



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA A
OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI. Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: Chauca Bravo Franklin Oscar

Código de alumno: 01.0401.2.aa Teléfono: 967140323

Correo electrónico: curaqa@gmail.com DNI o Extranjería: 41515832

Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico Tesis

Trabajo de suficiencia profesional

Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad Doctor

Licenciado

Magister

Título del trabajo de investigación:

"Determinación de dosificación y propiedades del concreto permeable con propuesta de uso en el Centro Agropecuario Tingua"

Facultad de: CIENCIAS AGRARIAS.

Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AGRÍCOLA.

Asesor:

Apellidos y Nombres: Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro

Correo electrónico: orbe5@hotmail.com

Teléfono: 939185560

DNI o Extranjería: 31664516

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma: *Franklin Oscar Chauca Bravo*

D.N.I.: 41515832

FECHA: 11/09/2

[Empty box]

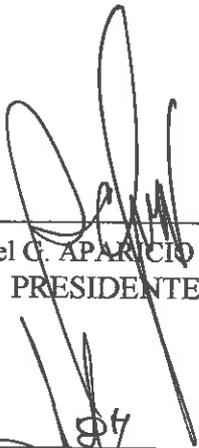
[Empty box]



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la tesis denominada: **"DETERMINACIÓN DE DOSIFICACIÓN Y PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE CON PROPUESTA DE USO EN EL CENTRO AGROPECUARIO TINGUA"**, presentada por la Bachiller en Ingeniería Agrícola **Franklin Oscar CHAUCA BRAVO**, y luego de levantadas las observaciones realizadas por el jurado el día de la sustentación de fecha 20 de Agosto del 2019, por Resolución Decanatural N° 338-2019-UNASAM-FCA, la declaramos CONFORME.

Huaraz, 11 de Setiembre del 2019



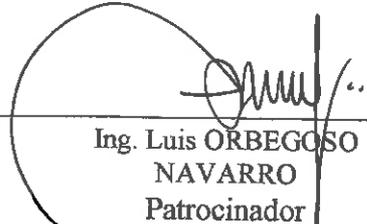
Dr. Fidel C. APARICIO ROQUE
PRESIDENTE



Ing. Eugenio Julián MEJÍA ZUÑIGA
VOCAL



Ing. Francisco ESPINOZA
MANCISIDOR
SECRETARIO



Ing. Luis ORBEGOSO
NAVARRO
Patrocinador



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ingeniería Agrícola **FRANKLIN OSCAR CHAUCA BRAVO**, denominado: "**DETERMINACIÓN DE DOSIFICACIÓN Y PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE CON PROPUESTA DE USO EN EL CENTRO AGROPECUARIO TINGUA**", Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

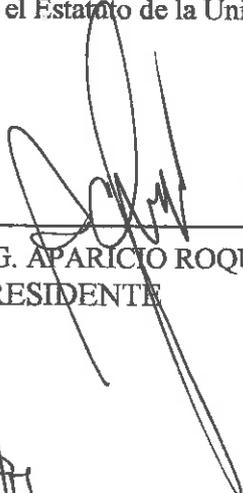
..... *APROBADO*

CON EL CALIFICATIVO (*)

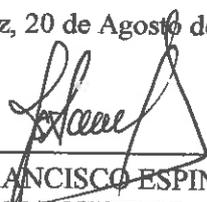
..... *CATORCE (14)*

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO AGRÍCOLA** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 20 de Agosto del 2019



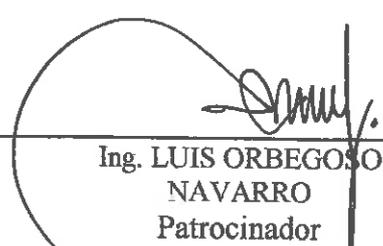
Dr. FIDEL G. APARICIO ROQUE
PRESIDENTE



Ing. FRANCISCO ESPINOZA
MANCISIDOR
SECRETARIO



Ing. EUGENIO JULIÁN MEJÍA
ZUÑIGA
VOCAL



Ing. LUIS ORBEGOSO
NAVARRO
Patrocinador

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis, éstas deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19 - 20)**, **APROBADO CON DISTINCIÓN (17 - 18)**, **APROBADO (14 -16)**, **DESAPROBADO (00 - 13)**.

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“DETERMINACIÓN DE DOSIFICACIÓN Y PROPIEDADES DEL
CONCRETO PERMEABLE CON PROPUESTA DE USO EN EL
CENTRO AGROPECUARIO TINGUA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:
Bach. CHAUCA BRAVO, Franklin Oscar

ASESOR:
Dr. ORBEGOSO NAVARRO, Luis Alberto

HUARAZ –PERÚ

2019

DEDICATORIA

Para mis padres Oscar y Doris y mis hermanos Christian y Paola quienes me apoyaron incansablemente a lo largo de estos años y siempre estarán ahí.

