantes se utilizan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento. Los aceleradores se pueden utilizar cuando se colocan hormigones permeables en tiempo frío. Los aditivos incorporadores de aire no han sido comúnmente utilizado en concretos permeables, pero se puede utilizar en ambientes susceptibles a la congelación y descongelación”.

Estos productos que se adicionan en pequeña proporción al concreto durante el mezclado en porcentajes entre 0.1% y 5% de la masa o peso del cemento dependiendo el tipo de aditivo que se vaya a emplear. La norma (ASTM C496, Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto) clasifica a los aditivos como se puede observar en la Tabla 2.

TABLA 2: Clasificación de los aditivos.

CLASIFICACIÓN	ADITIVO
A	Aditivos reductores de agua,
B	Aditivos retardadores,
C	Aditivos aceleradores
D	Aditivos reductores de agua y retardadores,
E	Aditivos reductores de agua y aceleradores,
F	Aditivos reductores de agua, de alto rango,
G	Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores, y
S	Aditivos de comportamiento específico.

Fuente: Norma ASTM C496, Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.

PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

Trabajabilidad

Es la propiedad que permite un manejo fácil de mezclado, colocación y compactación de manera homogénea, cuyas componentes (agua y partículas finas) no deben separarse durante el transporte y el manejo del mismo. “Existen algunos factores que influyen en la trabajabilidad del concreto, entre ellos se tiene el método y la duración del transporte, la cantidad y características de los materiales cementantes, el tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos, el aire incluido, la cantidad de agua, la temperatura del concreto, del aire y los Aditivos.

Consistencia

Es la propiedad que permite observar la facilidad que tiene un concreto en estado fresco para rellenar todos los huecos del molde bajo una débil presión. El método más empleado para determinar esta propiedad es el ensayo de revenimiento o asentamiento del concreto, el cual se determina de acuerdo a la norma ASTM C143. Para el concreto permeable este tipo de ensayo no se considera para fines de control de calidad como en el concreto

tradicional, solo se considera como un valor de referencia, debido a que la mezcla es muy rígida y la medición del asentamiento en la mayoría de los casos no es aplicable. En la figura 9, se puede observar el revenimiento o asentamiento para una mezcla de concreto permeable.



FIGURA 9: Cono de Abrams (Asentamiento del Hormigón Permeable)

Fuente: Propia, 2018

El American Concrete Institute (ACI) recomienda revenimientos para diferentes tipos de concreto, es así que para un hormigón permeable el revenimiento máximo es de 2 cm y el revenimiento mínimo es de 0 cm. Los valores recomendados para revenimiento se pueden observar en la tabla 3.

TABLA 3: Revenimiento recomendado en Diversos Obras de Concreto

Tipo de Construcción	Revenimiento Máximo	Revenimiento Mínimo
Concreto reforzado en muros y zapatas	8	2
Concreto en zapatas simples y muros de cimentación	8	2
Muros y vigas de concreto reforzado	10	2
Columnas para edificios	10	2
Losas y pavimentos	8	2
Concreto masivo	5	2
Concreto permeable	2	0

Fuente: http://www.aepro.com/files/congresos/2013logronio/CIDIP2013_0595_0606.3987.pdf

Densidad o peso unitario

La densidad del concreto recién mezclado se define como la masa por unidad de volumen, “en un concreto permeable su densidad está en el orden del 70% del concreto convencional, en donde su densidad depende del porcentaje de vacíos el cual varía de 1600 a 2000 kg/m³” (LOPEZ, P. E., 2010). Se calcula de acuerdo con lo especificado en la ASTM C138:

$$D = \left[\frac{(M_c - M_m)}{V_m} \right]$$

Donde:

D = Densidad del concreto (peso unitario), kg/m³

Mc = Masa del molde lleno de concreto, kg

Mm = Masa del molde vacío, kg

Vm = Volumen del molde, m³

Contenido de aire

Es la cantidad de espacios que existe entre las partículas de agregados, medida en porcentaje. (Figura 10).

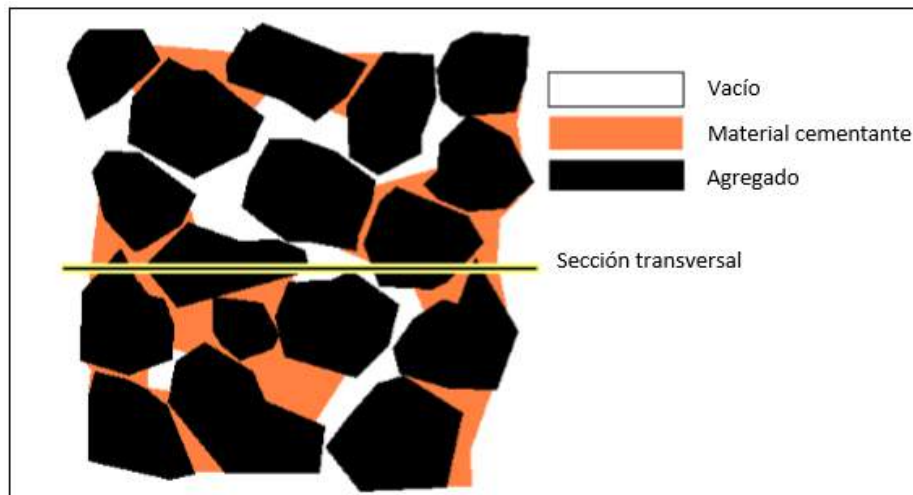


FIGURA 10: Estructura Interna de un Hormigón Permeable.

Fuente: Daniel Pérez R. 2009

Según el código ACI 522R-10 el contenido de vacíos óptimo en una mezcla de concreto permeable debe estar en un rango del 15% al 35% el cual depende del tamaño de agregado

utilizado. De acuerdo a la norma (ASSOCIATION FOR TESTING MATERIALS - ASTM C 138, 2012) el contenido de vacíos se determina mediante:

$$A = 100 \times \left[\frac{(T - D)}{T} \right]$$

Donde:

T = Densidad teórica del concreto en kg/m³

A = Contenido de aire del concreto (porcentaje de vacío) en %

D = Densidad del concreto (peso unitario) en kg /m³

PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la capacidad que tiene el concreto de aportar esfuerzos de compresión debido a las cargas sobre las estructuras. En el concreto permeable, las propiedades son principalmente afectadas por el diseño de la mezcla y el método de compactación (ACI 522R, 2010).

El ACI 522R-10 menciona algunos estudios realizados donde se han determinado los principales factores que afectan a la resistencia a la compresión del concreto permeable. Estos pueden ser el grado de compactación, el tamaño de los agregados, los aditivos poliméricos y minerales, el módulo de finura de los agregados, así como el resultado de ensayar en probetas moldeadas o en extracción diamantina. Tanto la relación agua/cemento (w/c) y el contenido total de cemento es importante para la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos.

Una insuficiente cantidad de cemento ocasiona poco revestimiento de la pasta alrededor del agregado y, por tanto, baja resistencia a la compresión.

Debido a que no existe una norma que estandarice el ensayo a compresión del concreto permeable, se utilizará la norma ASTM C39 para concreto convencional.

Resistencia a flexión

La resistencia a tracción por flexión o Modulo de Ruptura mide la resistencia a tracción del concreto generado por flexión.

Crouch et al. (2006) investigó que la relación entre la resistencia a tracción por flexión f_r y la resistencia a la compresión f'_c puede darse por la relación planteada por Ahmad y Shah (1985) para concreto premezclado representada en la siguiente ecuación.

$$f_r = 0.083 \times f'_c{}^{2/3} \text{ (unidades SI)}$$

La norma para medir la resistencia a tracción por flexión es la ASTM C 78. Esta se basa en el ensayo de una viga simplemente apoyada y cargada a los tercios.

Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material para que un fluido sea capaz de atravesar por medio de él sin alterar su estructura. El hormigón es un material permeable, es decir que, al estar sometido a presión de agua exteriormente, se produce escurrimiento a través de su masa. El rango de permeabilidad de este hormigón depende de su constitución, generalmente varía de 80-720 litros/min/m² (0,13 – 1.20 cm/s) (Karthik H. Obla, 2007).

En la figura 11 se puede observar la permeabilidad de un hormigón permeable.



FIGURA 11: Concreto Poroso

Fuente: (Laura Portugal, 2009)

Dentro de las características más importantes del concreto permeable está su capacidad para filtrar el agua a través de su estructura. Como se puede observar en la figura 11, la capacidad de filtración que tiene este tipo de concreto se relaciona directamente con el contenido de vacíos. “Diferentes estudios y pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de vacíos de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa, además la permeabilidad en este tipo de mezclas para que sea considerada satisfactoria, el tiempo medido debe ser menor a los 100 segundos”. (LOPEZ, P. E., 2010).

Si la capacidad de filtración aumenta a medida que se aumenta el contenido de vacíos de aire, consecuentemente, disminuye la resistencia a la compresión, es por ello que la dosificación de la mezcla debe lograr un equilibrio entre la capacidad de filtración y la resistencia a la compresión aceptable.



FIGURA 12: Capacidad de filtración del Hormigón Permeable.

Fuente: <http://www.arkigrafico.com/pavimento-permeable-la-mejor-opcion-contra-las-inundaciones>.

RELAVE

Relave Minero

Se definen como el desecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo. (Guía Ambiental para el manejo de residuos sólidos).

Características de los Relaves

Propiedades Físicas

Los tipos de relaves cubren una variedad ancha de características físicas de manera que su generalización es difícil. Dicha situación se complica si se considera que los relaves de cualquier tipo de mineral pueden diferir sustancialmente, de acuerdo con el proceso de la planta y la naturaleza de la roca mineralizada, sin embargo, trataremos de efectuar algunas generalizaciones para prever un resumen útil. (Rojas, 2007), y esto depende de:

- Contenido de sólidos (Antes de decantar)
- Granulometría.

Los tamices analíticos de laboratorio Tyler son conformes a las normas ASTM E11-09, ISO 3310-1 e ISO 565. Cada tamiz a su propio Número de serie y es suministrado con un certificado de conformidad.

Los tamices son de aberturas cuadradas formadas por alambres que se cruzan y las dimensiones que se especifican corresponden a la distancia entre los alambres. Existen diferentes series de tamices, e IRAM adoptó la serie americana Standard. Tyler (USA) estudió por primera vez el problema en forma racional y tomó como tamiz básico para la serie el que tiene 200 mallas por pulgada lineal. Al fijar un diámetro a los alambres, la abertura de dicho tamiz resulta de 75 μm . La serie de tamices IRAM que se emplean para hormigones y su correspondiente a la norma ASTM, que se detalla a continuación en la Tabla 4 La norma ASTM designa los tamices para agregados gruesos por la abertura de la malla en pulgadas, y para los correspondientes a las arenas, por el número de aberturas por pulgada cuadrada. La Norma IRAM específica lo hace en milímetros y para los tamices con aberturas menores que 1 mm en micrones.

TABLA 4: Serie de Tamices IRAM y ASTM

Abertura	
IRAM	ASTM
75.0 mm	3"
63.0 mm	2 ½" (*)
50.0 mm	2"
37.5 mm	1 ½"
26.5 mm	1" (*)
19.0 mm	¾"
13.2 mm	½" (*)
9.5 mm	3/8"
4.75 mm	N° 4
2.36 mm	N° 8
1.18 mm	N° 16
600 µm	N° 30
300 µm	N° 50
150 µm	N° 100
75 µm	N° 200

Nota: Los tamices indicados con (*) no forman la serie Abrams o del módulo de finura.

- Densidad de sólidos
- Densidad aparente (consolidación)
- Contenido de agua retenida.
- Permeabilidad.

Propiedades Químicas

Con respecto a las características químicas que pueden variar ampliamente de un yacimiento a otro. Al respecto, es importante anotar que varios depósitos de características diferentes, cada uno con distinta geoquímica, pueden ser explotados a lo largo de la vida de la mina, ocasionando las variaciones correspondientes en las características químicas de los relaves producidos. (Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros, 1995)

Manejo de Relave Minero

El manejo de relaves en el Perú es más difícil que en cualquier otro país del mundo debido a sus condiciones extremas en topografía, clima y riesgo sísmico, agregado a la prevalencia de cuerpos mineralizados altamente sulfurados y a los problemas de contaminación por drenaje ácido (ARD) que ellos poseen.

Actualmente prácticas novedosas de disposición de relaves, tal como el relleno subterráneo, método de descarga espesada y disposición de relaves deshidratados. Estas operaciones demuestran claramente que alternativas a los depósitos de relaves convencionales pueden ser prácticas y posibles en el Perú. (Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros, 1995).

Disposición de Relave Dentro de una Planta Concentradora

Existen diferentes formas de disponer los relaves. La más conocida son los depósitos convencionales o Embalses de Relaves.

Las instalaciones consisten en un espacio confinado de manera natural por elevaciones topográficas y/o con obras artificiales de contención.

Las obras de contención se pueden construir con material del mismo relave o con materiales de préstamo.

MARCO NORMATIVO

Los reglamentos, normas técnicas y códigos que intervienen en la investigación para el diseño de un concreto permeable son las siguientes:

a) Código ACI (American Concrete Institute)

- ACI Manual of Concrete Practice Part 6 – 2016.- ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete.

b) Especificaciones ASTM (American Society for Testing Materials)

- ASTM C33/C33M-16, Especificación Normalizada para Agregados para Concreto.

- ASTM C143/C143M-16, Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento hidráulico.
- ASTM C150-07, Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- ASTM C595/C595M-09, Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos.
- ASTM C618-15, Especificación Normalizada para Ceniza volante de carbón y puzolana natural n crudo o calcinada para uso de concreto.
- ASTM C1157/C1157M-11, Especificación Normalizada para Cemento Hidráulico.

HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

Es posible elaborar mezclas de concreto permeable que puedan alcanzar una resistencia a compresión igual o superior a $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ y permeabilidad considerable y drenar la escorrentía superficial en vías locales y pavimentos en las zonas de alta precipitación sustituyendo el relave por agregado fino. Es posible implementar el ensayo de permeabilidad utilizando el permeámetro propuesto por el ACI 522R-10.

Es posible adicionar hasta 15% de relave como agregado fino por volumen unitario de concreto manteniendo la permeabilidad y aumentando la resistencia para conseguir un concreto que cumplan la definición del concreto permeable.

Al sustituir un 5%, 10% y 15% del relave minero por agregado fino en un concreto permeable se logrará obtener mayor resistencia a la compresión en comparación al concreto permeable patrón de $f'c = 175\text{kg/cm}^2$.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar la resistencia a la compresión y permeabilidad, cuando se sustituye el 5%, 10% y 15% de relave minero por agregado fino

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Determinar la composición química mediante la fluorescencia de rayos x (FRX) del relave.
- ✓ Determinar el PH del relave y combinaciones.
- ✓ Determinar la relación A/C del concreto patrón y experimental.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión del concreto patrón y experimental, comparar y analizar los resultados.
- ✓ Determinar la permeabilidad del concreto patrón y experimental, comparar y analizar los resultados.
- ✓ Realizar el análisis de varianza (ANOVA) de la resistencia a compresión.

II. METODOLOGIA DEL TRABAJO

Tipo y diseño de Investigación

Tipo de Investigación:

La investigación fue tipo experimental, en la que se emplearon variables dependientes e independientes.

La variable independiente es el relave minero como agregado fino, también se consideró como variables independientes la relación agua-cemento, el porcentaje de vacíos, el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Como variable dependiente el comportamiento del concreto permeable (Resistencia a compresión y permeabilidad).

Es una investigación con enfoque cuantitativo porque se apoya en la medición de los datos tanto para la recolección, proceso y análisis de los datos.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

Conjunto de probetas de concreto permeable, con agregados gruesa de 1/2" y arena de la cantera de Tacllan – Huaraz; cemento portland tipo I y relave minero.

Muestra:









































































La muestra estará conformada por 48 probetas de concreto permeable por cada porcentaje de sustitución, distribuida de la siguiente manera:

- **Para el ensayo a la Resistencia de Compresión.**
 - ✓ 9 probetas de control (patrón)
 - ✓ 9 probetas experimental (5 % de sustitución)
 - ✓ 9 probetas experimental (10 % de sustitución)
 - ✓ 9 probetas experimental (15% de sustitución)

- **Para el ensayo a la Permeabilidad.**

- ✓ 3 probetas de control (patrón)
- ✓ 3 probetas experimental (5 % de sustitución)
- ✓ 3 probetas experimental (10 % de sustitución)
- ✓ 3 probetas experimental (15% de sustitución)

Tabla 5: Esquema del diseño experimental

RESISTENCIA DEL CONCRETO CON PORCENTAJE DE RELAVE					PERMEABILIDAD CON PORCENTAJE DEL RELAVE				
DIAS DE CURADO	0%	5%	10%	15%	DIAS DE CURADO	0%	5%	10%	15%
7					14				
									
									
14					28				
									
									
28									
									
									

Fuente. Elaboración propia

TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

TECNICA	INSTRUMENTO
Observación	Guía de observación.
	Fichas técnicas y formatos del laboratorio para las pruebas a realizar.

FUNDAMENTOS PARA DEFINIR EL TRABAJO

Según los antecedentes de esta investigación y la literatura existente:

El rango de contenido de vacíos de un concreto permeable varía entre 15% a 35%, y éste depende principalmente del tamaño de los agregados, la norma ACI 211.3R-02 recomienda el uso de agregados de tamaños estándar N°. 67, N°. 7 y N°. 8 (ASTM C33).

Las mezclas permeables que desarrollan mayores valores de resistencia a la compresión deben tener como mínimo un 15% de vacíos para garantizar una adecuada permeabilidad. Por lo tanto, se consideró en el presente trabajo el valor de **20%** de contenido de vacíos.

El rango de los valores de la relación agua-cemento a/c varía entre 0.35 a 0.45, la relación a/c se fijó en **0.40** para todas las mezclas de concreto permeable. Este valor fue escogido ya que una cantidad excesiva de agua conduciría a drenar la pasta, produciendo un atascamiento del sistema de poros. Y una cantidad deficiente impedirá la correcta adherencia entre partículas sólidas, generando una mezcla pobre.

PROCEDIMIENTO

IDENTIFICACION DE LA CANTERA PARA LOS AGREGADOS Y RELAVE

Para identificar los agregados primero se ubicó la cantera, para lo cual se usó el programa Google Heart que nos permite las vistas panorámicas de la cantera en explotación (TACLLAN), ubicado en la Provincia de Huaraz – distrito de Huaraz.

Al mismo tiempo se ubicó la planta procesadora (MESAPATA), ubicado en el centro poblado de San Miguel- Distrito de Catac- Provincia de Recuay. Para la extracción del Relave.



FIGURA 13: *Extracción de la muestra para su análisis en el laboratorio.*

Fuente. Elaboración propia

PROPIEDADES DEL AGREGADO

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS

Los agregados son parte fundamental del concreto, en ella buscamos las propiedades mecánicas deseadas, como son la trabajabilidad, durabilidad y resistencia en el concreto permeable.

Las propiedades mecánicas de los agregados, se obtienen en base a las propiedades físicas de los agregados, mediante ensayos normados por:

- American Society for Testing and Materials (ASTM).
- La Norma Técnica Peruana (NTP).

El material utilizado en la investigación fue: AGREGADO GRUESO (Piedra huso N° 7). Proveniente de la cantera “TACLLAN”, se optó por esta cantera porque estos agregados son los más utilizados en obras civiles en la ciudad de Huaraz, por ser accesibles, cercanos y de buena calidad, el AGREGADO FINO (Arena). Proveniente de la cantera “TACLLAN” Ubicada en la Ciudad de Huaraz. El Relave de la planta procesadora Mesapata ubicada en la provincia de Recuay.

ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS

La importancia del uso, tipo y calidad de los agregados no se puede subestimar, en el caso del concreto poroso, los agregados ocupan un gran porcentaje del volumen del concreto, es por ello la necesidad del estudio de las propiedades físicas de los agregados.

Los agregados deben de cumplir con algunas normas para que sus usos en la ingeniería se optimicen: deben ser partículas limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos.

Los ensayos nos permiten conocer a nuestro agregado y así poder diseñar un concreto permeable.

Se realizaron los siguientes ensayos normalizados según las normas ASTM y NTP, las mismas que emiten rangos de aceptabilidad para los agregados. (Tabla 5).

TABLA 6: Norma, American Society for Testing and Materials – ASTM. Norma Técnica Peruana - NTP

	Ensayo - Norma	ASTM	NTP
A	Contenido de humedad	C-566	339.185
B	Análisis granulométrico	C-136	400.012
C	Peso específico y absorción del agregado grueso	C-127	400.021
D	Peso específico y absorción del agregado fino	C-128	400.022
E	Peso unitario suelto y compactado	C-29	400.017

Fuente: NTP.

ANALISIS GRANULOMETRICO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

ASTM C- 136 y NTP 400.012

Equipos y herramientas

- **Balanza.** - Si se va a pesar agregados finos se debe utilizar una balanza con aproximación de 0.1 g, en el caso de agregado grueso, una balanza con aproximación al 0.5 g.
- **Tamices.** - La serie de tamices para agregados gruesos son: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", # 4 y para agregados finos son #4, # 8, # 16, #30, #50, #100, #200.
- Tamizadoras mecánicas.
- Horno

Procedimiento

- **Agregado Grueso**

Para este ensayo, la muestra de agregado grueso tiene que estar seca; para lo cual se llevará al horno a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Luego de que el agregado este completamente seco, se procede a pesar (6000 gr) y luego se coloca el material en la tamizadora, donde ya están colocados los tamices, de mayor a menor según la serie de tamices.

Una vez que el material haya sido colocado en la tamizadora mecánica, se procede a tamizar la muestra, dicha maquina realiza movimiento circular por un periodo de 5 minutos.

Una vez finalizado el tamizado, se pesa los retenidos en cada malla, comenzando de la malla superior y se determina el huso del material, para nuestro caso es Huso 7 (1/2").