AGRADECIMIENTOS

A mis familiares por darme con su ejemplo motivos para progresar y ser mejor ser humano.

A mi Asesor de tesis el Dr. Luis Orbegoso Navarro por la orientación durante el desarrollo de mi investigación.

A la Universidad por brindarme en sus aulas el conocimiento para ser un profesional de bien.

LISTA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	ii
ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE CONTENIDO	vi
CONTENIDO GENERAL	vii
CONTENIDO DE FIGURAS	viii
CONTENIDO DE TABLAS	ix
CONTENIDO DE FÓRMULAS	x
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii

CONTENIDO GENERAL

I.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
	1.1. Antecedentes	1
	1.2. Formulación del problema	2
	1.3. Enunciado del problema	3
	1.4. Objetivos	3
	1.5. Justificación	3
	1.6. Variables	4
	1.7. Hipótesis	4
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
	2.1. Marco teórico	5
	2.1.1. Definición del concreto:	5
	2.1.2. Concreto permeable	5
	2.1.3. Agregados para concreto permeable	5
	2.1.4. Material cementante para concreto permeable	6
	2.1.5. Aditivos para concreto permeable	6
	2.1.6. Gel	5
	2.1.7. La pasta	5
	2.1.8. Porosidad de la pasta	6
	2.1.9. Poros de aire atrapado	6
	2.1.10. Poros de aire incorporado	6
	2.1.11. Poros capilares	6
	2.1.12. Poros gel	7
	2.1.13. Importancia de la porosidad de la pasta	7
	2.1.14. El agregado	7
	2.1.15. Importancia de la porosidad del agregado	8
	2.1.16. Granulometría	8
	2.1.17. Permeabilidad del cemento	8
	2.1.18. Fraguado	8
	2.1.19. Trabajabilidad	9
	2.1.20. Hidratación y curado del concreto	9

2.1.21. Resistencia a la compresión	9
2.1.22. Diseño experimental	9
2.1.23. Experimentos factoriales	10
2.1.24. Hipótesis estadísticas	10
2.1.25. Homogeneidad	10
2.1.26. Prueba kolmogorov – Smirnov	10
2.1.27. Prueba de Tukey	10
III. MATERIALES Y MÉTODO	12
3.1. Selección y toma de muestras	12
3.2. Diseño de mezcla	12
3.3. Tasa de Infiltración	18
3.4. Prueba de permeabilidad para losa de concreto permeable	20
3.5. Ensayos en estado fresco de concreto permeable	20
3.6. Diseño de experimento	27
3.7. Propuesta de losa	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
4.1. Ensayos realizados al concreto permeable en estado endurecido	33
4.2. Ensayos al concreto permeable en estado fresco.	34
4.3. Análisis de varianza	35
4.4. Construcción de losa de concreto permeable	37
V. CONCLUSIONES	38
5.1. Conclusiones	38
VI. RECOMENDACIONES	41
6.1. Recomendaciones	41
VII. BIBLIOGRAFÍA	42
VIII. ANEXO	44

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre filtración y porcentaje de vacíos	13
Figura 2. Relación entre porcentaje de vacíos y resistencia a la compresión.....	13
Figura 3. Relación entre pasta y porcentaje de vacíos.....	14
Figura 4. Permeámetro de carga variable	19
Figura 5. Curva granulométrica agregado grueso	60
Figura 6. Curva granulométrica G8	61
Figura 7. Interacción entre variables curado y agregado	69
Figura 8. Interacción entre variables curado y vacíos	69
Figura 9. Interacción entre variables agregado y vacíos	70
Figura 10. Interacción entre variables vacíos y agregado	70
Figura 11. Concreto permeable 3/8", 15% y 20% vacíos	71
Figura 12. Concreto permeable G8, 15% y 20% vacíos	71
Figura 13. Concreto permeable 15% vacíos, agregado 3/8" y G8	72
Figura 14. Concreto permeable 15% vacíos, agregado 3/8" y G8	72
Figura 15. Coeficiente de infiltración para diferente tipo de agregado y porcentaje de vacíos	73