- **Agregado Fino**

Para este ensayo, la muestra de agregado fino tiene que estar seca; para lo cual se llevará al horno a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$.

La muestra aproximada mínima del agregado fino debe ser 1000 gr, la cual debe estar totalmente seca.

Una vez que el material haya sido colocado en la tamizadora mecánica, se procede a tamizar la muestra, dicha maquina realiza movimiento circular por un periodo de 3 minutos.

Una vez finalizado el tamizado, se pesa los retenidos en cada malla, comenzando de la malla superior.

TABLA 7: Límites para Análisis Granulométrico del Agregado fino.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm (3/8 in.)	100
4.75 mm (N°. 4)	95 a 100
2.36 mm (N°. 8)	80 a 100
1.18 mm (N°. 16)	50 a 85
600 μ m (N°. 30)	25 a 60
300 μ m (N°. 50)	05 a 30
150 μ m (N°. 100)	0 a 10

Fuente: NTP. 400.037



FIGURA 14: Tamizado de los agregados.

Requisitos de calificación para gruesos Agregados															
Tamaño Número	Tamaño Nominal (Tamices con Abertura Cuadrada)	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15	0 a 15							
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 15							
3	50 a 25.0 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4.75 mm (2" a N° 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 15			
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15				
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N° 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15			
5	25.0 a 12.5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15				
56	25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25.0 a 4.75 mm (1" a N° 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")							100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a N° 4)							100	95 a 100		20 a 55	5 a 10	0 a 5		
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N° 4)								100	95 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N° 8)									90 a 100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
88	9.5 a 1.18 mm (3/8" a N° 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 a 1.18 mm (N° 4 to N° 16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

FIGURA 15: Clasificación Requerida para Agregado Grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD

El ensayo está dado por las siguientes normas:

ASTM C- 566 y NTP 339.185

Equipo utilizado

- Balanza con precisión a 0.1% del peso de la muestra ensayada.
- Taras
- Horno a 105 +/- 5°C

Descripción del proceso

- Se cuartea el material para tomar una muestra representativa, aproximadamente 500 a 1000g, se coloca la muestra en recipientes previamente tarados.
- Se registra el peso de la tara más el material “húmedo” y se lleva al horno por 24 horas a una temperatura de 105 +/- 5°C; pasado este tiempo, y luego del enfriado, se procede a pesar el material seco.
- Se toman 1 a 3 muestras para sacar un promedio para que el ensayo sea más aproximado y exacto.

$$W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco del suelo}} * 100$$



FIGURA 16: Secado en el horno para el contenido de humedad.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

El ensayo está dado por las siguientes normas:

ASTM C- 127 y NTP 400.021

Equipo utilizado

- Horno 105 +/- 5 °C
- Recipientes
- Balanza
- Probeta graduada

Descripción del proceso

- Se obtiene una muestra representativa de 2 a 2.5kg para un TMN de 1/2, la cual se satura por 24 horas, en seguida se retira el agregado cuidadosamente y se vierte sobre un paño absorbente.
- Seguidamente para obtener su estado saturado superficialmente seco mediante secado manual, se toma cierto porcentaje de la muestra S.S.S. aproximadamente 600gr, se pesa y se introduce este material a un recipiente que está sumergido en agua y que pende de una balanza de precisión adecuada, se determina su peso sumergido y a continuación

este mismo material se seca en un horno por 24 horas y se determina, también, su peso seco.



FIGURA 17: *Peso específico del agregado fino.*

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

PESO UNITARIO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

ASTM C-29 y NTP 400.017

Equipos y herramientas

- Balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo.
- Varilla de Acero Liso con punta semiesférica (5/8" de diámetro y 24" de longitud)
- Recipiente u Olla para peso unitario.
- Pala y cucharón.

Procedimiento

• Peso Unitario Compactado

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie.

Se apisona la capa de agregado con la varilla 5/8” compactando, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie en forma helicoidal para posteriormente con el martillo de goma dar 12 golpes al recipiente metálico para el acomodo del material. Se llena hasta las dos terceras partes del envase, se repite el compactado para acomodo de partículas. Finalmente se llena el recipiente metálico con agregado hasta rebosar, se vuelve a apisonar con la varilla también con 25 golpes, para finalizar golpear con el martillo de goma 12 veces y luego enrasar con una regla metálica o en su defecto con la misma varilla.

- Al compactar la primera capa se procura que la varilla no golpee el fondo con fuerza, al compactar las últimas dos capas la varilla debe penetrar solo la última capa de agregado colocado.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido, peso y volumen de recipiente, se registran estos datos.

Cálculos

- Peso Unitario compactado

$$PU \text{ Compactado} = \frac{\text{peso de la muestra compactada (kg)}}{\text{volumen del recipiente (m3)}}$$

- Peso Unitario Suelto

$$PU \text{ Suelto} = \frac{\text{peso de la muestra suelta (kg)}}{\text{volumen del recipiente (m3)}}$$

- Porcentaje de Vacíos

$$\% \text{ de Vacios} = \frac{(PE - PU)}{PE} \times 100$$

Donde:

PE: Peso Especifico

PU: Peso Unitario Suelto o Compactado



FIGURA 18: Peso unitario

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE

Para el diseño del concreto permeable el comité ACI 522R-10, brinda un método para obtener proporciones del concreto, estableciendo como variables más importantes que afectan las propiedades mecánicas tales como, la relación a/c y el porcentaje de vacíos.

Para obtener el diseño de mezcla del concreto no convencional, se tuvo en cuenta la Guía para la Selección de Proporciones para Concretos con Cero Slump (Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete, ACI 211.3R) y el procedimiento de diseño que brinda el Reporte en Concreto Permeable (Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10), la siguiente tabla nos proporciona los rangos típicos de los materiales en el concreto permeable, y estos son solo valores de referencia.

TABLA 8: Rangos típicos de proporciones de materiales en concreto permeable.

Parámetro	Rango
Materiales cementantes, kg/m ³	270 a 415
Agregado, kg/m ³	1190 a 1480
Relación agua-cemento, en peso	0.26 a 0.45
Relación agregado-cemento, en peso	4 a 4.5:1
Relación agregado fino-agregado grueso, en peso	0 a 1:1

Fuente: (ACI 522R-10)

MATERIALES

- **Cementante:** Cemento Portland tipo IP (ASTM-C150), marca Sol por ser más comercial y la más usada. El peso específico se consideró como 3.15gr/cm³.
- **Agregados Grueso:** el agregado grueso, Grava de la cantera Tacllan, con TNM ½” - huso N°7.
- **Agregado Fino:** el agregado fino, Arena de la cantera de Tacllan – Huaraz.
- **Agregado Fino:** Relave minero procedente de la planta procesadora Mesapata.
- **Agua:** agua potable del laboratorio de mecánica de suelos USP.

RELACION AGUA – CEMENTO (a/c)

La dosificación del agua utilizada en el concreto permeable tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Utilizando una cantidad insuficiente de agua dará como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y, además, lavará el cemento dejando expuesto al agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste.

Para definir la relación a/c óptima, todo dependerá principalmente de las características de granulometría y físicas de los agregados y del contenido de materiales cementantes de la mezcla. Para el concreto permeable, la relación a/c es fundamental; para obtener la

trabajabilidad necesaria, usualmente varía en el rango de 0.26 a 0.45. por lo tanto, para el diseño se eligió una relación a/c intermedia de **0.40**.

La relación a/c es muy importante para el desarrollo de la resistencia y la estructura de vacíos del concreto.

RELACION AGREGADO – CEMENTO

La relación agregado-cemento típica varía entre 4:1 a 4.5:1, pero ésta depende fundamentalmente del tipo de agregado. Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga, y durabilidad.

CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO (b/bo)

Las pruebas de peso unitario seco-compactado de agregado grueso (b/bo) hecho por la National Agregates Association (NAA), muestra que el peso unitario seco compactado del Agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable.

Dónde:

b/bo = volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

b = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

bo = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso.

El valor b/bo automáticamente se compensa por los efectos de las diferentes formas de las partículas de los agregados, la graduación o tamaño, y el peso específico.

Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usados para concreto permeable (3/8" a 3/4") los valores b/bo son muy similares (ACI 522R-10).

La siguiente tabla muestra los valores de b/bo para agregado grueso de tamaños No. 8 (3/8") y No. 67 (3/4") para un contenido de agregado fino de 0%, 10% y 20% del total de agregado.

TABLA 9: Valores efectivos de b/b_o .

Porcentaje de agregado fino (%)	b/b_o	
	No. 8 (3/8")	No. 67 (3/4")
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: (Apéndice 6 – ACI 522R-10)

CONTENIDO DE VACIOS

El contenido de vacíos puede variar de 15% a 35%, según los estudios el porcentaje de vacío mínimo para una infiltración considerable es 15%, pero al mismo tiempo un porcentaje de vacíos muy alta disminuye la resistencia del concreto. Por lo tanto, para el diseño de la mezcla se consideró un porcentaje de vacío intermedio de **20%**.

MEZCLAS DE ESTUDIO

AGRUPAMIENTO DE MEZCLAS DE ESTUDIO

Se decidió dosificar el concreto con porcentajes teóricos de 20% de vacíos de diseño, con agregado anguloso, contenidos de arena de 0.20, y tamaño Huso N°7; en orden de analizar el efecto de esta variable sobre la resistencia y permeabilidad de la mezcla.

Haciendo un total de cuatro mezclas.

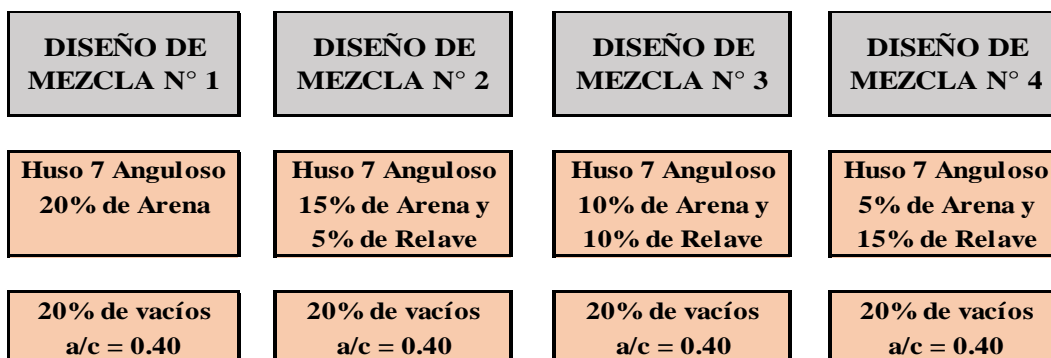


FIGURA 19: Distribución de las cuatro mezclas.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 10: Denominación de las cuatro mezclas elaboradas.

Mezcla 1:	Con 20% de contenido de vacíos, agregado N° 7 anguloso, arena 20%
Mezcla 2:	Con 20% de contenido de vacíos, agregado N° 7 anguloso, arena 15% y relave 5%
Mezcla 3:	Con 20% de contenido de vacíos, agregado N° 7 anguloso, arena 10% y relave 10%
Mezcla 4:	Con 20% de contenido de vacíos, agregado N° 7 anguloso, arena 5% y relave 15%

Fuente: Elaboración propia

METODO DE DOSIFICACION

PARAMETROS INICIALES DE DISEÑO REQUERIDO

DE LOS MATERIALES COMPONENTES

Se realizaron los ensayos de características físicas de los agregados, los cuales incluye granulometría, peso específico, peso unitario, humedad y absorción como se muestra en la Tabla 10 el resumen de las características de los agregados usados en esta investigación.

TABLA 11: Características de los agregados.

Agregado	T.M.N	MF	PU compactado (gr/cm3)	PU suelto (gr/cm3)	Pe seco (gr/cm3)	Abs. (%)	C.H (%)
Piedra chancada	1/2"	5.95	1.47	1.36	2.75	1.41	1.21
Arena	---	2.89	1.67	1.56	2.62	1.59	2.70
Relave	---	1.66	1.65	1.41	2.87	1.94	7.78

	Marca	Tipo	Pe
Cemento	SOL	ASTM-1	3.15

Fuente: Elaboración propia

TABLA 12: Resistencia especificada requerida.

Resistencia especificada de diseño (f'c)		
Mpa	Kg/cm2	Psi
17.5	175	2490

Fuente: Elaboración propia

METODOLOGIA DE LA DOSIFICACION DEL CONCRETO PERMEABLE

OBTENCION DEL PORCENTAJE DE VACIOS

Como el uso del concreto permeable es mayormente en los pavimentos de bajo volumen de tránsito, entonces la resistencia que debe tener es de 175 kg/cm². Por lo tanto, determinaremos el porcentaje de vacíos de la siguiente gráfica.

Se debe tener en cuenta que según el ACI 522R, el concreto permeable tiene un rango de esfuerzo a compresión de 2.8 a 28 Mpa. (28.55 kg/cm² a 285.5 kg/cm²).

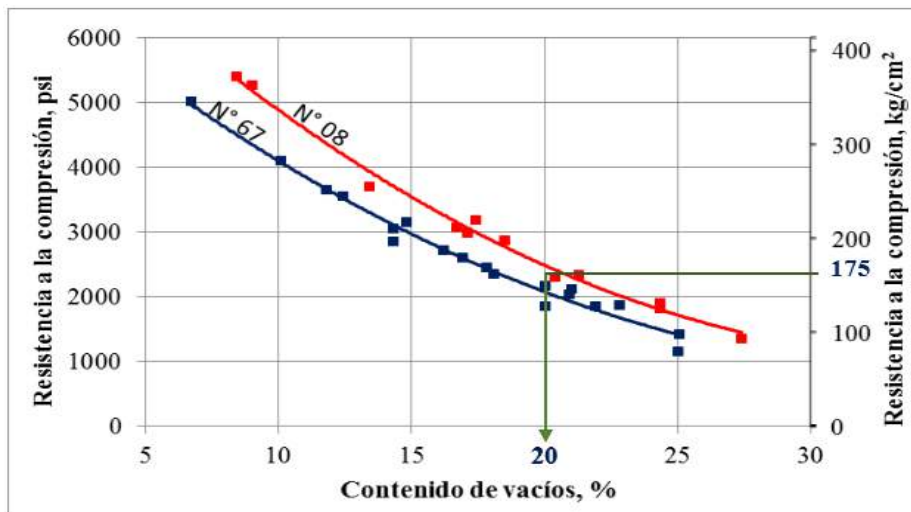


FIGURA 20: Contenido de vacíos vs. Resistencia a la compresión (Adaptado de : ACI 522R-10,2010)

Del gráfico, para la resistencia a la compresión de **175 kg/cm²**, el contenido de vacíos teórico es **20%**.

OBTENCION DEL VOLUMEN DE PASTA

Teniendo como datos el porcentaje de vacíos teórico y el tipo de compactación; se ingresa a la figura 21 y se obtiene el volumen de pasta de cemento para 1m³ de concreto.

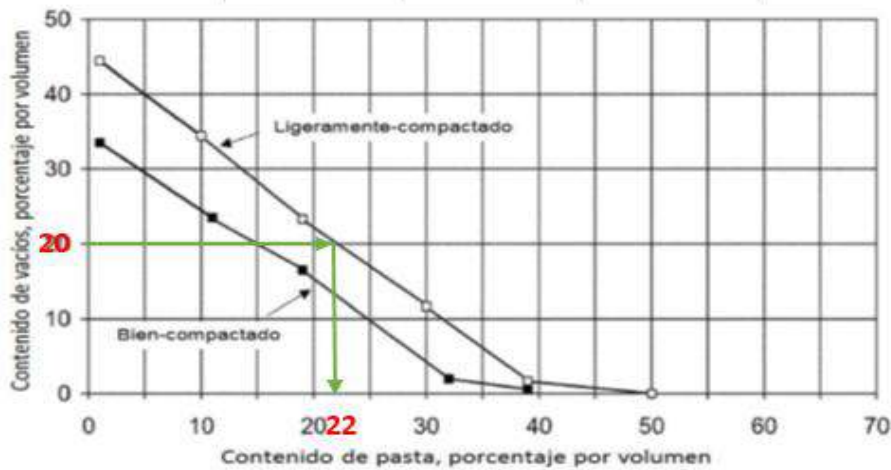


FIGURA 21: Volumen de pasta vs. Contenido de vacíos para agregado grueso.

Fuente: (ACI 522R-10, 2010)

De la figura tenemos que, para el contenido de vacíos de **20%** y concreto ligeramente compactada se obtiene un contenido de pasta de **22 %**

PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACION

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 1

NORMA: ACI 522R-10

(Con 20 % de Arena)

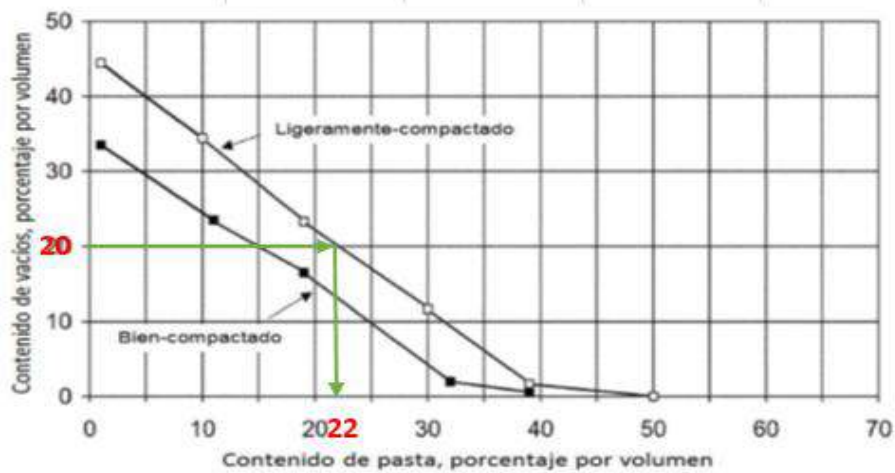
* Características físicas de los agregados – cemento

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2.62	1.59	2.70	1670	1560
A. Grueso 1/2"	2.75	1.41	1.21	1470	1360
Cemento	3.15				
Agua	1.00				

*** Características físicas del diseño de mezcla**

Relacion a/c	0.40
Contenido Vacios	20%
Arena	20%
Relave	0%

*** Determinación del volumen de pasta**



$$V_p = 0.22$$

$$C. \text{ Vacios} = \frac{V_p}{V_v} = \frac{0.22}{0.42} = 0.20$$

*** Determinación del Peso y Volumen de la grava**

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 1 - (V_v)$$

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 0.580 \text{ m}^3$$

$$0.580 = \frac{\text{Grava}}{P.\text{esp. Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1595.000 \text{ kg.}$$

*** Determinación del Peso y Volumen de Cemento (C)**

$$V_p = V_c + V_a$$

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) \times C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 306.640 \text{ kg.}$$

$$V_c = \frac{C}{P.\text{esp cemento}}$$

$$V_c = 0.097 \text{ m}^3$$

*** Determinación del Peso y Volumen del Agua (a)**

$$a = C \times (a/c)$$

$$a = 122.655 \text{ kg.}$$

$$V_a = \frac{a}{P.\text{esp agua}}$$

$$V_a = 0.123 \text{ m}^3$$

*** Considerando el 20% de Arena, la Grava será el 80%**

$$V_{\text{grava}} = V_g \times 0.8$$

$$V_{\text{arena}} = V_g \times 0.2$$

$$V_{\text{grava}} = 0.464 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{arena}} = 0.116 \text{ m}^3$$

$$\text{Grava} = 1276.000 \text{ kg.}$$

$$\text{Arena} = 303.920 \text{ kg.}$$

*** Volumen total de solidos (Vs)**

$$V_s = V_{\text{grava}} + V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{arena}}$$

$$V_s = 0.800 \text{ m}^3$$

*** Para confirmar el porcentaje de Vacios**

$$\text{Cont. Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$\text{Cont. Vacios} = 20 \%$$

*** Corrección de la cantidad de agua del mezclado debido a la humedad de los agregados**

$$\text{Peso humed. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Grava} = 1291.440 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso humed. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Arena} = 312.126 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = \text{Peso Grava} * \frac{(\text{Abs.} - \text{C.H})}{100} + \text{Peso Arena} * \frac{(\text{Abs.} - \text{C.H})}{100} + \text{Peso Agua}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = 121.833 \text{ kg}$$

*** Dosificación en peso y volumen**

- Los pesos por m3 son:

Cemento (c)	=	306.640 kg
Grava 1/2" (g)	=	1291.440 kg
Arena (ar)	=	312.126 kg
Agua (a)	=	<u>121.833 kg</u>
Σ	=	2032.039 kg

- Los volúmenes por m3 son:

Cemento (c)	=	0.097 m3
Grava 1/2" (g)	=	0.464 m3
Arena (ar)	=	0.116 m3
Agua (a)	=	<u>0.123 m3</u>
Σ	=	0.800 m3

*** Dosificación del concreto permeable**

Cemento	306.640	kg/m3
Grava 1/2"	1291.440	kg/m3
Arena	312.126	kg/m3
Agua	121.833	kg/m3

*** Proporciones en peso**

Cemento	1
Grava 1/2"	4.21
Arena	1.02
Agua	0.40

- Volumen del Molde

$$V_{\text{molde}} = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

$$r = 3.00 \text{ pulgadas}$$

$$h = 12.00 \text{ pulgadas}$$

$$V_{\text{molde}} = 0.0055600 \text{ m}^3$$

*** Proporción de materiales para 1 probeta**

Cemento	1.705	kg
Grava 1/2"	7.180	kg
Arena	1.735	kg
Agua	0.677	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas**

Cemento	15.344	kg
Grava 1/2"	64.624	kg
Arena	15.619	kg
Agua	6.097	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas + 5% de desperdicio**

Cemento	16.111	kg
Grava 1/2"	67.855	kg
Arena	16.400	kg
Agua	6.401	kg

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 2

NORMA: ACI 522R-10

(Con 15 % de Arena y 5% de Relave)

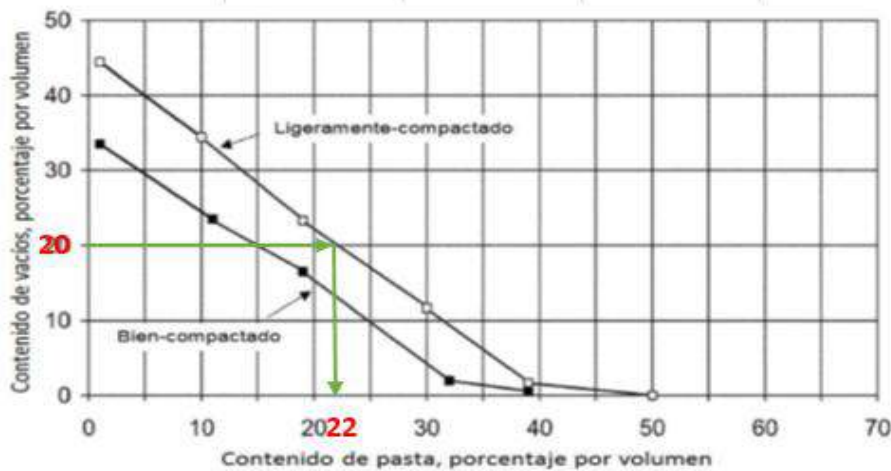
*** Características físicas de los agregados – cemento**

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2.62	1.59	2.70	1670	1560
A. Grueso 1/2"	2.75	1.41	1.21	1470	1360
A. Fino (Relave)	2.87	1.94	7.78	1650	1410
Cemento	3.15				
Agua	1.00				

*** Características físicas del diseño de mezcla**

Relacion a/c	0.40
Contenido Vacios	20%
Arena	15%
Relave	5%

*** Determinación del volumen de pasta**



$$V_p = 0.22$$

$$V_p = 0.22$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.20$$

$$V_v = 0.42$$

*** Determinación del Peso y Volumen de la grava**

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 1 - (V_v)$$

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 0.580 \text{ m}^3$$

$$0.580 = \frac{\text{Grava}}{\text{P.esp.Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1595.000 \text{ kg.}$$

*** Determinación del Peso y Volumen de Cemento (C)**

$$V_p = V_c + V_a$$

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) \times C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 306.640 \text{ kg.}$$

$$V_c = \frac{C}{\text{P.esp cemento}}$$

$$V_c = 0.097 \text{ m}^3$$

*** Determinación del Peso y Volumen del Agua (a)**

$$a = C \times (a/c)$$

$$a = 122.655 \text{ kg.}$$

$$V_a = \frac{a}{\text{P.esp agua}}$$

$$V_a = 0.123 \text{ m}^3$$

*** Considerando el 20% de Arena, la Grava será el 80%**

$$V_{\text{grava}} = V_g * 0.8$$

$$V_{\text{arena}} = V_g * 0.2$$

$$V_{\text{grava}} = 0.464 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{arena}} = 0.116 \text{ m}^3$$

$$\text{Grava} = 1276.000 \text{ kg.}$$

$$\text{Arena} = 303.920 \text{ kg.}$$

*** Considerando 5% de Relave, la Arena será el 95%**

$$\begin{aligned} V_{\text{arena}} &= V_{\text{arena}} * 0.95 & V_{\text{relave}} &= V_{\text{arena}} * 0.05 \\ V_{\text{arena}} &= 0.1102 \text{ m}^3 & V_{\text{relave}} &= 0.0058 \text{ m}^3 \\ \text{Arena} &= 288.724 \text{ kg.} & \text{Relave} &= 16.646 \text{ kg.} \end{aligned}$$

*** Volumen total de solidos (Vs)**

$$V_s = V_{\text{grava}} + V_{\text{cimento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{arena}} + V_{\text{relave}}$$

$$V_s = 0.800 \text{ m}^3$$

*** Para confirmar el porcentaje de Vacios**

$$\text{Cont. Vacios} = (1 - V_s) * 100$$

$$\text{Cont. Vacios} = 20 \%$$

*** Corrección de la cantidad de agua del mezclado debido a la humedad de los agregados**

$$\text{Peso humed. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{\text{C.H.}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Grava} = 1291.440 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso humed. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{\text{C.H.}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Arena} = 296.520 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso humed. Relave} = \text{Peso Relave} * \left(1 + \frac{\text{C.H.}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Relave} = 17.941 \text{ kg.}$$

$$P. \text{ correg. Agua} = P. \text{ Grava} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + P. \text{ Arena} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) +$$

$$+ P. \text{ Relave} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + P. \text{ Agua}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = 121.030 \text{ kg}$$

*** Dosificación en peso y volumen**

- Los pesos por m3 son:

Cemento (c)	=	306.640 kg
Grava 1/2" (g)	=	1291.440 kg
Arena (ar)	=	296.520 kg
Relave (re)	=	17.941 kg
Agua (a)	=	<u>121.030 kg</u>
Σ	=	2033.571 kg

- Los volúmenes por m3 son:

Cemento (c)	=	0.097 m3
Grava 1/2" (g)	=	0.464 m3
Arena (ar)	=	0.1102 m3
Relave (re)	=	0.0058 m3
Agua (a)	=	<u>0.123 m3</u>
Σ	=	0.800 m3

*** Dosificación del concreto permeable**

Cemento	306.640	kg/m3
Grava 1/2"	1291.440	kg/m3
Arena	296.520	kg/m3
Relave	17.941	kg/m3
Agua	121.030	kg/m3

*** Proporciones en peso**

Cemento	1
Grava 1/2"	4.21
Arena	0.97
Relave	0.06
Agua	0.39

- Volumen del Molde

$$V_{\text{molde}} = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

$$r = 3.00 \text{ pulgadas}$$

$$h = 12.00 \text{ pulgadas}$$

$$V_{\text{molde}} = 0.0055600 \text{ m}^3$$

*** Proporción de materiales para 1 probeta**

Cemento	1.705	kg
Grava 1/2"	7.180	kg
Arena	1.649	kg
Relave	0.100	kg
Agua	0.673	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas**

Cemento	15.344	kg
Grava 1/2"	64.624	kg
Arena	14.838	kg
Relave	0.898	kg
Agua	6.056	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas + 5% de desperdicio**

Cemento	16.111	kg
Grava 1/2"	67.855	kg
Arena	15.580	kg
Relave	0.943	kg
Agua	6.359	kg

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 3

NORMA: ACI 522R-10

(Con 10 % de Arena y 10% de Relave)

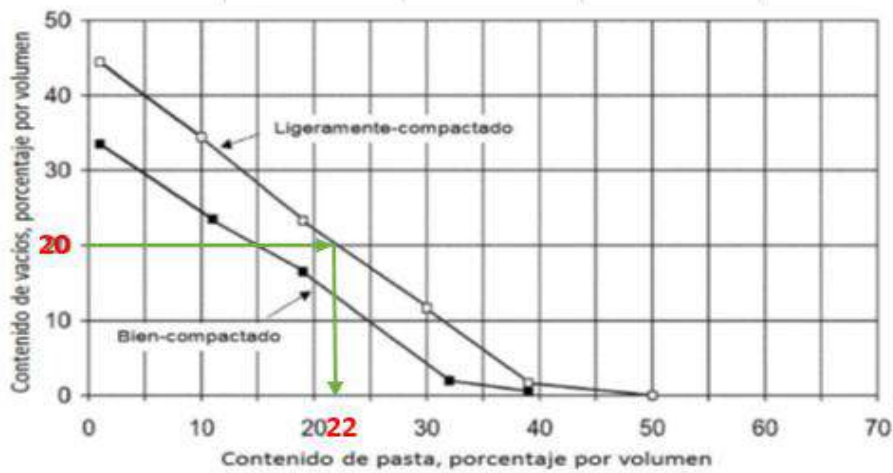
*** Características físicas de los agregados – cemento**

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2.62	1.59	2.70	1670	1560
A. Grueso 1/2"	2.75	1.41	1.21	1470	1360
A. Fino (Relave)	2.87	1.94	7.78	1650	1410
Cemento	3.15				
Agua	1.00				

*** Características físicas del diseño de mezcla**

Relacion a/c	0.40
Contenido Vacios	20%
Arena	10%
Relave	10%

*** Determinación del volumen de pasta**



$$V_p = 0.22$$

$$C. \text{ Vacios} = \frac{V_p}{V_v} = \frac{0.22}{0.42} = 0.20$$

*** Determinación del Peso y Volumen de la grava**

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 1 - (V_v)$$

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 0.580 \text{ m}^3$$

$$0.580 = \frac{\text{Grava}}{\text{P.esp.Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1595.000 \text{ kg.}$$

*** Determinación del Peso y Volumen de Cemento (C)**

$$V_p = V_c + V_a$$

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) \times C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 306.640 \text{ kg.}$$

$$V_c = \frac{C}{P.\text{esp cemento}}$$

$$V_c = 0.097 \text{ m}^3$$

*** Determinación del Peso y Volumen del Agua (a)**

$$a = C \times (a/c)$$

$$a = 122.655 \text{ kg.}$$

$$V_a = \frac{a}{P.\text{esp agua}}$$

$$V_a = 0.123 \text{ m}^3$$

*** Considerando el 20% de Arena, la Grava será el 80%**

$$V_{\text{grava}} = V_g \times 0.8$$

$$V_{\text{arena}} = V_g \times 0.2$$

$$V_{\text{grava}} = 0.464 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{arena}} = 0.116 \text{ m}^3$$

$$\text{Grava} = 1276.000 \text{ kg.}$$

$$\text{Arena} = 303.920 \text{ kg.}$$

*** Considerando 10% de Relave, la Arena será el 90%**

$$V_{\text{arena}} = V_{\text{arena}} \times 0.90$$

$$V_{\text{relave}} = V_{\text{arena}} \times 0.10$$

$$V_{\text{arena}} = 0.1044 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{relave}} = 0.0116 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = 273.528 \text{ kg.}$$

$$\text{Relave} = 33.292 \text{ kg.}$$

*** Volumen total de solidos (Vs)**

$$V_s = V_{\text{grava}} + V_{\text{cimento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{arena}} + V_{\text{relave}}$$

$$V_s = 0.800 \text{ m}^3$$

*** Para confirmar el porcentaje de Vacios**

$$\text{Cont. Vacios} = (1 - V_s) * 100$$

$$\text{Cont. Vacios} = 20 \%$$

*** Corrección de la cantidad de agua del mezclado debido a la humedad de los agregados**

$$\text{Peso humed. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Grava} = 1291.440 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso humed. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Arena} = 280.913 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso humed. Relave} = \text{Peso Relave} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Relave} = 35.882 \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{P. correg. Agua} = & \text{P. Grava} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + \text{P. Arena} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + \\ & + \text{P. Relave} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + \text{P. Agua} \end{aligned}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = 120.227 \text{ kg}$$

*** Dosificación en peso y volumen**

- Los pesos por m3 son:

Cemento (c)	=	306.640 kg
Grava 1/2" (g)	=	1291.440 kg
Arena (ar)	=	280.913 kg
Relave (re)	=	35.882 kg
Agua (a)	=	<u>120.227 kg</u>
Σ	=	2035.102 kg

- Los volúmenes por m3 son:

Cemento (c)	=	0.097 m3
Grava 1/2" (g)	=	0.464 m3
Arena (ar)	=	0.1044 m3
Relave (re)	=	0.0116 m3
Agua (a)	=	<u>0.123 m3</u>
Σ	=	0.800 m3

*** Dosificación del concreto permeable**

Cemento	306.640	kg/m3
Grava 1/2"	1291.440	kg/m3
Arena	280.913	kg/m3
Relave	35.882	kg/m3
Agua	120.227	kg/m3

*** Proporciones en peso**

Cemento	1
Grava 1/2"	4.21
Arena	0.92
Relave	0.12
Agua	0.39

- Volumen del Molde

$$V_{\text{molde}} = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

$$r = 3.00 \text{ pulgadas}$$

$$h = 12.00 \text{ pulgadas}$$

$$V_{\text{molde}} = 0.0055600 \text{ m}^3$$

*** Proporción de materiales para 1 probeta**

Cemento	1.705	kg
Grava 1/2"	7.180	kg
Arena	1.562	kg
Relave	0.200	kg
Agua	0.668	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas**

Cemento	15.344	kg
Grava 1/2"	64.624	kg
Arena	14.057	kg
Relave	1.796	kg
Agua	6.016	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas + 5% de desperdicio**

Cemento	16.111	kg
Grava 1/2"	67.855	kg
Arena	14.760	kg
Relave	1.885	kg
Agua	6.317	kg

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 4

NORMA: ACI 522R-10

(Con 5 % de Arena y 15% de Relave)

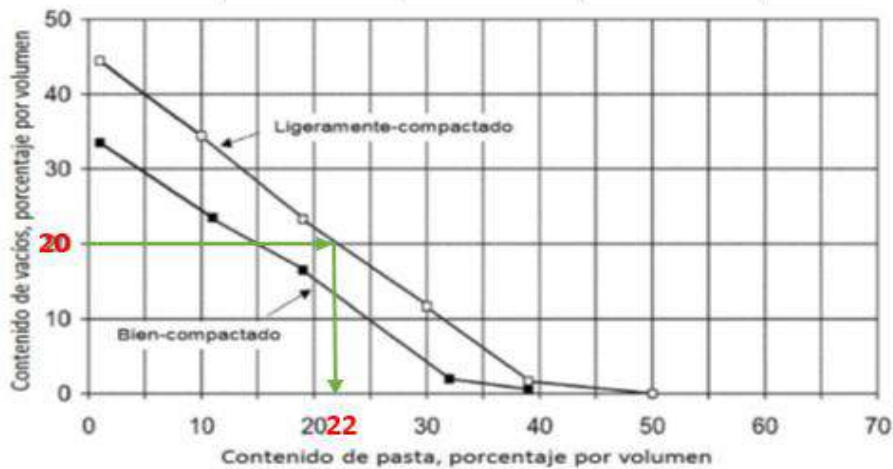
*** Características físicas de los agregados – cemento**

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2.62	1.59	2.70	1670	1560
A. Grueso 1/2"	2.75	1.41	1.21	1470	1360
A. Fino (Relave)	2.87	1.94	7.78	1650	1410
Cemento	3.15				
Agua	1.00				

*** Características físicas del diseño de mezcla**

Relacion a/c	0.40
Contenido Vacios	20%
Arena	5%
Relave	15%

*** Determinación del volumen de pasta**



$$V_p = 0.22$$

$$V_p = 0.22$$

$$C. \text{ Vacios} = \frac{0.20}{0.42}$$

$$V_v = 0.42$$

*** Determinación del Peso y Volumen de la grava**

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 1 - (V_v)$$

$$\text{Vol. Grava (vg)} = 0.580 \text{ m}^3$$

$$0.580 = \frac{\text{Grava}}{\text{P.esp.Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1595.000 \text{ kg.}$$

*** Determinación del Peso y Volumen de Cemento (C)**

$$V_p = V_c + V_a$$

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) \times C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 306.640 \text{ kg.}$$

$$V_c = \frac{C}{\text{P.esp cemento}}$$

$$V_c = 0.097 \text{ m}^3$$

*** Determinación del Peso y Volumen del Agua (a)**

$$a = C \times (a/c)$$

$$a = 122.655 \text{ kg.}$$

$$V_a = \frac{a}{P.\text{esp agua}}$$

$$V_a = 0.123 \text{ m}^3$$

*** Considerando el 20% de Arena, la Grava será el 80%**

$$V_{\text{grava}} = V_g * 0.8$$

$$V_{\text{arena}} = V_g * 0.2$$

$$V_{\text{grava}} = 0.464 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{arena}} = 0.116 \text{ m}^3$$

$$\text{Grava} = 1276.000 \text{ kg.}$$

$$\text{Arena} = 303.920 \text{ kg.}$$

*** Considerando 15% de Relave, la Arena será el 85%**

$$V_{\text{arena}} = V_{\text{arena}} * 0.85$$

$$V_{\text{relave}} = V_{\text{arena}} * 0.15$$

$$V_{\text{arena}} = 0.0986 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{relave}} = 0.0174 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = 258.332 \text{ kg.}$$

$$\text{Relave} = 49.938 \text{ kg.}$$

*** Volumen total de solidos (Vs)**

$$V_s = V_{\text{grava}} + V_{\text{cimento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{arena}} + V_{\text{relave}}$$

$$V_s = 0.800 \text{ m}^3$$

*** Para confirmar el porcentaje de Vacios**

$$\text{Cont. Vacios} = (1 - V_s) * 100$$

$$\text{Cont. Vacios} = 20 \%$$

*** Corrección de la cantidad de agua del mezclado debido a la humedad de los agregados**

$$\text{Peso humed. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Grava} = 1291.440 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso humed. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Arena} = 265.307 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso humed. Relave} = \text{Peso Relave} * \left(1 + \frac{\text{C.H}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Relave} = 53.823 \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{P. correg. Agua} = & \text{P. Grava} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + \text{P. Arena} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + \\ & + \text{P. Relave} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H}}{100} \right) + \text{P. Agua} \end{aligned}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = 119.424 \text{ kg}$$

*** Dosificación en peso y volumen**

- Los pesos por m3 son:

Cemento (c)	=	306.640 kg
Grava 1/2" (g)	=	1291.440 kg
Arena (ar)	=	265.307 kg
Relave (re)	=	53.823 kg
Agua (a)	=	<u>119.424 kg</u>
Σ	=	2036.634 kg

- Los volúmenes por m3 son:

Cemento (c)	=	0.097 m3
Grava 1/2" (g)	=	0.464 m3
Arena (ar)	=	0.0986 m3
Relave (re)	=	0.0174 m3
Agua (a)	=	<u>0.123 m3</u>
Σ	=	0.800 m3

*** Dosificación del concreto permeable**

Cemento	306.640	kg/m3
Grava 1/2"	1291.440	kg/m3
Arena	265.307	kg/m3
Relave	53.823	kg/m3
Agua	119.424	kg/m3

*** Proporciones en peso**

Cemento	1
Grava 1/2"	4.21
Arena	0.87
Relave	0.18
Agua	0.39

- Volumen del Molde

$$V_{\text{molde}} = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

$$r = 3.00 \text{ pulgadas}$$

$$h = 12.00 \text{ pulgadas}$$

$$V_{\text{molde}} = 0.0055600 \text{ m}^3$$

*** Proporción de materiales para 1 probeta**

Cemento	1.705	kg
Grava 1/2"	7.180	kg
Arena	1.475	kg
Relave	0.299	kg
Agua	0.664	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas**

Cemento	15.344	kg
Grava 1/2"	64.624	kg
Arena	13.276	kg
Relave	2.693	kg
Agua	5.976	kg

*** Proporción de materiales para 9 probetas + 5% de desperdicio**

Cemento	16.111	kg
Grava 1/2"	67.855	kg
Arena	13.940	kg
Relave	2.828	kg
Agua	6.275	kg

Terminado el diseño de la mezcla paso a paso y obtenidos las dosificaciones, calculamos en peso todos los materiales necesarios para una tanda de concreto para la elaboración de los especímenes cilíndricos de 6" x 12" para el ensayo a la resistencia de compresión y 4" x 8" para el ensayo de permeabilidad.

TABLA 13: Resumen del diseño de mezcla para grupo de prueba.

	MEZCLA N° 1	MEZCLA N° 2	MEZCLA N° 3	MEZCLA N° 4
MATERIALES	0 % Relave	5% Relave	10% Relave	15% Relave
Cemento (kg/m3)	306.637	306.637	306.637	306.637
Grava 1/2" (kg/m3)	1291.440	1291.440	1291.440	1291.440
Arena (kg/m3)	312.126	296.52	280.913	265.307
Relave (kg/m3)	0.000	17.941	35.882	53.823
Agua (L/m3)	121.833	121.03	120.227	119.423
Total (kg/m3)	2032.036	2033.568	2035.099	2036.63
Agua /Cemento (a/c)	0.40	0.39	0.39	0.39
Ag. Grueso/ Cemento	4.21	4.21	4.21	4.21
Ag. Fino/ Ag. Grueso	0.24	0.24	0.25	0.25

Fuente. Elaboración propia

ELABORACION DE MEZCLAS Y PROBETAS

La elaboración de las mezclas se llevó a cabo en el Laboratorio de mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales, USP-Huaraz. En este ambiente se encuentran las instalaciones y las herramientas necesarias de acuerdo a las normas ASTM y normas técnicas peruanas para la elaboración y caracterización del concreto.

Las normas ASTM y Normas Técnicas Peruanas utilizadas en la presente tesis para evaluar las propiedades y elaborar las probetas en estado fresco en un concreto convencional fueron: NTP 339.036 y ASTM C172, “Asentamiento del concreto fresco”; y, NTP 339.033 y ASTM C31, “Elaboración y curado de probetas de concreto en obra”.

Las normas ASTM que rigen el control de calidad del concreto endurecido en el concreto convencional utilizadas en la tesis es él; ASTM C39, “Esfuerzo a compresión en probetas cilíndricas”.

La norma ASTM y recomendaciones ACI utilizadas en la tesis para evaluar las propiedades en estado endurecido en un concreto permeable son la (ASTM C1754 / C1754M, 2012), y Reporte ACI 522R-10, “Permeabilidad en el laboratorio para concretos porosos”.



FIGURA 22: Elaboración de la mezcla.

PROCEDIMIENTO DEL MEZCLADO

Para realizar el mezclado, lo primero es pesar todos los materiales de acuerdo a las proporciones de diseño realizadas anteriormente, luego verificar las herramientas, equipos y la maquina mezcladora.

En total se realizó 4 tandas del mezclado.