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de cantera Anta	12
Tabla 2. Tratamientos para infiltración	28
Tabla 3. Tratamientos para variable resistencia a compresión	30
Tabla 4. Dosificación de concreto permeable	33
Tabla 5. Coeficiente de infiltración	33
Tabla 6. Resistencia a la compresión para 28 días de curado	31
Tabla 7. Peso unitario concreto permeable	35
Tabla 8. Revenimiento de concreto permeable	35
Tabla 9. Prueba de normalidad	36
Tabla 10. Homogeneidad de varianzas de Levene para compresión	37
Tabla 11. Peso unitario mezcla AR3/8 v15.....	52
Tabla 12. Peso unitario mezcla AR3/8 v15.....	52
Tabla 13. Peso unitario mezcla G#8V15	52
Tabla 14. Peso unitario mezcla G#8V20	53
Tabla 15. Revenimiento de concreto permeable	53
Tabla 16. Resistencia a la compresión 28 días	54
Tabla 17. Comparación resistencias a compresión para AR3/8 v15.....	54
Tabla 18. Comparación resistencias a compresión para AR3/8 v20	55
Tabla 19. Comparación resistencias a compresión para G8 v15.....	55
Tabla 20. Comparación resistencias a compresión para G8 v20	56
Tabla 21. Resistencia a la compresión 14 días	56
Tabla 22. Resistencia a la compresión 7 días	57
Tabla 23. Coeficiente de permeabilidad AR3/8V15	57
Tabla 24. Coeficiente de permeabilidad AR3/8V20	58
Tabla 25. Coeficiente de permeabilidad G#8V15	58
Tabla 26. Coeficiente de permeabilidad G#8V20	59
Tabla 27. Granulometría agregado grueso	59
Tabla 28. Granulometría agregado G#8	60
Tabla 29. Peso unitario suelto agregado 3/8”	61
Tabla 30. Peso unitario varillado agregado 3/8”	62
Tabla 31. Peso unitario suelto agregado G#8	62
Tabla 32. Peso unitario varillado agregado G#8	62

Tabla 33. Gravedad específica y absorción agregado 3/8”	63
Tabla 34. Gravedad específica y absorción agregado G#8	63
Tabla 35. Contenido de humedad agregado 3/8”	64
Tabla 36. Contenido de humedad agregado G#8	64
Tabla 37. Desgaste de agregado grueso	65
Tabla 38. Valores de infiltración	65
Tabla 39. Prueba de normalidad	66
Tabla 40. Prueba de homogeneidad	67
Tabla 41. Prueba de Tukey	67
Tabla 42. Prueba normalidad infiltración	68
Tabla 43. Prueba Levene infiltración	68

CONTENIDO DE FÓRMULAS

1. Cantidad de cemento y agua para concreto permeable	14
2. Coeficiente de permeabilidad en probetas	19
3. Coeficiente de permeabilidad en losa	20
4. Peso unitario del concreto permeable	21
5. Porcentaje retenido en tamices	23
6. Peso específico de masa	24
7. Peso de masa saturada con superficie seca	24
8. Peso específico aparente	24
9. Absorción	25
10. Peso unitario de agregado	26
11. Coeficiente de los ángulos	27
12. Modelo bifactorial diseño completamente al azar	28
13. Modelo trifactorial diseño completamente al azar	29

RESUMEN

La presente investigación trata sobre un tipo de concreto con propiedades permeables, capaz de infiltrar agua al subsuelo por la cantidad de vacíos que presenta en su configuración, debido principalmente a la ausencia de agregado fino. El objetivo de este estudio es conocer la dosificación y características físicas en estado fresco y endurecido y tener más información sobre una alternativa ecológica en el tema de concreto.

El método empleado para el diseño de mezcla de concreto permeable es diferente a la utilizada para diseño de concreto convencional, está basada en el contenido de pasta a utilizar a partir de un porcentaje de vacíos inicial.

Los valores de resistencia a la compresión del concreto permeable son relativamente bajos; la mezcla de granulometría variada y 15 por ciento de vacíos llegó a una resistencia a la compresión promedio de 131.018 kg/cm², siendo este el valor más alto. Sin embargo, los coeficientes de infiltración son muy altos siendo el mayor 0.774 cm/s conseguido con la mezcla de granulometría de 3/8" y 20 por ciento de vacíos.

Palabras clave: concreto permeable, coeficiente de infiltración, resistencia a la compresión, dosificación.

Abstratct

The present investigation treats on a type of concrete with permeable properties able to filter water to the subsoil by the amount of empty that presents displays in the configuration due mainly to the absence of fine aggregate. The objective of tyhis study is to know the dosage and physical characteristics in fresh and hardened state and to have more information about an ecological alternative in the subject of concrete.

The method used for the design of permeable concrete mix is different used for convencional concrete design is based on the content of paste to be used from a percentage of initial voids.