Las herramientas utilizadas en el mezclado son:

- Maquina mezcladora.
- Carretilla.
- Palana
- Cono de Abrams.
- Cuchara
- Varilla para compactar
- 36 moldes de 6"x12" y 12 moldes de 4"x8".
- Balanza y baldes.

La secuencia seguida para el proceso del mezclado fue la siguiente:

1. se inició añadiendo el agua al trompo luego la grava y la arena, se dejó mezclar por 1 minuto.
2. Después de añadió el cemento y el agua restante, se dejó mezcla por un tiempo de 3 minutos.
3. Luego se dejó reposar durante 1 minuto para evitar el falso fraguado del cemento.
4. Luego se vacía la mezcla a la carretilla para llevar en el lugar que están ubicadas los moldes y moldearlo las probetas.

ELABORACION DE LAS PROBETAS NTP 339.033 (ASTM C192)

PROBETAS CILINDRICAS

Las probetas se elaboraron en moldes cilíndricos según las especificaciones del NTP 339.033. Se utilizaron probetas estándar de 6"x12" y 4"x8", los mismos que se utilizaron

para el ensayo de compresión y permeabilidad, respectivamente. De las cuatro mezclas, se moldearon 9 probetas de 6"x12" y tres probetas de dimensión 4"x8". En total, se obtuvo en esta investigación 36 probetas de 6"x12" más 12 probetas de 4"x8".

Las secuencias para elaborar las probetas del concreto permeable es similar al concreto convencional, en el llenado de la mezcla al molde se llena en tres capas; cada capa con 15 golpes con la varilla para (concreto ligeramente compactado).



FIGURA 23: Elaboración de las probetas.

GURADO DE LAS PROBETAS

La norma NTP 339.183 recomienda los procedimientos para el curado de los especímenes (probetas) de concreto.

Los especímenes se desmoldaron después de 24 horas del moldeado, para luego colocarlos a una poza de curado lleno de agua a una temperatura constante de 20° C.

ENSAYOS REALIZADOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS (ASTM C 143)

El método más común y más empleado para determinar la trabajabilidad del concreto convencional es la prueba de revenimiento o Slump, para concretos permeables también se puede aplicar este método.

El ensayo se realiza con el cono de Abrams, llenando el cono en tres capas de concreto con 25 golpes cada capa. Luego se retira el cono para determinar el asentamiento del concreto. Mayormente en el concreto permeable el asentamiento está entre 0” a 1”.



FIGURA 24: Prueba de Slump.

DENSIDAD DEL CONCRETO

Este ensayo abarca la determinación de la densidad del concreto en estado fresco, se halló dividiendo la masa neta del concreto sobre el volumen del molde. La masa neta se calcula sustrayendo la masa del molde vacío de la masa del molde lleno de concreto como sigue:

$$D = \frac{(M_c - M_m)}{V_m}$$

Donde:

M_c : masa del concreto + masa del molde

M_m : masa del molde

V_m : volumen del molde



FIGURA 25: Pesado del concreto en estado fresco.

PORCENTAJE DE VACIOS DEL CONCRETO

El porcentaje de vacíos o contenido de aire en el concreto fresco se determina con la siguiente formula:

$$U = 100 * \frac{(T - D)}{T}$$

Donde:

$T = M_s/V_s$

M_s : masa total de todos los materiales de la mezcla

V_s : volumen absoluto de cada componente de la mezcla

T : densidad teórica del concreto

D : peso unitario del concreto.

U : porcentaje de vacíos en estado fresco del concreto

RELACION A/C EN EL CONCRETO

De acuerdo con una proposición del técnico noruego del concreto S. Thaulow, la relación A/C se calcula a partir del peso específico aparente de los agregados, concreto fresco y de la densidad del cemento y del agua.

Si se conoce la relación de mezcla 1: k y si se ha determinado ya la densidad de los agregados, se puede calcular la relación A/C de acuerdo con la expresión:

$$A/C = \frac{GB}{GBU} * (1 + k - \frac{1}{\rho z} - \frac{k}{\rho G}) - (1 + k)$$

Donde:

GB = peso de la muestra del concreto fresco

GBU = peso bajo agua de la muestra del concreto fresco

k = relación en peso de los agregados secos y el cemento

ρz = densidad real del cemento

ρG = densidad de los agregados

ENSAYOS REALIZADOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO

RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión es tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento en la construcción lo cual se debe a sus tres principales razones, tales como, la resistencia a la compresión influye directamente en su capacidad de carga, es la propiedad más difícil de determinar en estado endurecido y sus resultados son utilizados como datos índices de las otras propiedades del concreto. La resistencia a la compresión del concreto permeable no es una propiedad definida al igual que el de concreto convencional debido a que hay varios factores y condiciones cambiantes en su determinación, en este trabajo se tomó como referencia las investigaciones anteriores tanto como la elaboración de probetas y la rotura de acuerdo al ACI 522.

El ensayo se realizó en el laboratorio, siguiendo los procedimientos correspondientes según ASTM C39, tales como, secado de las probetas 2 o 4 horas antes del ensayo, la velocidad

de la prensa fue de 25ton. /min. Por cada mezcla de concreto se ensayaron tres probetas a los 7, 14 y 28 días de curado.



FIGURA 26: Rotura de probetas 7 días.



FIGURA 27: Rotura de probetas 28 días.

PERMEABILIDAD

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz, la metodología de esta prueba fue desarrollado utilizando métodos de pruebas alternativos de la (ASTM- C09.49) y (ACI 522R-10), donde nos sugiere elaborar muestras cilíndricas de 10 cm de diámetro y 15cm de alto. Para el ensayo de permeabilidad se elaboró un permeámetro de carga variable siguiendo las recomendaciones del comité ACI 522R-06 y también las contribuciones de Neithalath, Weiss y Olek (2008), como se muestra en la figura.

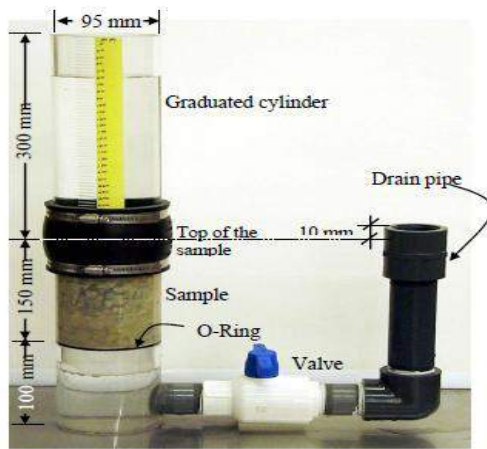


FIGURA 28: Permeámetro de carga variable.

Fuente: Neithalath, 2004

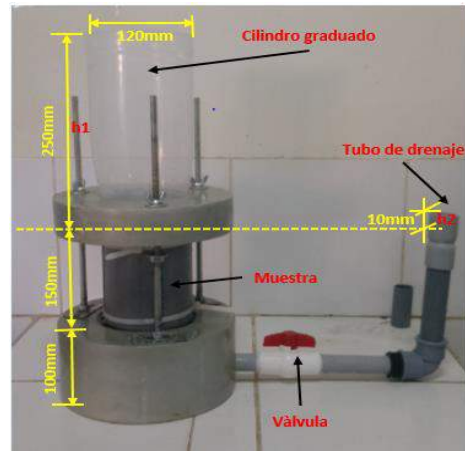


FIGURA 29: Permeámetro de carga variable.

Fuente: propia, 2018



FIGURA 30: Ensayo de Permeabilidad.

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

$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln \frac{h1}{h2}$$

Donde:

k: coeficiente de permeabilidad (cm/seg)

L: longitud de la muestra (cm)

A: área de la muestra (cm²)

a: área de la tubería de carga (cm²)

t: tiempo que emplea de pasar de h1 a h2 (seg)

h1: altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm)

h2: altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (cm)

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE

Con la finalidad de determinar la densidad del concreto permeable en estado endurecido, se ha calculado el volumen de las probetas (incluyendo el volumen de vacíos) y el volumen de los sólidos presentes en las mismas, además de la masa de todos los materiales que componen los testigos de concreto elaborados.



FIGURA 31: Pesado del concreto en estado endurecido.

La fórmula a aplicar es la siguiente:

$$De = \frac{Me}{Ve}$$

Donde:

De: densidad del concreto en estado endurecido (kg/m³)

Me: masa de la probeta (kg)

Ve: volumen de la probeta (m³)

III. RESULTADOS

Lo que describiré en este capítulo son los resultados de los ensayos realizados a los agregados y al concreto en estado fresco y endurecido; estos se mostrarán a través de tablas, cuadros y gráficos. Al mismo tiempo los resultados de FRX y pH del relave.

Granulometria.

Las propiedades físicas de los agregados tienen influencia en casi todas las propiedades del concreto. La granulometría es una de las más importantes.

El agregado grueso (grava 1/2"), presenta la siguiente granulometría

TABLA 14: Granulometría del Agregado Grueso (Huso N°7, 1/2")

AGREGADO GRUESO					
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	124.50	4.15	4.15	95.85
3/8"	9.50	916.80	30.56	34.71	65.29
1/4"	6.30	576.10	19.2	53.91	46.09
N° 4	4.75	626.00	20.87	74.78	25.22
N° 8	2.36	303.60	10.12	84.9	15.10
N° 16	1.18	372.90	12.43	97.33	2.67
N° 30	0.60	56.70	1.89	99.22	0.78
N° 50	0.30	23.40	0.78	100	0.00
N° 100	0.15	0.00	0	100	0.00
N° 200	0.075	0.00	0	100	0.00
BASE			0	100	0.00
		3000.00	100.00		

Fuente. Elaboración propia

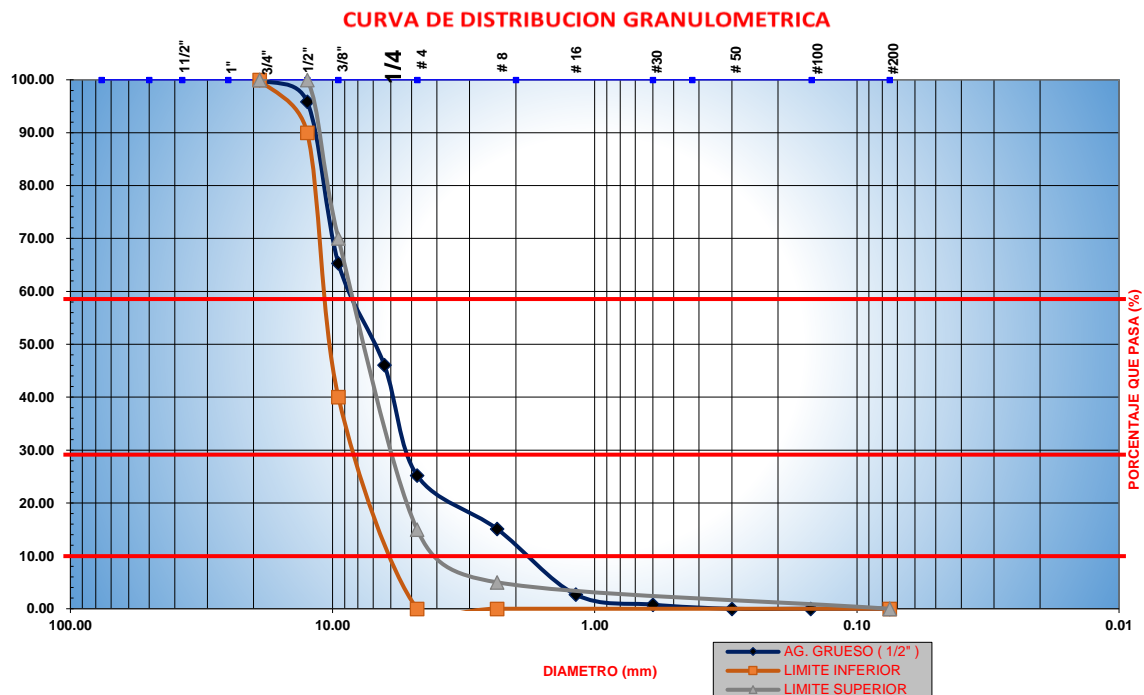


FIGURA 32: Curva granulométrico del Agregado Grueso.

Fuente. Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 32 que la curva granulométrica del agregado grueso no muestra una uniformidad según el Huso 7 de la NTP 400.037. Desde el tamiz de 1/4" a N° 8, el porcentaje de material que pasa es mayor que lo solicitado en el Huso 7. En los demás tamices se encuentra dentro de lo estipulado por la norma.

El agregado fino, en este caso la arena presenta la siguiente granulometría.

TABLA 15: Granulometría del Agregado Fino (Arena).

AGREGADO FINO (Arena)					
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	9.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.76	18.94	0.68	0.68	99.32
N° 8	2.36	396.44	14.23	14.91	85.09
N° 16	1.18	595.09	21.36	36.27	63.73
N° 30	0.60	756.40	27.15	63.42	36.58
N° 50	0.30	522.65	18.76	82.18	17.82
N° 100	0.15	344.07	12.35	94.53	5.47
N° 200	0.075	97.51	3.5	98.03	1.97
BASE		54.90	1.97	100	0.00
		2786.00	100.00		

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 15 se observa que el porcentaje que pasa la malla N°200 es de 1.97%, cumpliendo de esa manera lo que la norma ASTM C33 recomienda que el porcentaje que pasa la malla N°200 debe ser menor al 5%.

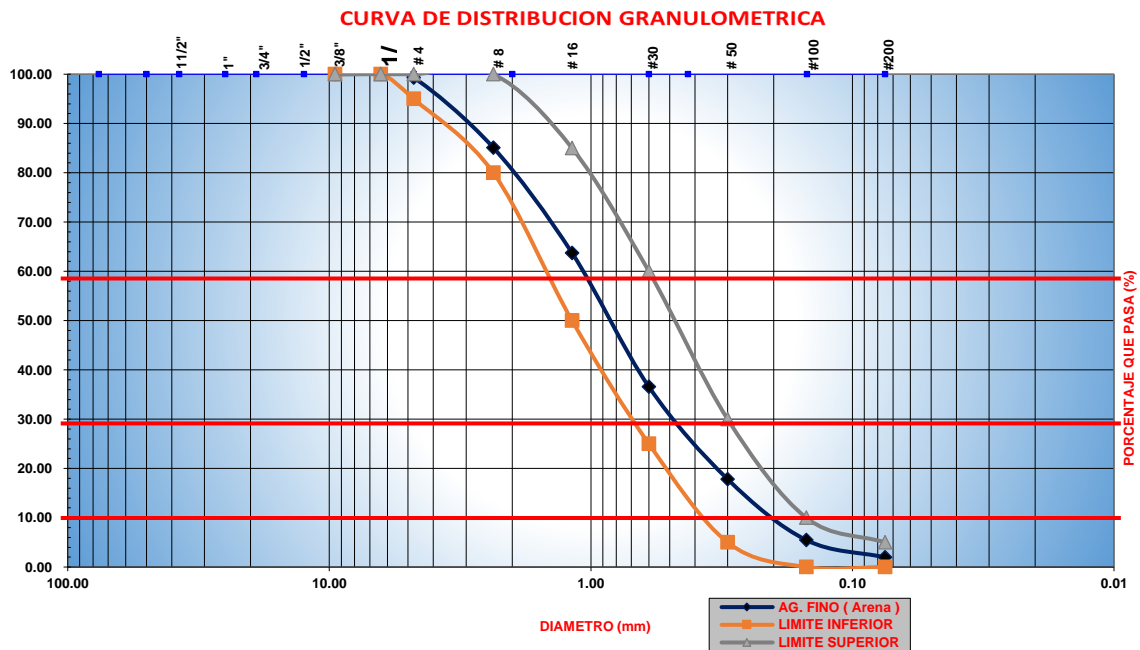


FIGURA 33: Curva granulométrico del Agregado Fino (Arena).

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 33 se observa, que el porcentaje de agregado fino que pasa los tamices N°4 al N°100 se encuentran dentro de los límites estipulado por la NTP 400.037, por lo tanto, con este resultado obtenemos un material que muestra una gradación uniforme. También es necesario mencionar el módulo de fineza de la arena haciendo los cálculos se obtiene el módulo de fineza igual a **2.89**.

En la NTP 400.037 nos indica que el módulo de fineza debe encontrarse entre 2.3 y 3.1, por lo que el MF del agregado fino se encuentra dentro del rango indicado.

El agregado fino, en este caso el relave presenta la siguiente granulometría.

TABLA 16: Granulometría del Agregado Fino (Relave).

AGREGADO FINO (Relave)					
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	9.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.36	16.00	0.80	0.80	99.20
N° 16	1.18	27.00	1.35	2.15	97.85
N° 30	0.60	124.00	6.20	8.35	91.65
N° 50	0.30	1122.80	56.14	64.49	35.51
N° 100	0.15	514.20	25.71	90.20	9.80
N° 200	0.075	124.80	6.24	96.44	3.56
BASE		71.20	3.56	100	0.00
		2000.00	100.00		

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 16 se observa que el porcentaje que pasa la malla N°200 es de 3.56%, menor al 5% recomendado por la norma ASTM C33.

TABLA 17: Contenido de humedad y absorción.

Propiedades físicas	Ag. Grueso (Grava 1/2")	Ag. Fino (Arena)	Ag. Fino (Relave)
Contenido de humedad	1.21%	2.70%	7.78%
Absorción	1.41%	1.59%	1.94%

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 17 observamos que el C.H del relave es muy elevado, por lo tanto, nos indica que en el momento de corrección por humedad en el diseño de mezcla se reducirá el agua significativamente.

Peso específico

Los resultados de las propiedades de los agregados nos muestran en el siguiente cuadro.

TABLA 18: Peso específico.

Agregados	Peso específico	Unidad
Ag. Grueso (Grava 1/2")	2750	kg/m ³
Ag. Fino (Arena)	2620	kg/m ³
Ag. Fino (Relave)	2870	kg/m ³

Fuente. Elaboración propia

Los agregados que tengan un peso específico de 2500 a 2750 kg/m³ son considerados agregados normales, mientras que si tienen un peso específico menor que 2500 kg/m³ será considerado un agregado ligero. (Pasquel, 1993).

En la tabla 18, se observa que el peso específico del agregado fino en este caso el relave es de 2870 kg/m³, lo que vendría a ser un agregado pesado. El peso específico del agregado grueso y arena son, 2750 kg/m³ y 2620 kg/m³ siendo estos un agregado normal.

Peso Unitario

El peso unitario del agregado puede ser peso unitario compactado o suelto.

Para agregados normales, el valor del peso unitario varía entre 1500 kg/m³ a 1700 kg/m³. (Pasquel, 1993).

TABLA 19: Peso Unitario.

Agregados	Peso Unitario Compactado Seco	Peso Unitario Suelto Seco
Ag. Grueso (Grava 1/2")	1470 kg/m ³	1360 kg/m ³
Ag. Fino (Arena)	1670 kg/m ³	1560 kg/m ³
Ag. Fino (Relave)	1650 kg/m ³	1410 kg/m ³

Fuente. Elaboración propia

En el agregado grueso sus pesos unitarios se encuentran debajo del valor de peso unitario para agregados normales, esto se debe al peso específico del material (agregado ligero), a la cantidad de poros que tiene y a su textura rugosa.

Porcentaje de Vacíos de los agregados

El porcentaje de vacíos de los agregados se determinó de la siguiente manera

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{(PE - PU)}{PE}$$

Donde:

PE: peso específico del agregado

PU: peso unitario suelto o compactado.

TABLA 20: Porcentaje de vacíos de los agregados.

MATERIALES	PE	PUC	PUS	% VACIOS. COMPACTADO	% VACIOS SUELTO
GRAVA	2750	1470	1360	0.47	0.51
ARENA	2620	1670	1560	0.36	0.40
RELAVE	2870	1650	1410	0.43	0.51

Fuente. Elaboración propia

DISEÑO DE LA MEZCLA

Una vez conocida las propiedades físicas de los materiales a emplear en la elaboración del concreto permeable, se realizó el diseño de mezcla con la norma ACI 522R-10. Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Cantidad de materiales por m³ del concreto permeable.

- a. Materiales de diseño seco por m³

TABLA 21: Materiales para el diseño.

Materiales	Patrón	5% Relave	10% Relave	15% Relave	Unidades
Cemento:	306.640	306.640	306.640	306.640	kg
Grava seco:	1276.000	1276.000	1276.000	1276.000	kg
Arena seco:	303.920	288.724	273.528	258.332	kg
Relave seco:	0.000	16.646	33.293	49.938	kg
Agua de mezcla:	122.656	122.656	122.656	122.656	lt.

Fuente. Elaboración propia

- b. Materiales corregidos por humedad y absorción por m³

TABLA 22: Materiales corregidos por humedad y absorción.

Materiales	Patrón	5% Relave	10% Relave	15% Relave	Unidades
Cemento:	306.640	306.640	306.640	306.640	kg
Grava:	1291.440	1291.440	1291.440	1291.440	kg
Arena:	312.126	296.540	280.913	265.307	kg
Relave:	0.000	17.941	35.882	53.823	kg
Agua de mezcla:	121.834	121.031	120.228	119.424	lt.

Fuente. Elaboración propia

- c. Proporcionamiento en peso

TABLA 23: Proporciónamiento de los materiales en peso.

Materiales	Patrón	5% Relave	10% Relave	15% Relave	Unidades
Cemento:	1	1	1	1	kg
Grava:	4.2	4.2	4.2	4.2	kg
Arena:	1.0	1.0	0.9	0.9	kg
Relave:	0.0	0.1	0.1	0.2	kg
Agua de mezcla:	16.9	16.8	16.7	16.5	lt/bolsa

Fuente. Elaboración propia

d. Proporciónamiento en volumen

TABLA 24: Proporciónamiento de los materiales en volumen.

Materiales	Patrón	5% Relave	10% Relave	15% Relave	Unidades
Cemento:	1	1	1	1	kg
Grava:	4.8	4.8	4.8	4.8	kg
Arena:	1.2	1.1	1.1	1.0	kg
Relave:	0.0	0.1	0.1	0.2	kg
Agua de mezcla:	16.9	16.8	16.7	16.5	lt/bolsa

Fuente. Elaboración propia

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Los resultados obtenidos en el laboratorio de las propiedades del concreto permeable en estado fresco son como sigue:

Asentamiento del concreto.

Este ensayo se realizó para cada diseño de la mezcla en el momento de vaciado de la maquina mezcladora hacia la carretilla, se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 25: Asentamiento del concreto (Slump).

MEZCLA	NOMENCLATURA	ASENTAMIENTO (SLUMP)
---------------	---------------------	------------------------------

		(mm)	(pulg)
N° 1	Patrón	14.00	0.55
N° 2	5% Relave	16.00	0.63
N° 3	10% Relave	20.00	0.79
N° 4	15% Relave	26.00	1.02

Fuente. Elaboración propia

Relación a/c del concreto.

Tabla 26: Relacion a/c inicial.

Mezcla N°	Descripción	Agua (lts.)	Cemento (kg)	a/c
1	Patrón	121.833	306.640	0.40
2	5% Relave	121.030	306.640	0.39
3	10% Relve	120.227	306.640	0.39
4	15% Relave	119.424	306.640	0.39

Fuente. Elaboración propia

Este ensayo se realizó para comprobar la relación agua- cemento teórico con la relación agua-cemento real de las mezclas, basándose a la teoría del técnico noruego del concreto S. Thaulow.

TABLA 27: Relación a/c del concreto en estado fresco (S. Thaulow).

Mezcla N°	Descripción	GB (g)	GBU (g)	k	ρ_z (g/cm ³)	ρ_G (g/cm ³)	a/c
1	Patrón	10000	5990	5.23	3.15	2.69	0.39
2	5% Relave	10000	6040	5.24	3.15	2.75	0.41
3	10% Relve	10000	6020	5.25	3.15	2.75	0.43
4	15% Relave	10000	6010	5.26	3.15	2.75	0.45

Fuente. Elaboración propia

Densidad del concreto en estado fresco.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad del concreto permeable recién mezclado bajo condiciones estandarizadas y proporciona fórmulas para calcular el contenido de vacíos del concreto permeable. La norma ASTM C1688, nos permite determinar la densidad del concreto, los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

TABLA 28: Densidad del concreto en estado fresco, norma ASTM C1688.

Mezcla N°	Descripción	Masa del molde lleno de concreto (Mc) (kg)	Masa del molde (Mm) (kg)	Volumen del molde (Vm) (m3)	Densidad (De) (kg/m3)
1	Patrón	8.966	3.420	0.00278	1995
2	5% Relave	8.890	3.420	0.00278	1968
3	10% Relve	8.915	3.420	0.00278	1977
4	15% Relave	8.928	3.420	0.00278	1981

Fuente. Elaboración propia

Contenido de vacíos del concreto en estado fresco

Los resultados de este ensayo se muestran en el siguiente cuadro.

TABLA 29: Contenido de Vacíos del concreto en estado fresco.

Mezcla N°	Descripción	Ms (kg)	Vs (m3)	D (kg/m3)	T (kg/m3)	U (%)
1	Patrón	2032.026	0.800	1995	2540	21.46
2	5% Relave	2033.568	0.800	1968	2542	22.58
3	10% Relve	2035.099	0.800	1977	2544	22.29
4	15% Relave	2036.630	0.800	1981	2546	22.19

Fuente. Elaboración propia

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Densidad del concreto en estado endurecido

Con la finalidad de determinar la densidad del concreto permeable en estado endurecido, se ha calculado el volumen de las probetas (incluyendo el volumen de vacíos) y el volumen de los sólidos presentes en las mismas, además de la masa de todos los materiales que componen los testigos de concreto elaborados.

Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

TABLA 30: Densidad del concreto en estado endurecido.

Mezcla N°	Descripción	Masa probeta (Me) (kg)	Volumen probeta (Ve) (m3)	Densidad (De) (kg/m3)
1	Patrón	9.210	0.00523	1761
2	5% Relave	9.340	0.00526	1776
3	10% Relve	9.546	0.00534	1788
4	15% Relave	9.275	0.00525	1767

Fuente. Elaboración propia

Resistencia a la compresión

En este proyecto se elaboraron tres probetas de 6"x12" para ensayarlos a los 7 días, tres para ensayarlos 14 días y tres para 28 días de edad. En las siguientes tablas y gráficas, se muestran los resultados obtenidos tras realizar el ensayo de resistencia a la compresión de las cuatro mezclas. Por cada mezcla se obtuvieron nueve probetas cilíndricas para compresión. Y se muestra en el siguiente cuadro.

TABLA 31: Resultados de la resistencia a la compresión de las cuatro mezclas.

EDAD (días)	MEZCLA N° 1 (20% Arena)	MEZCLA N° 2 (15% Arena + 5% Relave)	MEZCLA N° 3 (15% Arena + 5% Relave)	MEZCLA N° 4 (15% Arena + 5% Relave)
0	0	0	0	0
7	103.48	138.21	68.63	51.14
14	152.73	162.24	75.43	68.62
28	177.40	179.46	105.59	81.25

Fuente. Elaboración propia

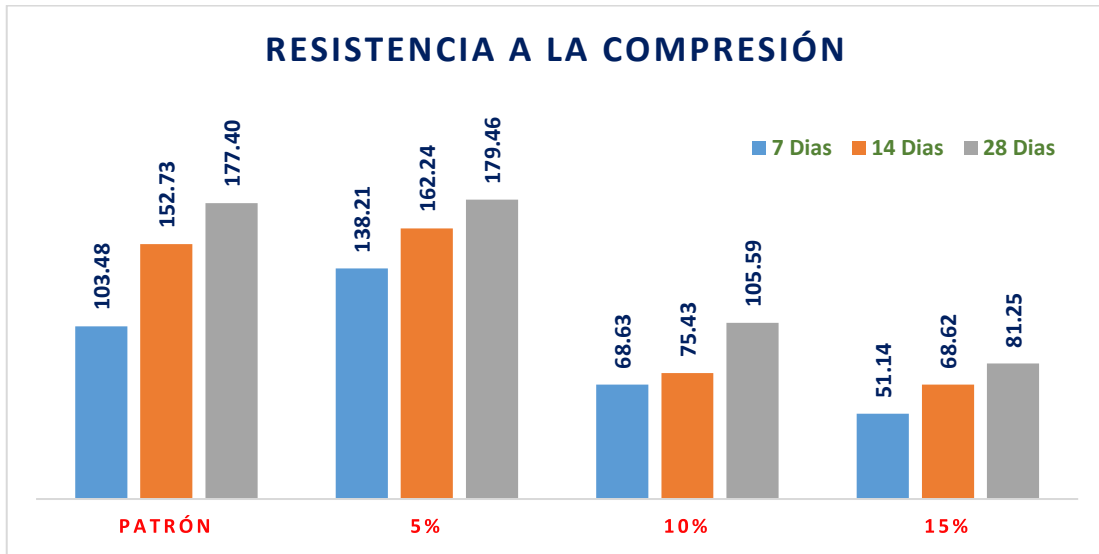


FIGURA 35: Resultados de comparación de la resistencia a compresión a los 7, 14, 28 Días.

Fuente. Elaboración propia

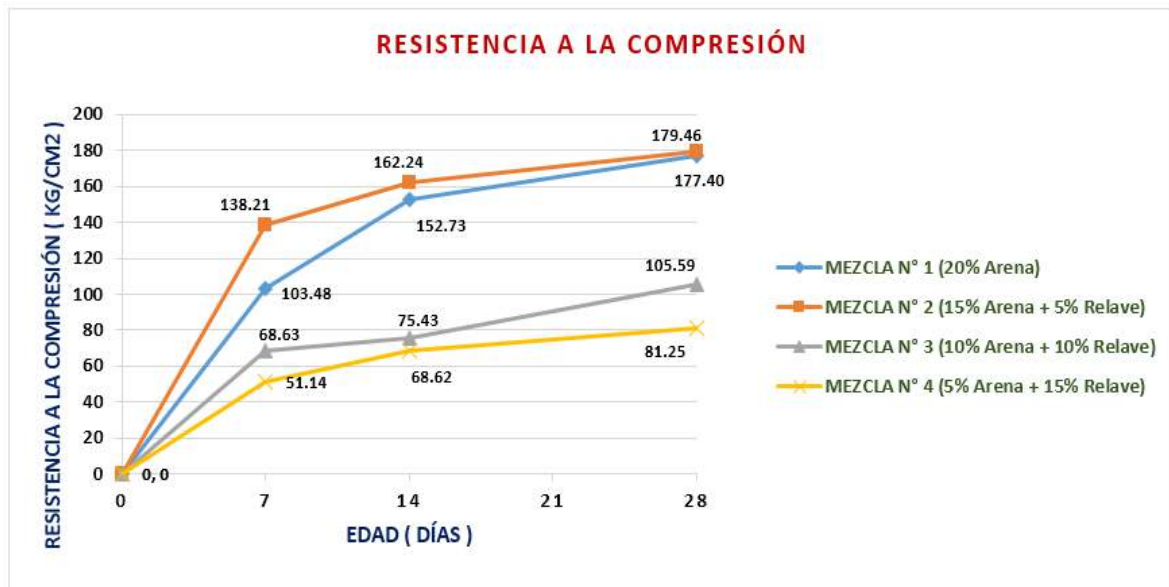


FIGURA 36: Curva comparativo de la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 Días.

Fuente. Elaboración propia

Permeabilidad

El ensayo de permeabilidad se realizó conforme a lo estipulado en el reporte del ACI 522R-10. Con la ayuda del equipo construido “Permeámetro” y con la ecuación de Darcy, el coeficiente de permeabilidad se calculó con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Donde: **k** = coeficiente de permeabilidad, **L**=longitud de la muestra, **t** = tiempo que demora en pasar de (h1-h2); **h1-h2**=altura de la caída del agua, **a**= área del cilindro de la carga y **A** = área de muestra.

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro.

TABLA 32: Resultados de la permeabilidad.

Mezcla	Descripción	t (seg)	k (cm/seg)
N° 1	Patrón	22	3.25
N° 2	5% Relave	31	2.27
N° 3	10% Relave	37	1.87
N° 4	15% Relave	49	1.42

Fuente. Elaboración propia

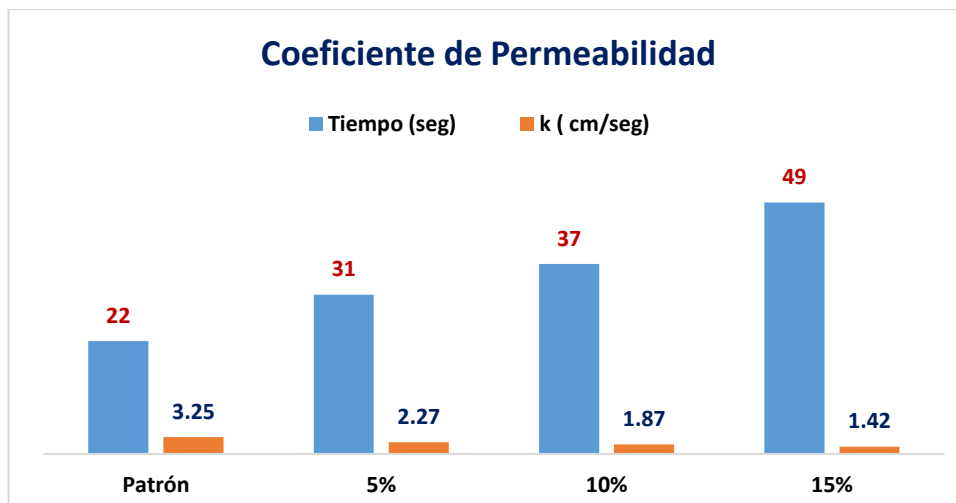


FIGURA 37: Resultados de la comparación de permeabilidad de las 4 mezclas.

Fuente. Elaboración propia

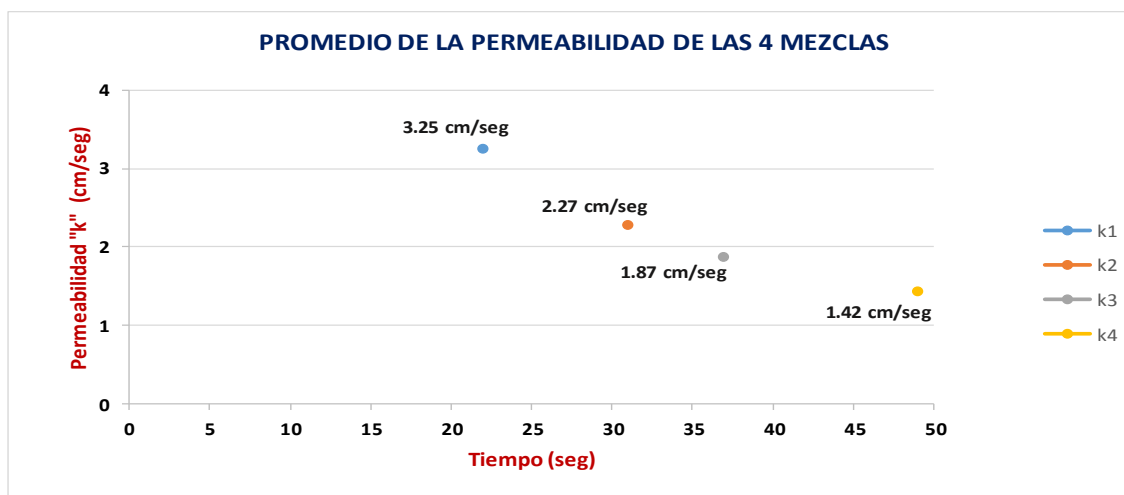


FIGURA 38: Permeabilidad promedio de las 4 mezclas.

Fuente. Elaboración propia

ANÁLISIS DE COMPOSICION QUIMICA DEL RELAVE

El análisis de la composición química del relave se realizó por el método de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, que se realizó en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)- Facultad de Ciencias; Obteniendo los siguientes resultados.

Análisis de Composición Química Elemental

TABLA 33: Resultado del análisis de la composición química elemental del Relave.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Silicio, Si	28.27
Hierro, Fe	22.12
Aluminio, Al	14.74
Calcio, Ca	11.71
Plomo, Pb	11.02
Zinc, Zn	6.29
Manganeso, Mn	2.51
Potasio, K	1.22
Arsénico, As	1.10
Titanio, Ti	0.50
Cobre, Cu	0.39
Estroncio, Sr	0.13

Fuente. Elaboración propia

Análisis de Composición Química Expresado en Óxidos

TABLA 34: Resultados del análisis de composición química expresado en óxidos del Relave.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Óxido de silicio, SiO ₂	26.264
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	18.979
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	18.655
Óxido de calcio, CaO	15.821
Óxido de plomo, PbO	15.331
Óxido de potasio, K ₂ O	3.341
Óxido de zinc, ZnO	0.821
Óxido de manganeso, MnO	0.318
Óxido de arsénico, As ₂ O ₃	0.206
Óxido de titanio, TiO ₂	0.107
Óxido de cobre, CuO	0.076
Óxido de estroncio, SrO	0.071

Fuente. Elaboración propia.

ANÁLISIS DE pH DEL RELAVE Y COMBINACIONES

Este análisis de potencial de hidrogeno (pH), se realizó en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM)- Facultad de Ciencias Agrarias; obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 35: Resultados de análisis de pH del Relave.

N°	MUESTRA	pH	INTERPRETACION
1	100% Arena	7.89	El pH es calificado como alcalina.
2	100% Relave	6.65	El pH es calificado como ligeramente acida.
3	95% de Arena + 5% de Relave	7.36	El pH es calificado como ligeramente alcalina.
4	90% de Arena + 10% de Relave	7.24	El pH es calificado como neutro.
5	85% de Arena + 15% de Relave	7.05	El pH es calificado como neutro.

Fuente. Elaboración propia

ANALISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A COMPRESION

TABLA 36: Resistencia del concreto permeable en kg/cm² para la verificación de varianza Anova.

Días de curado	Patrón 0% de Relave	5% de Relave	10% de Relave	15% de Relave
7	101.55	135.95	72.15	46.00
	112.69	137.35	67.06	51.87
	96.19	141.36	66.67	55.55
14	151.37	150.24	63.35	67.01
	146.45	159.62	65.76	62.60
	160.37	176.86	97.18	76.25
28	176.63	181.64	99.45	85.21
	184.55	176.63	103.97	75.55
	175.90	180.10	113.35	82.99

Fuente. Elaboración propia

El análisis de varianza (ANOVA), se realizó utilizando el programa SPSS en laboratorio de la USP- Chimbote.

TABLA 37: Resistencia a la compresión de probetas de concreto permeable con un porcentaje de arena sustituido por relave, según días de curado.

Días de curado	Resistencia de probeta con porcentaje de sustitución de arena por relave							
	0%		5%		10%		15%	
7	103,48	59%	138,21	79%	68,63	39%	51,14	29%
14	152,73	87%	162,24	93%	75,43	43%	68,62	39%
28	177,40	101%	179,46	102%	105,59	60%	81,25	46%

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

En la tabla 35, se puede apreciar que las resistencias a la compresión de las probetas de concreto son mayores a los 28 días de curado.

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk con $p > 0.05$ para todas las muestras) y homogeneidad de varianzas (Contraste de Levene con $p = 0.362$ y $p > 0.05$) de las probetas de concreto permeable para cada tratamiento (sustitución de un porcentaje de arena por relave) se procedió a realizar la prueba ANOVA.

TABLA 38: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas del concreto permeable

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Sustitución	18604,872	3	6201,624	48,695	,000
Días de curado	4158,339	2	2079,170	16,325	,004
Error	764,146	6	127,358		
Total	23527,357	11			

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

En la tabla 36, se puede visualizar que para la sustitución el $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.000$, $p < 0.05$) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula (H_0 : Resistencia de concreto iguales). Por lo que podemos concluir que con un nivel de 5% de significancia las resistencias medias en kg/cm^2 logradas en las probetas de concreto permeable, con sustitución de la arena en 0%, 5%, 10% y 15% por relave, no son iguales. Es decir, existe una diferencia significativa entre las resistencias medias de las probetas de concreto.

También se tienen que para los días de curado $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.004$, $p < 0.05$) entonces podemos decir que las resistencias medias de las probetas de concreto permeable son diferentes a consecuencia de los días de curado.

TABLA 39: Cálculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencias a la compresión de las probetas del concreto permeable es diferente.

Sustitución	Subconjunto para alfa = 0,05	
	1	2
T 15% Sustit.	67,0033	
T 10% Sustit.	83,2167	
T 0% Sustit.		144,5367
T 5% Sustit.		159,9700

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

T 5% de sustitución	159.9700 ----- a
T 0% de sustitución	144.5367 ----- a
T 10% de sustitución	83.2167 ----- b
T 15% de sustitución	67.0033 ----- b

En la tabla 37, después de realizar la prueba de Duncan podemos apreciar que las probetas de concreto permeable que tiene mayor resistencia a la compresión (kg/cm^2) es la que se

sustituye a la arena en 5% por relave, así mismo esta cantidad es significativamente igual al patrón, y la que registra menor resistencia es cuando se sustituye a la arena con un 10% y 15% por relave.

IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se analizó los resultados obtenidos de los ensayos de las propiedades de los agregados, del concreto en estado fresco y endurecido.

Agregados.

El agregado fino (Arena) proveniente de la cantera Tacllan de la tabla N°15, nos muestra que el porcentaje que pasa la malla N° 200 es 1.97%, este cumple con la norma ASTM C33, en donde indica que el porcentaje que pasa la malla N° 200 debe ser menor al 5%, el relave también cumple con la norma ASTM C33, este resultado nos muestra la tabla 16, el porcentaje que pasa la malla N° 200 es 3.56% menor que el 5%. El agregado grueso tiene el MF de 6.5 cumpliendo con la norma NTP 400.037 que dice que el MF de los agregados debe ser mayor a 5. En las otras propiedades de los agregados el relave resultó ser material muy saturado al tener 7.78 de contenido de humedad que nos muestra en la tabla 17, por lo que influirá en la cantidad de agua de la mezcla. Según (Pasquel, 1993) el agregado que tiene el peso específico entre 2500kg/m³ a 2750kg/m³ se le considera agregado normal, y si es menor al 2500kg/m³ se le considera agregado ligero. En la tabla 18, nos muestra que el agregado grueso y la arena es un agregado normal con peso específico de 2750kg/m³ y 2620kg/m³ respectivamente, mientras el relave es un agregado pesado con peso específico de 2870kg/m³, el peso unitario de los agregados según (Pasquel, 1993) debe estar entre 1500kg/m³ a 1700kg/m³, en la tabla 19, nos muestra que los pesos unitarios se encuentran en ese rango.

Propiedades del concreto permeable en estado fresco.

En la tabla 25, nos muestra los resultados del asentamiento de las cuatro mezclas, la mezcla N°1 tiene un asentamiento de 0.55plg. a medida que se va incrementando la sustitución del relave, también va incrementando el asentamiento, esto se debe a que la relación agua-

cemento también aumenta; por lo que influirá en la resistencia del concreto. En cuanto a la relación agua-cemento que nos muestra la tabla 26, muestra que la relación a/c aumenta a medida que el porcentaje del relave también aumenta, por lo que se afirma que a mayor porcentaje de humedad mayor relación a/c, el ACI 522R-10 recomienda usar relación a/c desde 0.35 a 0.45 para concretos hasta $f'c = 175 \text{ kg/m}^3$.

Propiedades del concreto permeable en estado endurecido.