The values of resistance to the compression of the permeable concrete are relatively low, the mixture of varied granulometry and with 15 percent of voids reached an average compressive strength of 131.018 kg/cm², this value being the highest. However, the infiltration coefficients are very high, being the highest 0.774 cm/s, obtained with the mixture of 3/8" and 20 percent empty granulometry.

Keywords: concrete permeable, permeable infiltration, coefficient resistance to compression, dosage.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Entre los principales factores que predisponen a las enfermedades al ganado bovino la INTA (2010) menciona que “instalaciones con pisos lisos y deficiencia en el drenaje de aguas residuales” (p. 26).

Como factor para desarrollo de parasitosis la el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (2010) indica que “la formación de charcas alrededor de bebederos o en los establos que favorecen el exceso de humedad” (p.28).

En la investigación “Problemática del Drenaje de aguas Pluviales en zonas Urbanas y del Estudio hidráulico de redes de Colectores”, Dolz y Gómez (1994) indican que la transformación lluvia a escorrentía es alterada como consecuencia del tradicional criterio presente en muchos procesos de urbanización: las aguas pluviales deben ser eliminadas lo más eficaz y rápido posible. Ello conlleva evitar la temporal retención superficial y la infiltración, así como incrementar la velocidad de circulación del agua hacia las partes más bajas de la cuenca. Esta dinámica da como resultado final el que las redes de drenaje de dichas partes bajas se vean sometidas a hidrogramas con mayor volumen (mayor coeficiente de escorrentía), mayor caudal punta y mayor brusquedad (menos tiempo entre el inicio de la lluvia y la presentación del caudal máximo, disminución del tiempo de concentración). (p.56)

Cabello, Campuzano, Espinoza y Sánchez (2015) manifiestan las variables que afectan el comportamiento del hormigón poroso son la granulometría, dosis de cemento, relación agua/cemento, y contenido de vacíos. Tener un tamaño de grano bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos (del orden del 40%) y un tamaño máximo de árido de 10 mm para permitir una adecuada terminación superficial. (p.4)

Cabello et al. (2015) afirma que una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados, perdiendo su capacidad de infiltración, (...). La dosis

de agua tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla, una cantidad insuficiente resultará una mezcla de bajas resistencia y consistencia, cantidad excesiva de agua generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla. (p.5)

Rodas (2012) indica que los vacíos del concreto permeable provocan una disminución en la resistencia a compresión y flexión, por lo que se utilizó material cementante de alta resistencia, presentando resistencias entre los límites establecidos de 28 - 280 kilogramos por centímetro cuadrado para compresión. (p.67)

En la investigación Correlación entre la porosidad y la resistencia del concreto, Díaz (2010) manifiesta que se debe tomar en cuenta obligatoriamente cada vez que se quiera realizar un diseño de mezcla es el porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados, debido a que estos valores nos llevan a aumentar o disminuir los volúmenes de agua en la mezcla, para poder tener una buena dosificación. El porcentaje de absorción tiende a disminuir conforme aumentan los días de curado. (p. 151)

1.2. Formulación del problema

La presente investigación se realiza porque una de las desventajas del concreto convencional es su casi nula capacidad de infiltración, favoreciendo el escurrimiento superficial en zonas con temporadas de precipitaciones.

En nuestro medio existe poco o ningún conocimiento sobre el tema de concreto permeable, sobre el diseño de mezcla o dosificaciones, saber cuáles son las propiedades de este concreto tanto en estado fresco como endurecido (por ejemplo resistencia a la compresión, infiltración, entre otros).

El centro de experimentación Tingua, ubicado en el Distrito del mismo nombre, durante las temporadas de precipitaciones, en las distintas zonas de recreo, reposo y alimentación del ganado vacuno, los animales sufren dificultad de desplazamiento interno y hasta lesiones, debido a que las losas de concreto donde pernotan, son losas impermeables que generan resbalamiento, con empoce de aguas y creando ambientes húmedos que afectan su salud y rendimiento.

1.3. Enunciado del problema

¿Cuáles serán las proporciones correctas de materiales, relación agua – cemento y porcentaje de vacíos que sirva para obtener un concreto permeable y resistente y que sea una alternativa correcta para obtener un piso adecuado para establos de ganado vacuno que se explota en el Centro Agropecuario “Tingua”?

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Determinar las dosificaciones y propiedades del concreto permeable con una propuesta de uso en el centro de experimentación Tingua.