La densidad del concreto convencional esta entre 2200kg/m^3 a 2400kg/m^3 , pero la densidad del concreto permeable es el 70% del concreto convencional por lo que se puede afirmar que es más liviano, en la tabla 28 nos muestra que la densidad del concreto permeable se encuentra entre 1761 kg/m^3 a 1788 kg/m^3 siendo el menos denso la mezcla N°1, la densidad es directamente proporcional con el grado de compactación y el porcentaje de vacíos.

Resistencia a la compresión.

Se realizaron ensayos de la resistencia a la compresión a las edades de 7,14 y 28 días para cada una de las 4 mezclas elaboradas (tabla 31).

TABLA 40: Resultados de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

EDAD (días)	MEZCLA N° 1 (20% Arena)	MEZCLA N° 2 (15% Arena + 5% Relave)	MEZCLA N° 3 (15% Arena + 5% Relave)	MEZCLA N° 4 (15% Arena + 5% Relave)
0	0	0	0	0
7	103.48	138.21	68.63	51.14
14	152.73	162.24	75.43	68.62
28	177.40	179.46	105.59	81.25

Fuente. Elaboración propia

Para ello se graficó las curvas de ganancia de resistencia de todas las mezclas en un solo gráfico, que nos permite conocer la influencia del relave, relación a/c, porcentaje de vacíos, así como otros factores que afectan la resistencia a distintas edades. En la figura 36, se presenta la curva de resistencia a la compresión simple vs el tiempo de curado de las cuatro mezclas.

La mezcla N° 1 (patrón), con 0% de relave presenta una resistencia de 103.48kg/cm³ a los 7 días, 152.73kg/cm² a los 14 días y 177.40kg/cm³ a los 28 días, que representa el 59%, 87% y 101% de su resistencia respectivamente alcanzando la resistencia especificada requerida de 175kg/cm². Esto se debe a que la relación a/c y el grado de compactación es lo adecuado, la relación a/c teórico fue de 0.40, pero la relación a/c real es 0.39 una diferencia de 1%. Por lo q la resistencia es similar a la resistencia requerida.

La mezcla N°2 con 5% de relave presenta una mayor ganancia de resistencia a los 7 días con 138.21kg/m³ que representa el 79%, mientras que en 14 y 28 días alcanzo la resistencia de 162.24kg/cm² y 179.46kg/cm² que representa el 93% y 102% respectivamente, superando al concreto patrón en 1.18% a los 28 días. Otro de los factores que influye en el incremento de la resistencia es el porcentaje de vacíos real de 0.41.

La mezcla N°3 con relave de 10% no alcanzo la resistencia adecuado, con 68.63kg/cm², 75.43kg/cm² y 105.59kg/cm² a los 7, 14 y 28 días respectivamente, esto se debe a que la relación a/c real es de 0.43 y la influencia de finos del relave.

La mezcla N°4 con relave de 15% presenta un resultado muy bajo en la resistencia a los 7, 14 y 28 días debido a que la relación a/c real según la tabla N°25 es muy alto con 0.45 a esto se suma el factor de las composiciones químicas del relave.

De las 4 mezclas realizadas, lo que presenta una resistencia mayor a los 28 días es la mezcla N° 2 con sustitución de 5% de relave alcanzando un $f'c = 179.46 \text{ kg/cm}^2$, con relación a/c real de 0.41, proporción en peso de 1: 4.2:1:0.1:0.4, con densidad en estado fresco de 1968kg/cm³, porcentaje de vacíos real de 22% y densidad en estado endurecido de 1776 kg/m³.

Permeabilidad.

Una de las propiedades más importantes del concreto permeable aparte de la resistencia a compresión es la permeabilidad, en este proyecto se realizó pruebas de permeabilidad basándose a la norma ACI 522R-10 que recomienda que la permeabilidad de un concreto permeable debe estar en el rango de 0.14cm/seg a 1,22cm/seg. La mezcla con permeabilidad cerca a este rango es la mezcla N°4 con una permeabilidad de 1.42cm/seg. Figura 38.

La relación a/c de la mezcla en estado fresco se determinó mediante la teoría del Noruego S. Thaulow, obteniendo los valores de relación a/c 0.39 para mezcla patrón N°1, 0.41 para

la mezcla N°2 con 5% de relave, 0.43 para la mezcla N°3 con 10% de relave y 0.45 para la mezcla N°4 con 15% de relave, en esto influye mucho el porcentaje de humedad del relave que tiene 7.78% por lo que se puede afirmar que a mayor porcentaje de relave en la mezcla mayor relación a/c y menor resistencia a la compresión.

Los resultados del ensayo de FRX, del relave es un indicador para los resultados a la compresión, ya que la composición química principal de la arena es el óxido de silicio (SiO_2), como la sustitución del relave es por arena por lo tanto el óxido de silicio del relave se involucra directamente con la arena, el resultado nos muestra que el componente químico del relave en óxidos es; 26% de óxido de silicio (SiO_2), 19% de óxido de aluminio (Al_2O_3), 19% de óxido de hierro (Fe_2O_3), 15% de óxido de calcio (CaO) y 15 de óxido de plomo (PbO).

Los resultados de pH del relave y combinaciones son para determinar el acides o alcalinidad del material que se usara en la mezcla, todos los materiales que componen debe estar en un rango de pH no muy acida ni tampoco muy alcalino, los resultados del ensayo non dice que el relave puro con 6.65 de pH es ligeramente acida, la arena pura con 7.89 de pH es alcalina, 5% de relave más arena con 7.36 de pH es ligeramente alcalina, 10% de relave más arena con 7.24 de pH es neutro y 15% de relave más arena con 7.05 de pH es neutro.

Los resultados de análisis de varianza, nos demuestra suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula, se tiene que para los días de curado $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.004$, $p<0.05$), por lo tanto, podemos decir que las resistencias medias son diferentes para cada día de curado, las pruebas de Duncan demuestran que las probetas con sustitución de 5% de relave tienen mayor resistencia.

V. CONCLUSIONES

- El ensayo de Fluorescencia de Rayos X, me ha permitido caracterizar tanto química como mineralógicamente las arenas del relave, dando como resultado en mayores porcentajes al Silicio (Si) con 28.27% y el Hierro (Fe) con 22,12%, siendo compatible con la arena, ya que la arena tiene como componente principal el Silicio.
- El pH del relave resulto ser un material poco acida con pH de 6.65 por lo que no se puede aplicar en un porcentaje mayor en el concreto, el pH de los materiales debe ser igual o mayor a 12 para garantizar el comportamiento del concreto.

- La relación a/c de la mezcla en estado fresco varía de acuerdo al incremento de la cantidad del relave sustituido, por lo que se concluye que el relave al tener contenido de humedad muy alta se involucra directamente en la relación a/c; ya que para los concretos permeables se usan la relacion a/c muy bajas que esta entre 0.26 a 0.45; la relación a/c idóneo es de la mezcla N°2 con 0.41 que es muy cercana a la relación a/c teórico asumido en el diseño de la mezcla de 0.40.
- La resistencia a la compresión del concreto permeable está involucrada directamente con la relación a/c, porcentaje de vacíos, y la incorporación del agregado fino en porcentajes menores o iguales al 20% , el relave al tener mas finos que la arena se involucra en la fluidez del concreto al mismo tiempo a la relacion a/c, afectando asi la resistencia a la compresión, por lo que se demuestra que a mayor cantidad de finos menor resistencia a la compresión. La resistencia con sustitución de 5% de relave por arena alcanzó un $f'c = 179.46 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días, por tener menos finos en la mezcla; mientras las mezclas con 10% y 15% de sustitución de relave por arena presentaron muy baja resistencia a los 28 días con 105.59 kg/cm^2 y 81.25 kg/cm^2 respectivamente. Por lo tanto se observa que la sustitucion mayores al 10% influyen negativamente reduciendo la resistencia del concreto. Se concluye que la sustitucion de relave en proporciones menores o iguales al 5% mejoran la resistencia.
- La permeabilidad del concreto es una de las propiedades más importantes por lo q está involucrado directamente con el porcentaje de vacíos y el contenido de agregado fino, por lo tanto, se concluye que la permeabilidad más adecuado que presenta es la mezcla N°4 con 1.42 cm/seg , recomendado por el ACI 522R-10 que la permeabilidad del concreto permeable debe estar entre 0.14 cm/seg a 1.22 cm/seg .
- Los resultados con un nivel de 5% de significancia las resistencias medias lograda con sustitución de 0%, 5%, 10% y 15% de relave no son iguales es decir que existen una diferencia significativa entre las resistencias medias. La prueba de Duncan demuestra que las probetas con sustitución de 5% de relave tiene mayor resistencia al igual que el concreto patrón.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer buenos estudios físico químico de los relaves para poder dar uso en el concreto permeable, pero en porcentaje menores al 5%. Seguir trabajando con estos tipos de concreto, debido a que se demuestra que los relaves mineros pueden ser usados en proporciones mínimas, también verificar que los componentes químicos del relave tengan CO₂ y SiO₂ a 26% para mejorar la resistencia.
- Hacer un estudio del potencial de hidrogeno (pH), para determinar el acides y la alcalinidad de los materiales a usar en el concreto, ya que el concreto tiene 12 a 13 de pH. Por lo que se recomienda verificar que los materiales de sustitución o adición tenga un pH igual o mayor al concreto.
- Se debe determinar la relación a/c en estado fresco del concreto para poder determinar la relación a/c real y comparar la relación a/c teórico con lo real, porque hay variación entre lo real y el teórico.
- Para la elaboración del concreto permeable se recomienda utilizar el relave como sustituto de la arena menores al 5%, ya que con porcentajes de 10% y 15% la resistencia disminuye considerablemente, tambien se recomienda utilizar cabeceo a las probetas con azufre para que la distribución de las fuerzas de compresión sea uniforme y reducir las fallas locales que se presenta en el momento del ensayo.
- El concreto permeable con la sustitucion de 5% de relave se puede dar uso en obras de pavimentos de bajo volumen de transito ya que con este porcentaje aumenta la resistencia
- Para obtener una permeabilidad adecuado el grado de compactación debe ser ligero al momento de la elaboración de las probetas, se recomienda usar porcentaje de vacíos menores a 25% y la incorporación del agregado fino menores al 20% en peso. Realizar mas pruebas variando los materiales, relacion A/C, porcentaje de vacíos y porcentaje de relave de otras plantas procesadoras.

- Se recomienda realizar el análisis de varianza (ANOVA) para descartar la hipótesis nula y verificar cuál de las resistencias a la compresión es diferente a otros.

VII. AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a **DIOS** porque todo fue posible gracias a él.

A mis padres Pelagio y Estefanía por haberme dado la vida, quererme mucho, guiarme por buen camino con su apoyo moral y económico.

A todos mis hermanos; Esther, Lulio, Lenin y Mariluz; que confiaron en mí y que me apoyaron en cada momento.

A Norma por su amor y su apoyo incondicional.

A todos mis amigos de la Universidad, que estuvieron siempre a mi lado, demostrando que todo se puede lograr cuando uno se propone.

A mis docentes, destacados profesionales que gracias a sus conocimientos aprendí lo grandioso de la carrera de Ingeniería Civil. A todos por el apoyo brindado.

En general a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de este reto para mí.

Ever

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACI 522 R (2006) Concreto Permeable

ACI Committee 522R-10 (2010). Report on Pervious Concrete

ACI-522R.6. (2006). Pervious Concrete. American Concrete Institute.

ASTM_C131. (1996). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. USA: ASTM International.

Castro, J., de Solminihac, H., Videla, C., & Fernández, B. (2009). Laboratory study of mixture proportioning for Pervious concrete pavement. *Revista ingeniería de construcción*, 24 (3), 271-284.

Fernández R. y Navas A. (2008). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/241406528/Diseno-de-Mezclas-Para-Evaluar-Su-Resistencia-a-La-Compresion-Uniaxial-y-Su-Permeabilidad>.

García H., Perales M. y Doménech. Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA).

Guizado, A & Curi, E. (2017) Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noreste del Peru. (tesis de pregrado). Universidad Pontificia Católica del Peru.

López, P. E. (2010). Control de Calidad y Colocación de Concreto Permeable. México D.F.

Pérez, R. D. (2009). Estudio experimental de Concretos Permeables con Agregados Andesíticos. México D.F.

Rodríguez Hernández, J. (2008). Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero. Santander: Universidad de Cantabria. (Tesis Doctoral).

Smith D., (2001). Permeable Interlocking Concrete Pavements, Selection, Design, Construction, Maintenance. Segunda Edición. Washington, DC, Estados Unidos: Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI).

Tennis, P., Leming, M.L., and Akers, D.J. (2004), "Pervious Concrete Pavements," EB 302, Portland Cement Association (PCA), Skokie, Illinois.

(2010). Pervious Concrete. Disponible en: www.perviouspavement.org.

Polastre, B., Santos, L.D. (2006). Concreto Permeable. Disponible en: <http://www.usp.br>.

ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete, American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, MI, www.concrete.org.

IX. ANEXOS

Anexo A. Recolección de agregados.



Anexo B. Ensayo de las propiedades de agregados y resultados.



CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS						
TESIS	: "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"					
SOLICITA	: Bach. Saavedra Jara, Faleon Ever					
DISTRITO	: huaraz			HECHO EN	: USP -HUARAZ	
PROVINCIA	: huaraz			FECHA	: 12/04/2019	
PROG (KM.)	:			ASESOR	:	
DATOS DE LA MUESTRA						
CALICATA	:					
MUESTRA	: AGREGADO GRUESO, FINO, RELAVE					
PROF. (m)	:					
AGREGADO GRUESO						
Nº TARRO		44				
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	669,5				
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	663,5				
PESO DE AGUA	(g)	6,00				
PESO DEL TARRO	(g)	169,50				
PESO DEL SUELO SECO	(g)	494,00				
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	1,21				
HUMEDAD PROMEDIO	(%)				1,21	
AGREGADO FINO						
Nº TARRO		48	34			
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	1131,5	925,5			
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	1107,7	904,2			
PESO DE AGUA	(g)	23,80	21,30			
PESO DEL TARRO	(g)	168,70	161,5			
PESO DEL SUELO SECO	(g)	939,00	742,7			
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	2,53	2,9			
HUMEDAD PROMEDIO	(%)				2,70	
RELAVE MINERO						
Nº TARRO		34	32			
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	1102,4	1051,3			
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	987,3	1037,9			
PESO DE AGUA	(g)	115,10	13,40			
PESO DEL TARRO	(g)	166,90	163,5			
PESO DEL SUELO SECO	(g)	820,40	874,4			
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	14,03	1,5			
HUMEDAD PROMEDIO	(%)				7,78	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ANALISIS DE MATERIALES
[Signature]
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

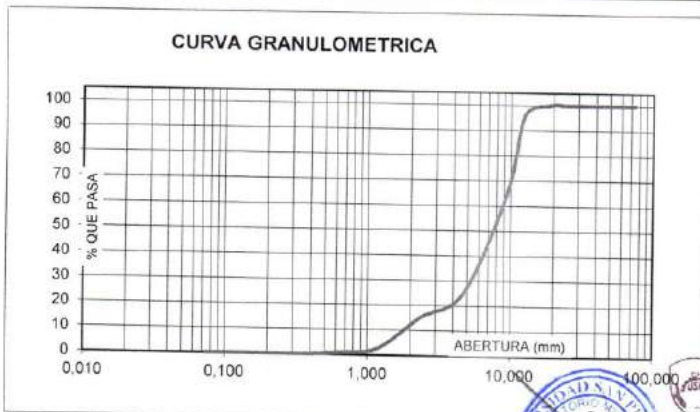
ANALISIS GRANULOMETRICO GRAVA

SOLICITA : **Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever**
 TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
 LUGAR : HUARAZ
 FECHA : 12/04/2019 CANTERA : TACLLAN MATERIAL : AGREGADO GRUESO

PESO SECO INICIAL	3000
PESO SECO LAVADO	3000,00
PESO PERDIDO POR LAVADO	0,00

TAMIZ	ABERT. (mm.)	PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No					
3"	75,000				
2 1/2"	63,000				
2"	50,000				
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	124,50	4,15	4,15	95,85
3/8"	9,500	916,80	30,56	34,71	65,29
N° 4	4,750	1202,10	40,07	74,78	25,22
N° 8	2,360	303,60	10,12	84,90	15,10
N° 16	1,180	372,90	12,43	97,33	2,67
N° 30	0,600	56,70	1,89	99,22	0,78
N° 50	0,300	23,40	0,78	100,00	0,00
N° 100	0,150	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 200	0,075	0,00	0,00	100,00	0,00
PLATO		0,00	0,00	100,00	0,00
TOTAL		3000,00	100,00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : 1/2"
 HUMEDAD : 1,21%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 INGENIERIA DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE



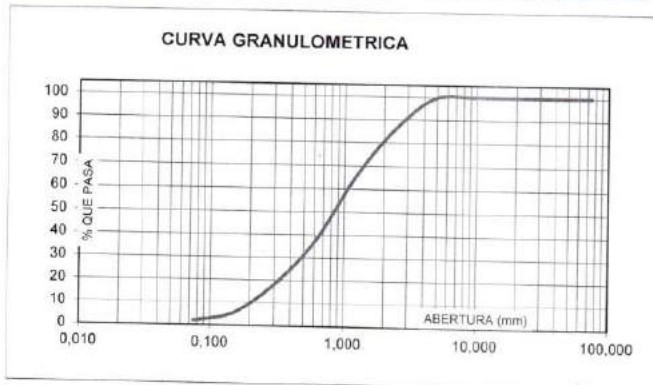
ANALISIS GRANULOMETRICO ARENA

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever
TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
LUGAR : HUARAZ
FECHA : 12/04/2019 **CANTERA :** TACLLAN **MATERIAL :** AGREGADO FINO

PESO SECO INICIAL	2786
PESO SECO LAVADO	2731,10
PESO PERDIDO POR LAVADO	54,90

TAMIZ	ABERT. (mm.)	PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No 3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,750	18,94	0,68	0,68	99,32
N° 8	2,360	396,44	14,23	14,91	85,09
N° 16	1,180	595,09	21,36	36,27	63,73
N° 30	0,600	756,40	27,15	63,42	36,58
N° 50	0,300	522,65	18,76	82,18	17,82
N° 100	0,150	344,07	12,35	94,53	5,47
N° 200	0,075	97,51	3,50	98,03	1,97
PLATO		54,90	1,97	100,00	0,00
TOTAL		2786,00	100,00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : # 4
 MODULO DE FINEZA : 2,9
 HUMEDAD : 2,70%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 118544
 JEFE

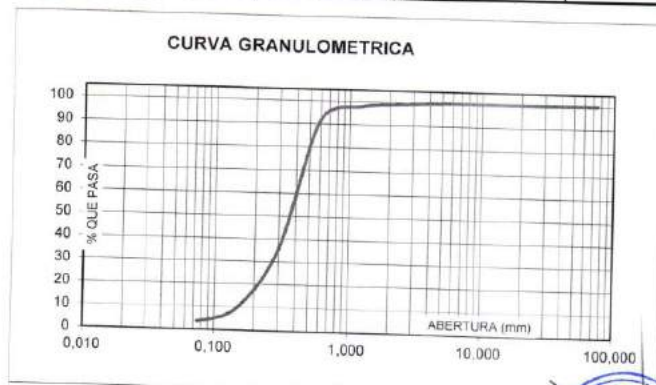
ANALISIS GRANULOMETRICO RELAVE

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever
TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
LUGAR : HUARAZ
FECHA : 12/04/2019 **CANTERA :** P.P MESAPATA **MATERIAL :** RELAVE

PESO SECO INICIAL	2000
PESO SECO LAVADO	1928.80
PESO PERDIDO POR LAVADO	71.20

TAMIZ	ABERT. (mm.)	PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,750	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 8	2,360	18,00	0,80	0,80	99,20
N° 16	1,180	27,00	1,35	2,15	97,85
N° 30	0,600	124,00	6,20	8,35	91,65
N° 50	0,300	1122,80	56,14	64,49	35,51
N° 100	0,150	514,20	25,71	90,20	9,80
N° 200	0,075	124,80	6,24	96,44	3,56
PLATO		71,20	3,56	100,00	0,00
TOTAL		2000,00	100,00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : # 8
 MODULO DE FINEZA : 1,7
 HUMEDAD : 7,78%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 118544
 JEFE

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL AGREGADO GRUESO**

SOLICITA : **Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever**
 TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
 LUGAR : HUARAZ
 CANTERA : TACLLAN
 MATERIAL : **AGREGADO GRUESO**
 FECHA : 12/04/2019

A : Peso de material saturado superficialmente seco (aire)
 B : Peso de material saturado superficialmente seco (agua)
 C = A - B : Volumen de masa + volumen de vacios
 D : Peso de material seco en el horno
 E = C - (A - D) : Volumen de masa

ABSORCION (%) : $((A-D/D) \times 100)$
 ABS. PROM. (%) :

P.e. Bulk (Base Seca) = D/C
 P.e. Bulk (Base Saturada) = A/C
 P.e. Aparente (Base Seca) = D/E

934,8	824,8	860,0
586,6	516,5	541,0
348,2	308,3	319,0
921,0	812,1	850,0
334,4	295,6	309,0
1,50	1,56	1,18
1,41		

PROMEDIO

2,65	2,63	2,66
2,68	2,68	2,70
2,75	2,75	2,75

PROMEDIO

P.e. Bulk (Base Seca)
 P.e. Bulk (Base Saturada)
 P.e. Aparente (Base Seca)

2,65
2,69
2,75



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FIJAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENGENIERIA CIVIL

 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116644
 JEFE

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL AGREGADO FINO**

SOLICITA : **Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever**
TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 12/04/2019

A : Peso de material saturado superficialmente seco (aire)
B : Peso de frasco+ agua
C = A + B : Peso frasco + agua +material
D : Peso de material+agua en el frasco
E = C - D : Volumen de masa+volumen de vacio
F : Peso Material seco en horno
G= E- (A - F) : Volumen de masa

ABSORCION (%) : $((A-F/F) \times 100)$
ABS. PROM. (%) :

P.e. Bulk (Base Seca) = F/E
P.e. Bulk (Base Saturada) = A/E
P.e. Aparente (Base Seca) = F/G

300,0		
646,9		
946,9		
829,3		
117,6		
295,3		
112,90		
1,59		
1,59		

PROMEDIO

2,51		
2,55		
2,62		

PROMEDIO

P.e. Bulk (Base Seca)
P.e. Bulk (Base Saturada)
P.e. Aparente (Base Seca)

2,51
2,55
2,62



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LAZARILLO DE ARCAHUELA DE SUREZ
 LUIS OCHOA DE BALLE
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL RELAVE**

SOLICITA : **Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever**
 TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10%
 y 15% de Relave por Agregado Fino"
 LUGAR : HUARAZ
 CANTERA : P.P MESAPATA
 MATERIAL : **RELAVE**
 FECHA : **12/04/2019**

A : Peso de material saturado superficialmente seco (aire)
 B : Peso de frasco+ agua
 C = A + B : Peso frasco + agua +material
 D : Peso de material+agua en el frasco
 E = C - D : Volumen de masa+volumen de vacio
 F : Peso Material seco en horno
 G= E- (A - F) : Volumen de masa

ABSORCION (%) : $((A-F/F) \times 100)$
 ABS. PROM. (%) :

P.e. Bulk (Base Seca) = F/E
 P.e. Bulk (Base Saturada) = A/E
 P.e. Aparente (Base Seca) = F/G

300,0		
663,5		
963,5		
855,3		
108,2		
294,3		
102,50		
1,94		
1,94		

PROMEDIO

2,72		
2,77		
2,87		

PROMEDIO

2,72
2,77
2,87

P.e. Bulk (Base Seca)
 P.e. Bulk (Base Saturada)
 P.e. Aparente (Base Seca)



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 GEOTECNIA
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 QIP: 116544
 JEFE

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever
TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 12/04/2019

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	25980	25995	25970
Peso de molde	7380	7380	7380
Peso de muestra	18600	18615	18590
Volumen de molde	13724	13724	13724
Peso unitario	1355	1356	1355
Peso unitario prom.	1355 Kg/m ³		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	27580	27605	27595
Peso de molde	7380	7380	7380
Peso de muestra	20200	20225	20215
Volumen de molde	13724	13724	13724
Peso unitario	1472	1474	1473
Peso unitario prom.	1473 Kg/m ³		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MATERIA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever
TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 12/04/2019

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7740	7720	7750
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4320	4300	4330
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1556	1549	1560
Peso unitario prom.	1555 Kg/m ³		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	8055	8075	8065
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4635	4655	4645
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1670	1677	1673
Peso unitario prom.	1673 Kg/m ³		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE RESISTENCIA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

PESOS UNITARIOS RELAVE

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcon Ever
TESIS : "Resistencia de un Concreto Permeable $f_c = 175 \text{ Kg/Cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% y 15% de Relave por Agregado Fino"
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : P.P. - MESAPATA
MATERIAL : RELAVE
FECHA : 12/04/2019

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7325	7330	7310
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	3905	3910	3890
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1407	1409	1401
Peso unitario prom.	1405 Kg/m ³		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7985	8000	7995
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4565	4580	4575
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1644	1650	1648
Peso unitario prom.	1647 Kg/m ³		



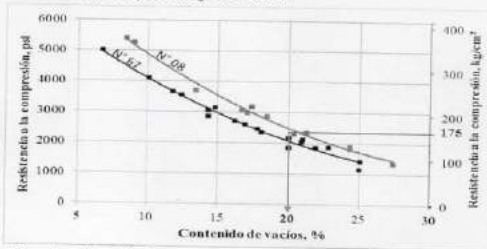
UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE METALURGIA DE SUELOS
 INGENIEROS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

Anexo C. Diseño de mezcla.



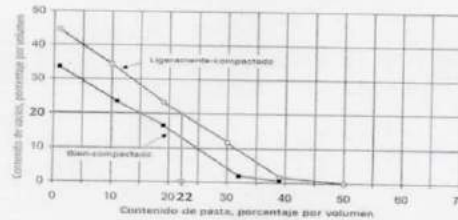
TESIS: " Resistencia de un concreto permeable $f_c=175\text{kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino "
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 1
NORMA: ACI 522R-10
(Con 20% de Arena)

1.- Obtención del porcentaje de Vacíos



- Para la resistencia a la compresión especificada requerida, el porcentaje de vacíos teórico es 20% según el gráfico.

2.- Obtención del volumen de la pasta



- Para 20% de Vacíos, el contenido de la pasta es 22% según el gráfico.

3.- Características físicas de los Agregados - Cemento

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2620	1,59	2,70	1670	1560
A. Grueso 1/2"	2750	1,41	1,21	1470	1360
Cemento	3150				
Agua	1000				

4.- Características físicas del diseño de mezcla

Relación a/c	0,40
Contenido Vacíos	20%
Arena	20%
Relave	0%

5.- Volumen de Pasta

$$V_p = 0,22$$

$$V_p = 0,22$$

$$C \text{ Vacíos} = 0,20$$

$$V_v = 0,42$$

7.- Determinación del Peso y Volumen del Cemento.

$$V_p = \frac{C}{3.15 \cdot 1000} + \left(\frac{a}{c}\right) \cdot C$$

$$\text{Peso Cemento} = 306,640 \text{ kg}$$

$$V_c = \frac{C}{P.\text{esp cemento}}$$

$$\text{Vol. Cemento} = 0,097 \text{ m}^3$$

6.- Determinación del Peso y Volumen de la Grava

$$\text{Vol. Grava (Vg)} = 1 - (V_p + C_v)$$

$$\text{Vol. Grava} = 0,580 \text{ m}^3$$

$$0,58 = \frac{\text{Grava}}{P.\text{esp Grava}}$$

$$\text{Peso Grava} = 1595,000 \text{ kg}$$

8.- Determinación del Peso y Volumen del Agua

$$a = C \cdot (a/c)$$

$$\text{Peso Agua} = 122,656 \text{ kg}$$

$$V_a = \frac{a}{P.\text{esp agua}}$$

$$\text{Vol. Agua} = 0,123 \text{ m}^3$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENRIQUE DE CONCRETOS
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 115544
 JEFE

9.- Considerando el 20% de Arena, la Grava sera el 80%

$$V_{ag.G} = V_g * 80\%$$

$$V_{ag.fino} = V_g * 20\%$$

Vol. Grava =	0,464	m ³
Peso Grava =	1276,000	kg

Vol. Arena =	0,116	m ³
Peso Arena =	303,920	kg

12.- Corrección de la cantidad de Agua del mezclado debido a la Humedad de los Agregados

$$\text{Peso humed. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

$$\text{Peso humed. Grava} = 1291,440 \text{ kg}$$

$$\text{Peso humed. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

$$\text{Peso humed. Arena} = 312,126 \text{ kg}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = \text{Peso Grava} * \frac{(\text{Abs.} - C.H.)}{100} + \text{Peso Arena} * \frac{(\text{Abs.} - C.H.)}{100} + \text{Peso Agua}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = 121,834 \text{ kg}$$

15.- Dosificación del Concreto Permeable

Cemento	306,640	kg/m ³
Grava 1/2"	1291,440	kg/m ³
Arena	312,126	kg/m ³
Agua	121,834	kg/m ³

17.- Volúmen del Molde

$$V_{molde} = \pi * r^2 * h$$

Donde:

$$r = 3,00 \text{ pulgadas}$$

$$h = 12,00 \text{ pulgadas}$$

$$V_{molde} = 0,0055600 \text{ m}^3$$

19.- Proporción de Materiales para 9 Probetas

Cemento	15,344	kg
Grava 1/2"	64,624	kg
Arena	15,619	kg
Agua	6,097	kg

10.- Volúmen total de sólidos.

$$V_s = V_{grava} + V_{cemento} + V_{arena} + V_{agua}$$

$$V_s = 0,800 \text{ m}^3$$

11.- Para confirmar el porcentaje de Vacíos

$$\text{Cont. Vacíos} = (1 - V_s) * 100$$

$$\text{Cont. Vacíos} = 20 \%$$

13.- Dosificación en Peso por m³

Cemento (c)	=	306,640	kg
Grava 1/2" (g)	=	1291,440	kg
Arena (ar)	=	312,126	kg
Agua (a)	=	121,834	kg
Σ	=	2032,040	kg

14.- Dosificación en Volúmen por m³

Cemento (c)	=	0,097	m ³
Grava 1/2" (g)	=	0,464	m ³
Arena (ar)	=	0,116	m ³
Agua (a)	=	0,123	m ³
Σ	=	0,800	m ³

16.- Proporciones en Peso

Cemento	1
Grava 1/2"	4,21
Arena	1,02
Agua	0,40

18.- Proporción de Materiales para 1 Probeta

Cemento	1,705	kg
Grava 1/2"	7,180	kg
Arena	1,735	kg
Agua	0,677	kg

20.- Proporción de Materiales para 9 Probetas + 5% de desperdicio

Cemento	16,111	kg
Grava 1/2"	67,855	kg
Arena	16,400	kg
Agua	6,401	kg



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
SUELOS ESPECIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



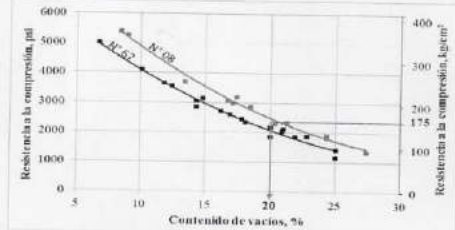
TESIS: " Resistencia de un concreto permeable $P_c=175\text{kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino "

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 2

NORMA: ACI 522R-10

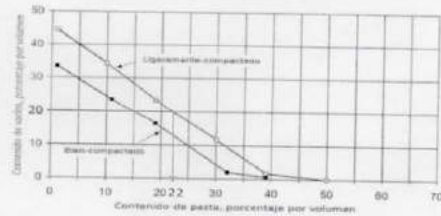
(Con 15% de Arena y 5% de Relave)

1.- Obtención del porcentaje de Vacíos



- Para la resistencia a la compresión especificada requerida, el porcentaje de vacíos teórico es 20% según el gráfico.

2.- Obtención del volúmen de la pasta



- Para 20% de Vacíos, el contenido de la pasta es 22% según el gráfico.

3.- Características físicas de los Agregados - Cemento

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2620	1,59	2,70	1670	1560
A. Fino (Relave)	2870	1,94	7,78	1650	1410
A. Grueso 1/2"	2750	1,41	1,21	1470	1360
Cemento	3150				
Agua	1000				

4.- Características físicas del diseño de mezcla

Relacion a/c	0,40
Contenido Vacíos	20%
Arena	15%
Relave	5%

5.- Volúmen de Pasta

$$V_p = 0,22$$

$$V_p = 0,22$$

$$C. \text{ Vacíos} = 0,20$$

$$V_v = 0,42$$

6.- Determinación del Peso y Volúmen de la Grava

$$\text{Vol. Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$\text{Vol. Grava} = 0,580 \text{ m}^3$$

$$0,58 = \frac{\text{Grava}}{P.\text{esp Grava}}$$

$$\text{Peso Grava} = 1595,000 \text{ kg}$$

8.- Determinación del Peso y Volúmen del Agua

$$a = C * (a/c)$$

$$\text{Peso Agua} = 122,656 \text{ kg}$$

$$V_a = \frac{a}{P.\text{esp agua}}$$

$$\text{Vol. Agua} = 0,123 \text{ m}^3$$

7.- Determinación del Peso y Volúmen del Cemento.

$$V_p = \frac{C}{3.15 \cdot 1000} + \left(\frac{a}{c}\right) \cdot C$$

$$\text{Peso Cemento} = 306,640 \text{ kg}$$

$$V_c = \frac{C}{P.\text{esp cemento}}$$

$$\text{Vol. Cemento} = 0,097 \text{ m}^3$$

9.- Considerando el 20% de Arena, la Grava sera el 80%

$$V_{ag} G = V_g * 80\%$$

$$\text{Vol. Grava} = 0,464 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Grava} = 1276,000 \text{ kg}$$

$$V_{ag} \text{ fino} = V_g * 20\%$$

$$\text{Vol. Arena} = 0,116 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Arena} = 303,920 \text{ kg}$$

10.- Volúmen total de sólidos.

$$V_s = V_{grava} + V_{cemento} + V_{arena} + V_{relave} + V_{agua}$$

$$V_s = 0,800 \text{ m}^3$$

11.- Para confirmar el porcentaje de Vacíos

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS Y
TÉCNICAS INDUSTRIALES
Ing. Elizabeth Marza Ambrosio
CIP: 116644
JEFE



$$\text{Cont. Vacíos} = \left(1 - \frac{V_s}{V_c}\right) \cdot 100$$

12.- Considerando 5% de Relave, la Arena será el 95%

$$\begin{aligned} \text{Varena} &= \text{Varena} * 95\% & \text{Vrelave} &= \text{Varena} * 5\% \\ \text{Varena} &= 0,1102 \text{ m}^3 & \text{Vrelave} &= 0,0058 \text{ m}^3 \\ \text{Peso Arena} &= 288,724 \text{ kg} & \text{Peso Relave} &= 16,646 \text{ kg} \end{aligned}$$

13.- Corrección de la cantidad de Agua del mezclado debido a la Humedad de los Agregados

$$\text{Peso humed. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{\text{C.H.}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Grava} = 1291,440 \text{ kg}$$

$$\text{Peso humed. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{\text{C.H.}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Arena} = 296,520 \text{ kg}$$

$$\text{Peso humed. Relave} = \text{Peso Relave} * \left(1 + \frac{\text{C.H.}}{100} \right)$$

$$\text{Peso humed. Relave} = 17,941 \text{ kg}$$

$$\text{P. correg. Agua} = \text{P. Grava} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H.}}{100} \right) + \text{P. Arena} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H.}}{100} \right) + \text{P. Relave} * \left(\frac{\text{Abs.} - \text{C.H.}}{100} \right) + \text{P. Agua}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = 121,031 \text{ kg}$$

18.- Volúmen del Molde

$$\text{Vmolde} = \pi * r^2 * h$$

Donde:

$$r = 3,00 \text{ pulgadas}$$

$$h = 12,00 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Vmolde} = 0,0058600 \text{ m}^3$$

19.- Proporción de Materiales para 9 Probetas

Cemento	15,344	kg
Grava 1/2"	64,624	kg
Arena	14,838	kg
Relave	0,898	kg
Agua	6,056	kg

20.- Proporción de Materiales para 9 Probetas + 5% de desperdicio

Cemento	16,111	kg
Grava 1/2"	67,855	kg
Arena	15,580	kg
Relave	0,943	kg
Agua	6,359	kg

$$\text{Cont. Vacíos} = 20 \%$$

14.- Dosificación en Peso por m3

Cemento (c)	=	306,640	kg
Grava 1/2" (g)	=	1291,440	kg
Arena (ar)	=	296,520	kg
Relave (re)	=	17,941	kg
Agua (a)	=	121,031	kg
Σ	=	2033,572	kg

15.- Dosificación en Volúmen por m3

Cemento (c)	=	0,097	m3
Grava 1/2" (g)	=	0,464	m3
Arena (ar)	=	0,1102	m3
Relave (re)	=	0,0058	m3
Agua (a)	=	0,123	m3
Σ	=	0,800	m3

16.- Dosificación del Concreto Permeable

Cemento	306,640	kg/m3
Grava 1/2"	1291,440	kg/m3
Arena	296,520	kg/m3
Relave	17,941	kg/m3
Agua	121,031	kg/m3

17.- Proporciones en Peso

Cemento	1
Grava 1/2"	4,21
Arena	0,97
Relave	0,06
Agua	0,39

19.- Proporción de Materiales para 1 Probeta

Cemento	1,705	kg
Grava 1/2"	7,180	kg
Arena	1,649	kg
Relave	0,100	kg
Agua	0,673	kg



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
DISEÑO DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
WEPF

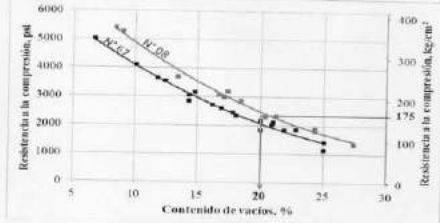
TESIS: " Resistencia de un concreto permeable $f'c=175\text{kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino "

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 3

NORMA: ACI 522R-10

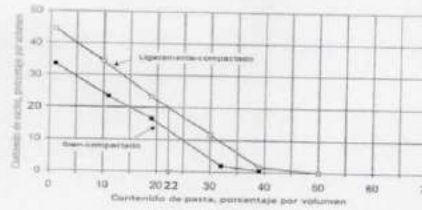
(Con 10% de Arena y 10% de Relave)

1.- Obtención del porcentaje de Vacíos



- Para la resistencia a la compresión especificada requerida, el porcentaje de vacíos teórico es 20% según el gráfico.

2.- Obtención del volumen de la pasta



- Para 20% de Vacíos, el contenido de la pasta es 22% según el gráfico.

3.- Características físicas de los Agregados - Cemento

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2620	1,59	2,70	1670	1560
A. Fino (Relave)	2870	1,94	7,78	1650	1410
A. Grueso 1/2"	2750	1,41	1,21	1470	1360
Cemento	3150				
Agua	1000				

4.- Características físicas del diseño de mezcla

Relación a/c	0,40
Contenido Vacíos	20%
Arena	10%
Relave	10%

5.- Volúmen de Pasta

$$V_p = 0,22$$

$$Y_p = 0,22$$

$$C. \text{ Vacíos} = 0,20$$

$$V_v = 0,42$$

6.- Determinación del Peso y Volumen de la Grava

$$\text{Vol. Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$\text{Vol. Grava} = 0,580 \text{ m}^3$$

$$0,58 = \frac{\text{Grava}}{P_{\text{esp Grava}}}$$

$$\text{Peso Grava} = 1895,000 \text{ kg}$$

7.- Determinación del Peso y Volumen del Cemento.

$$V_p = \frac{C}{3.15 \cdot 1000} + \left(\frac{a}{c}\right) \cdot C$$

$$\text{Peso Cemento} = 306,640 \text{ kg}$$

$$V_c = \frac{C}{P_{\text{esp cemento}}}$$

$$\text{Vol. Cemento} = 0,097 \text{ m}^3$$

8.- Determinación del Peso y Volúmen del Agua

$$a = C \cdot (a/c)$$

$$\text{Peso Agua} = 122,656 \text{ kg}$$

$$V_a = \frac{a}{P_{\text{esp agua}}}$$

$$\text{Vol. Agua} = 0,123 \text{ m}^3$$

9.- Considerando el 20% de Arena, la Grava será el 80%

$$V_{ag} = V_g \cdot 80\%$$

$$\text{Vol. Grava} = 0,464 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Grava} = 1276,000 \text{ kg}$$

$$V_{ag \text{ fino}} = V_g \cdot 20\%$$

$$\text{Vol. Arena} = 0,116 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Arena} = 363,920 \text{ kg}$$

10.- Volúmen total de sólidos.

$$V_s = V_{\text{grava}} + V_{\text{cemento}} + V_{\text{arena}} + V_{\text{relave}} + V_{\text{agua}}$$

$$V_s = 0,800 \text{ m}^3$$

11.- Para confirmar el porcentaje de Vacíos

$$\text{Cont. Vacíos} = (1 - V_s) \cdot 100$$

$$\text{Cont. Vacíos} = 20 \%$$

$$V_{\text{arena}} = V_{\text{arena}} \cdot 90\%$$

$$V_{\text{relave}} = V_{\text{arena}} \cdot 10\%$$



Varena = 0,1044	m ³	Vrelave = 0,0116	m ³
Peso Arena = 273,528	kg	Peso Relave = 33,292	kg

13.- Corrección de la cantidad de Agua del mezclado debido a la Humedad de los Agregados

$$\text{Peso humid. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

$$\text{Peso humid. Grava} = 1291,440 \text{ kg}$$

$$\text{Peso humid. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

$$\text{Peso humid. Arena} = 280,913 \text{ kg}$$

$$\text{Peso humid. Relave} = \text{Peso Relave} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

$$\text{Peso humid. Relave} = 35,882 \text{ kg}$$

$$P. \text{ correg. Agua} = P. \text{ Grava} * \left(\frac{\text{Abs.} - C.H.}{100}\right) + P. \text{ Arena} * \left(\frac{\text{Abs.} - C.H.}{100}\right) + P. \text{ Relave} * \left(\frac{\text{Abs.} - C.H.}{100}\right) + P. \text{ Agua}$$

$$\text{Peso correg. Agua} = 120,228 \text{ kg}$$

18.- Volúmen del Molde

$$V_{\text{molde}} = \pi * r^2 * h$$

Donde:

$$r = 3,00 \text{ pulgadas}$$

$$h = 12,00 \text{ pulgadas}$$

$$V_{\text{molde}} = 0,0055600 \text{ m}^3$$

19.- Proporción de Materiales para 9 Probetas

Cemento	15,344	kg
Grava 1/2"	64,624	kg
Arena	14,057	kg
Relave	1,796	kg
Agua	6,016	kg

14.- Dosificación en Peso por m³

Cemento (c)	=	306,640	kg
Grava 1/2" (g)	=	1291,440	kg
Arena (ar)	=	280,913	kg
Relave (re)	=	35,882	kg
Agua (a)	=	120,228	kg
Σ	=	2035,103	kg

15.- Dosificación en Volúmen por m³

Cemento (c)	=	0,097	m ³
Grava 1/2" (g)	=	0,464	m ³
Arena (ar)	=	0,1044	m ³
Relave (re)	=	0,0116	m ³
Agua (a)	=	0,123	m ³
Σ	=	0,800	m ³

16.- Dosificación del Concreto Permeable

Cemento	306,640	kg/m ³
Grava 1/2"	1291,440	kg/m ³
Arena	280,913	kg/m ³
Relave	35,882	kg/m ³
Agua	120,228	kg/m ³

17.- Proporciones en Peso

Cemento	1
Grava 1/2"	4,21
Arena	0,92
Relave	0,12
Agua	0,39

19.- Proporción de Materiales para 1 Probeta

Cemento	1,705	kg
Grava 1/2"	7,180	kg
Arena	1,562	kg
Relave	0,200	kg
Agua	0,668	kg

20.- Proporción de Materiales para 9 Probetas + 5% de desperdicio

Cemento	16,111	kg
Grava 1/2"	67,855	kg
Arena	14,760	kg
Relave	1,885	kg
Agua	6,317	kg



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



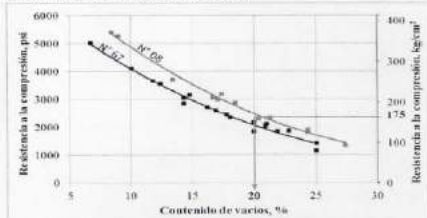
TESIS: " Resistencia de un concreto permeable $f_c=175\text{kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino "

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE N° 4

NORMA: ACI 522R-10

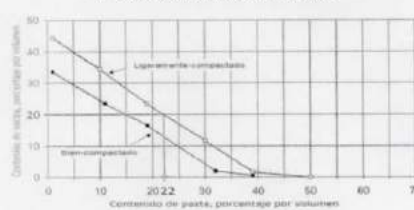
(Con 5% de Arena y 15% de Relave)

1.- Obtención del porcentaje de Vacíos



- Para la resistencia a la compresión especificada requerida, el porcentaje de vacíos teórico es 20% según el gráfico.

2.- Obtención del volumen de la pasta



- Para 20% de Vacíos, el contenido de la pasta es 22% según el gráfico.

3.- Características físicas de los Agregados - Cemento

MATERIALES	P.e.	% Abs.	% C.H.	P.U.C	P.U.S
A. Fino (Arena)	2620	1,59	2,70	1670	1560
A. Fino (Relave)	2870	1,94	7,78	1650	1410
A. Grueso 1/2"	2750	1,41	1,21	1470	1360
Cemento	3150				
Agua	1000				

4.- Características físicas del diseño de mezcla

Relación a/c	0,40
Contenido Vacíos	20%
Arena	5%
Relave	15%

5.- Volumen de Pasta

$$V_p = 0,22$$

$$V_p = 0,22$$

$$C. Vacíos = 0,20$$

$$V_v = 0,42$$

6.- Determinación del Peso y Volumen de la Grava

$$\text{Vol. Grava } (V_g) = 1 - (V_p + V_v)$$

$$\text{Vol. Grava} = 0,580 \text{ m}^3$$

$$0,58 = \frac{\text{Grava}}{P.\text{esp Grava}}$$

$$\text{Peso Grava} = 1595,000 \text{ kg}$$

7.- Determinación del Peso y Volumen del Cemento.

$$V_p = \frac{C}{3.15 \cdot 1000} + \left(\frac{a}{c}\right) \cdot C$$

$$\text{Peso Cemento} = 306,640 \text{ kg}$$

$$V_c = \frac{C}{P.\text{esp cemento}}$$

$$\text{Vol. Cemento} = 0,097 \text{ m}^3$$

8.- Determinación del Peso y Volumen del Agua

$$a = C \cdot (a/c)$$

$$\text{Peso Agua} = 122,656 \text{ kg}$$

$$V_a = \frac{a}{P.\text{esp agua}}$$

$$\text{Vol. Agua} = 0,123 \text{ m}^3$$

9.- Considerando el 20% de Arena, la Grava sera el 80%

$$V_{ag.G} = V_g \cdot 80\%$$

$$V_{ag.fino} = V_g \cdot 20\%$$

10.- Volumen total de solidos.

$$V_s = V_{grava} + V_{cemento} + V_{arena} + V_{relave} + V_{agua}$$

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS DE SUELOS
Luis Humberto de la Cruz
Ing. Eliza Beth Maiza Ambrosio
CIP-146644
JEFE





Vol. Grava = 0,464 m³ Vol. Arena = 0,116 m³
 Peso Grava = 1276,000 kg Peso Arena = 303,920 kg

12.- Considerando 15% de Relave, la Arena será el 85%

Varena = Varena * 85% Vrelave = Varena * 15%
 Varena = 0,0986 m³ Vrelave = 0,0174 m³
 Peso Arena = 258,332 kg Peso Relave = 49,938 kg

13.- Corrección de la cantidad de Agua del mezclado debido a la Humedad de los Agregados

$$\text{Peso humid. Grava} = \text{Peso Grava} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

Peso humid. Grava = 1291,440 kg

$$\text{Peso humid. Arena} = \text{Peso Arena} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

Peso humid. Arena = 265,307 kg

$$\text{Peso humid. Relave} = \text{Peso Relave} * \left(1 + \frac{C.H.}{100}\right)$$

Peso humid. Relave = 53,823 kg

$$P. \text{ correg. Agua} = P. \text{ Grava} * \left(\frac{\text{Abs.} - C.H.}{100}\right) + P. \text{ Arena} * \left(\frac{\text{Abs.} - C.H.}{100}\right) + P. \text{ Relave} * \left(\frac{\text{Abs.} - C.H.}{100}\right) + P. \text{ Agua}$$

Peso correg. Agua = 119,424 kg

18.- Volúmen del Molde

$$V_{\text{molde}} = \pi * r^2 * h$$

Donde:

r = 3,00 pulgadas

h = 12,00 pulgadas

Vmolde = 0,0055600 m³

19.- Proporción de Materiales para 9 Probetas

Cemento	15,344	kg
Grava 1/2"	64,624	kg
Arena	13,276	kg
Relave	2,693	kg
Agua	5,976	kg

20.- Proporción de Materiales para 9 Probetas + 5% de desperdicio

Cemento	16,111	kg
Grava 1/2"	67,855	kg
Arena	13,940	kg
Relave	2,828	kg
Agua	6,275	kg

Vs = 0,800 m³

11.- Para confirmar el porcentaje de Vacíos

$$\text{Cont. Vacíos} = (1 - V_s) * 100$$

Cont. Vacíos = 20 %

14.- Dosificación en Peso por m³

Cemento (c)	306,640	kg
Grava 1/2" (g)	1291,440	kg
Arena (ar)	265,307	kg
Relave (re)	53,823	kg
Agua (a)	119,424	kg
Σ	2036,634	kg

15.- Dosificación en Volumen por m³

Cemento (c)	0,097	m ³
Grava 1/2" (g)	0,464	m ³
Arena (ar)	0,0986	m ³
Relave (re)	0,0174	m ³
Agua (a)	0,123	m ³
Σ	0,800	m ³

16.- Dosificación del Concreto Permeable

Cemento	306,640	kg/m ³
Grava 1/2"	1291,440	kg/m ³
Arena	265,307	kg/m ³
Relave	53,823	kg/m ³
Agua	119,424	kg/m ³

17.- Proporciones en Peso

Cemento	1
Grava 1/2"	4,21
Arena	0,87
Relave	0,18
Agua	0,39

19.- Proporción de Materiales para 1 Probeta

Cemento	1,705	kg
Grava 1/2"	7,180	kg
Arena	1,475	kg
Relave	0,299	kg
Agua	0,664	kg



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 PUNTA - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CENTRO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ESTRUCTURAS
 Ing. Elizabeth Plaza Ambrosio
 C.R.: 116544
 JEFE

Anexo D. Elaboración de probetas, ensayos y resultados.





ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcón Ever
TESIS : "Resistencia de un concreto permeable $f_c = 175$ kg/cm² sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino"
FECHA : 17/04/2019

$f_c = 175$ kg/cm²

Mezcla	Ensayo N°	Descripción	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
N° 1	1	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,25	182,65	18549	101,55	58,03	103,48
	2	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,13	179,79	20260	112,69	64,39	
	3	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,22	181,94	17500	96,19	54,97	
	4	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,20	181,46	27467	151,37	86,50	152,73
	5	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,10	179,08	26226	146,45	83,69	
	6	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,18	180,98	29023	160,37	91,64	
	7	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,22	181,94	31246	171,74	98,14	177,40
	8	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,12	179,55	33136	184,55	105,46	
	9	Patrón (20% Arena)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,25	182,65	32128	175,9	100,51	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcón Ever

TESIS : "Resistencia de un concreto permeable $f_c = 175$ kg/cm² sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino"

FECHA : 17/04/2019

$f_c = 175$ kg/cm²

Mezcla	Ensayo N°	Descripción	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
N° 2	1	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,30	183,85	24990	135,93	77,67	138,21
	2	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,10	179,08	24596	137,35	78,48	
	3	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,25	182,65	25820	141,36	80,78	
	4	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,25	182,65	27441	150,24	85,85	162,24
	5	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,17	180,74	28850	159,62	91,21	
	6	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,23	182,18	32220	176,86	101,06	
	7	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,15	180,27	32744	181,64	103,79	179,46
	8	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,22	181,94	32136	176,63	100,93	
	9	(15% Arena + 5% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,25	182,65	32896	180,10	102,92	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
PIAZA - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MATERIALES DE SUELOS E
LIGEROS DE MAESTRALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320
CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810
Nuevo Chimbote Av. Pacífico y Anchoqueta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826
OFICINA DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcón Ever

TESIS : "Resistencia de un concreto permeable $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino"

FECHA : 17/04/2019

$f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Mezcla	Ensayo N°	Descripción	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
N° 3	1	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,17	180,74	13040	72,15	41,23	68,63
	2	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,1	179,08	12010	67,06	38,32	
	3	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,22	181,94	12130	66,67	38,10	
	4	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	14,95	175,54	11120	63,35	36,20	75,43
	5	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,23	182,18	11980	65,76	37,58	
	6	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,28	183,37	17820	97,18	55,53	
	7	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,11	179,32	17833	99,45	56,83	105,59
	8	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,15	180,27	18743	103,97	59,41	
	9	(10% Arena + 10% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,13	179,79	20380	113,35	64,77	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENGENIERIA DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : Bach. Saavedra Jara, Falcón Ever
TESIS : "Resistencia de un concreto permeable $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino"
FECHA : 17/04/2019

$f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Mezcla	Ensayo N°	Descripción	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (%)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
N° 4	1	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,23	182,18	8380	46,00	26,29	51,14
	2	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,15	180,27	9350	51,87	29,64	
	3	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	14/03/2019	7	15,17	180,74	10040	55,55	31,74	
	4	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,05	177,89	11920	67,01	38,29	68,62
	5	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,10	179,08	11210	62,6	35,77	
	6	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	21/03/2019	14	15,07	178,37	13600	76,25	43,57	
	7	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,11	179,32	15280	85,21	48,69	81,25
	8	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,15	180,27	13620	75,55	43,17	
	9	(5% Arena + 15% Relave)	07/03/2019	05/04/2019	28	15,14	180,03	14940	82,99	47,42	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYOS METALURGICOS
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320
CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483817 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810
Nuevo Chimbote Av. Pacífico y Anchoveta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826
OFICINA DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



ENSAYO A PERMEABILIDAD - 20% ARENA

ACI 522R - 06

SOLICITA BACH. SAAVEDRA JARA FALCON EVER
 TESIS RESITENCIA Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 5%,10% Y 15% DE RELAVE
 POR AGREGADO FINO
 MATERIAL AGREGADO FINO Y RELAVE
 LUGAR HUARAZ - PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH
 FECHA 2/04/2019

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO DE PERMEAB.	EDAD (días)	TIEMPO (seg.)	LONG. DE LA MUESTRA (cm)	AREA DE MUESTR A (cm2)	AREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm2)	ALT. DE LA COLUMN A DE AGUA	h2	k (cm/seg)	k (mm/seg)
M - 1	20% ARENA	27/02/2019	27/03/2019	28	24.7	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.815	28.149
M - 2		27/02/2019	27/03/2019	28	18.8	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.698	36.984
M - 3		27/02/2019	27/03/2019	28	21.5	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	3.234	32.339
PROMEDIO											2.437	32.491

FORMULA

Coficiente de Permeabilidad $k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 LABORATORIO DE M.S. Y M.T.
 CHIMBOTE
 Ing. Jorge Montañez
 JEFE



ENSAYO A PERMEABILIDAD - 15% ARENA + 5% RELAVE

ACI 522R - 06

SOLICITA BACH. SAAVEDRA JARA FALCON EVER
 TESIS RESITENCIA Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 5%,10% Y 15% DE RELAVE
 POR AGREGADO FINO
 MATERIAL AGREGADO FINO Y RELAVE
 LUGAR HUARAZ - PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH
 FECHA 2/04/2019

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO DE PERMEAB.	EDAD (dias)	TIEMPO (seg.)	LONG. DE LA MUESTRA (cm)	AREA DE MUESTR A (cm ²)	AREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm ²)	h1	h2	k (cm/seg)	k (mm/seg)
M - 1	15% ARENA + 5% RELAVE	27/02/2019	27/03/2019	28	29.7	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.341	23.411
M - 2		27/02/2019	27/03/2019	28	28.1	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.474	24.743
M - 3		27/02/2019	27/03/2019	28	34.9	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.992	19.922
PROMEDIO											1.702	22.692

FORMULA

Coefficiente de Permeabilidad $k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 Ing. Jorge Montañez Reyes
 JEFE



ENSAYO A PERMEABILIDAD - 15% ARENA + 5% RELAVE

ACI 522R - 06

SOLICITA BACH. SAAVEDRA JARA FALCON EVER
 TESIS RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 5%,10% Y 15% DE RELAVE
 POR AGREGADO FINO
 MATERIAL AGREGADO FINO Y RELAVE
 LUGAR HUARAZ - PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH
 FECHA 2/04/2019

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO DE PERMEAB.	EDAD (días)	TIEMPO (seg.)	LONG. DE LA MUESTRA (cm)	AREA DE MUESTRA A (cm ²)	AREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm ²)	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA DEL n.r.	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)	COEF. DE PERMEAB. (mm/seg)
M-1	10% ARENA + 10% RELAVE	27/02/2019	27/03/2019	28	99.8	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.747	17.470
M-2		27/02/2019	27/03/2019	28	36.8	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.889	18.894
M-3		27/02/2019	27/03/2019	28	35.2	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.975	19.753
PROMEDIO											1.403	18.705

FORMULA

Coefficiente de Permeabilidad $k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
 Ing. Jorge Montañez
 JEFE



ENSAYO A PERMEABILIDAD - 15% ARENA + 5% RELAVE

ACI 522R - 06

SOLICITA BACH. SAAVEDRA JARA FALCON EVER
 TESIS RESITENCIA Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 5%,10% Y 15% DE RELAVE
 POR AGREGADO FINO
 MATERIAL AGREGADO FINO Y RELAVE
 LUGAR HUARAZ - PROVINCIA DE HUARAZ - ANCASH
 FECHA 2/04/2019

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO DE PERMEAB.	EDAD (días)	t TIEMPO (seg.)	L LONG. DE LA MUESTRA (cm)	A ÁREA DE MUESTRA (cm ²)	a ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm ²)	h1 ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA	h2 ALT. DE LA TUBERÍA DE SALIDA DEL n.r.	k (cm/seg) COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)	k (mm/seg) COEF. DE PERMEAB. (mm/seg)
M - 1	5% ARENA + 15% RELAVE	27/02/2019	27/03/2019	28	45.8	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.518	15.181
M - 2		27/02/2019	27/03/2019	28	48.5	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.434	14.336
M - 3		27/02/2019	27/03/2019	28	52.8	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.317	13.168
PROMEDIO											1.067	14.228

FORMULA

Coefficiente de Permeabilidad

$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Jorge Montañez Rojas
 Ing. Jorge Montañez Rojas

Anexo E. Resultado de FRX del relave.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0423 – 19 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : FALCÓN EVER SAAVEDRA JARA
 - 1.2 D.N.I. : 40537242
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 20 / 03 / 2019
 - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 21 / 03 / 2019
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE RELAVE EN POLVO
 - 4.2 TESIS : "RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 5, 10 Y 15% DE RELAVE POR AGREGADO FINO"
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 25.0°C; Humedad relativa: 61%
7. EQUIPO UTILIZADO : -ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA. SHIMADZU, EDX 800HS.
8. RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)	MÉTODO UTILIZADO
Silicio, Si	28.27	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X
Hierro, Fe	22.12	
Aluminio, Al	14.74	
Calcio, Ca	11.71	
Plomo, Pb	11.02	
Zinc, Zn	6.29	
Manganeso, Mn	2.51	
Potasio, K	1.22	
Arsénico, As	1.10	
Titanio, Ti	0.50	
Cobre, Cu	0.39	
Estroncio, Sr	0.13	



8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (*) %	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de silicio, SiO ₂	26.264	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	18.979	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	18.655	
Óxido de calcio, CaO	15.821	
Óxido de plomo, PbO	15.331	
Óxido de potasio, K ₂ O	3.341	
Óxido de zinc, ZnO	0.821	
Óxido de manganeso, MnO	0.318	
Óxido de arsénico, As ₂ O ₃	0.206	
Óxido de titanio, TiO ₂	0.107	
Óxido de cobre, CuO	0.076	
Óxido de estroncio, SrO	0.071	

(*) Valores de óxidos calculados a partir del análisis elemental.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.



Bach. Natalia Chávez
Analista
LABICER -UNI




M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable de Análisis
Jefa de Laboratorio
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO



Figura 1. Muestra de relave en polvo.

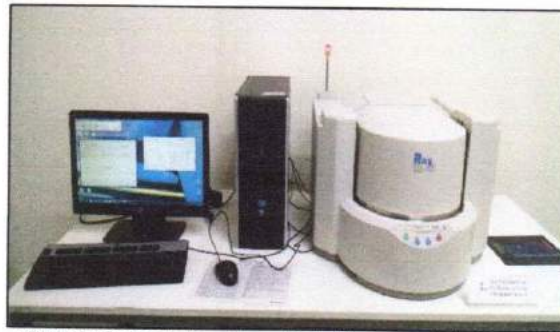


Figura 2. Equipo de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X.



Anexo F. Resultado de pH del relave.



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia Y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 5 %, 10 % y 15 % de Relave por Agregado Fino”

TESISTA : Saavedra Jara Falcón Ever - Tesista

MUESTRA : Relave

LUGAR DE MUESTREO: Mesapata – Catac - Recuay - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 20-03-19

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 21- 03-19

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 21-03-19

Muestra	pH
Relave	6.65

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como ligeramente ácida

Huaraz, 22 de Marzo del 2019.





RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia Y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 5 %, 10 % y 15 % de Relave por Agregado Fino”

TESISTA : Saavedra Jara Falcón Ever - Tesista

MUESTRA : Agregado (arena)

LUGAR DE MUESTREO: Tacllan -Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 20-03-19

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 21- 03-19

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 21-03-19

Muestra	pH
Agregado (arena)	7.89

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como alcalina

Huaraz, 22 de Marzo del 2019.

M.Sc. Guillermo Costo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia Y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 5 %, 10 % y 15 % de Relave por Agregado Fino”

TESISTA : Saavedra Jara Falcón Ever - Tesista

MUESTRA : Agregado + 5 % de relave

LUGAR DE MUESTREO: relave – Mesapata – Catac - Recuay - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 20-03-19

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 21- 03-19

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 21-03-19

Muestra	pH
Agregado + 5 % relave	7.36

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como ligeramente alcalina

Huaraz, 22 de Marzo del 2019.



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia Y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 5 %, 10 % y 15 % de Relave por Agregado Fino”

TESISTA : Saavedra Jara Falcón Ever - Tesista

MUESTRA : Agregado + 10 % de relave

LUGAR DE MUESTREO: relave – Mesapata – Catac - Recuay - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 20-03-19

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 21-03-19

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 21-03-19

Muestra	pH
Agregado + 10 % relave	7.24

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomada por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como neutro

Huaraz, 22 de Marzo del 2019.

Ing. MSc. Guillermo Castillo Romero
HUARAZ, JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia Y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 5 %, 10 % y 15 % de Relave por Agregado Fino”

TESISTA : Saavedra Jara Falcón Ever - Tesista

MUESTRA : Agregado + 15 % de relave

LUGAR DE MUESTREO: relave – Mesapata – Catac - Recuay - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 20-03-19

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 21- 03-19

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 21-03-19

Muestra	pH
Agregado + 15 % relave	7.05

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como neutro

Huaraz, 22 de Marzo del 2019.



[Signature]
Ing. M. Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS

Anexo G. Resultado de Análisis de Varianza (ANOVA)

ANALISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO PERMEABLE

(ANOVA)

Tabla N°35: Resistencias a la compresión de probetas de concreto permeable con un porcentaje de arena sustituido por relave, según días de curado.

Días de curado	Resistencia de probeta con porcentaje de sustitución de arena por relave			
	0%	5%	10%	15%
7	103,48	138,21	68,63	51,14
14	152,73	162,24	75,43	68,62
28	177,40	179,46	105,59	81,25

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

Tabla N°36: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas de concreto permeable.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Sustitución	18604,872	3	6201,624	48,695	,000
Días de curado	4158,339	2	2079,170	16,325	,004
Error	764,146	6	127,358		
Total	23527,357	11			

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

Alfonso Rojas V.
Director

Tabla N°37: Cálculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencias a la compresión de las probetas de concreto es diferente.

Sustitución	Subconjunto para alfa = 0,05	
	1	2
T 15% Sustit.	67,0033	
T 10% Sustit.	83,2167	
T 0% Sustit.		144,5367
T 5% Sustit.		159,9700

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

T 5% de sustitución 159.9700 ----- a
 T 0% de sustitución 144.5367 ----- a
 T 10% de sustitución 83.2167 ----- b
 T 15% de sustitución 67.0033 ----- b

Handwritten signature and text:
 Oscar Robles