1.4.2. Específicos

- Determinar la dosificación correcta para la elaboración de concreto con mayor buena capacidad de infiltración y resistencia a la compresión adecuada.
- Determinar las características o propiedades del concreto permeable en estado fresco y endurecido.
- Proponer una losa de concreto poroso a construir en el Centro Agropecuario “Tingua”, que permita evaluar el drenaje pluvial y/o las aguas de escorrentía local dentro de sus instalaciones.

1.5. Justificación

En lo Técnico. - La presente tesis se realiza porque no se conoce mucho sobre las propiedades del concreto poroso o permeable en nuestra localidad. Hay muy poca a nula información acerca del diseño de mezclas y de las propiedades mecánicas obtenidas con este material, ya que, según la revisión bibliográfica hecha en forma personal, existe una gama de posibilidades de uso del concreto permeable, como pueden ser: en invernaderos, centros de producción agropecuaria, protección de tuberías de agua, en gaviones, etc.

En lo empresarial y social. - Considerando que el avance tecnológico es muy acelerado, por ejemplo, las empresas prestadoras de servicios (EPS), pueden muy bien utilizar estos materiales en sus lechos o camas de lodos cuando tengan que dar mantenimiento a sus sistemas (plantas de tratamiento de agua potable), o

cuando algún gobierno local tenga necesidad de construir incluso muros de contención dentro de la ciudad y/o la zona rural.

1.6. Variables

1.6.1. Infiltración

Dependientes

- Coeficiente de infiltración.

Independientes

- Porcentaje de vacíos.
- Tipo de agregado grueso.

1.6.2. Resistencia a la compresión

Dependientes

- Resistencia a la compresión.

Independientes

- Porcentaje de vacíos.
- Tipo de agregado grueso.
- Edad de curado del concreto.

1.7. Hipótesis

Es posible aumentar la capacidad permeable en una mezcla de concreto y obtener resistencias a la compresión mecánica aceptables utilizando en el diseño de mezcla dosificaciones con porcentaje de vacíos de 15 y 20 por ciento, con granulometría de un solo tamaño 3/8" y granulometría entre 3/8" a N°4 para las edades de 7, 14 y 28 días.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Definición del concreto:

Rivva (2000), indica que el concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado. La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste. (p.8)

2.1.2. Concreto Permeable

ACI (2006), indica que el término concreto permeable generalmente describe cero slump, material de granulometría abierta que consiste en cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados que permita que el agua atraviese fácilmente. (p.2)

2.1.3. Agregados para concreto permeable

ACI (2006), señala que las graduaciones de agregado usadas en concreto permeable son típicamente cualquier agregado grueso de un solo tamaño o clasificación entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ in. (19 y 9.5 mm). Agregados redondeados y angulados, tanto normal como ligero, se han utilizado para hacer concreto permeable. El agregado utilizado debe cumplir con los requisitos de ASTM D 448 y C 33. Los agregados finos no deberían usarse en mezclas de concreto permeable porque tienden a comprometer la conectividad del sistema de poros. (p.5)

2.1.4. Material cementante para concreto permeable

ACI (2006) manifiesta que el Cemento Portland conforme a ASTM C 150, C 595, o C 1157 se usa como el aglutinante principal. Cenizas volantes,

cemento de escoria y el humo de sílice debe cumplir con los requisitos de ASTM C 618, C 989 y C 1240, respectivamente. (p.5)

2.1.5. Aditivos para concreto permeable

ACI (2006) señala que las mezclas deben cumplir con los requisitos de ASTM C494. Aditivos reductores de agua (gama alta o gama media) se usan dependiendo de la relación agua-cemento. Aditivos retardantes se usan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento especialmente en climas cálidos. (p.5)

2.1.6. Gel

Rivva (2000), manifiesta: “el gel es el material rígido, de resistencia elevada, homogéneo, con un porcentaje de vacíos, conocidos como poros gel, del orden del 25% en volumen”. (p.73)

2.1.7. La pasta:

Rivva (2000) manifiesta: comprende cuatro elementos fundamentales: el gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento, los poros incluidos en ella, el cemento no hidratado, los cristales de óxido de calcio o cal libre, que pueden haberse formado durante la hidratación del cemento. (p.9)

2.1.8. Porosidad de la pasta

Rivva (2000), indica que existen en la pasta cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida, aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua. (p.12)

2.1.9. Poros de aire atrapado

Rivva (2000), señala que durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, del orden del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. (p.13)

2.1.10. Poros de aire incorporado

Rivva (2000), señala que fundamentalmente por razones de incremento de la durabilidad del concreto, por incremento de la protección en la pasta contra los procesos de congelación del agua en el interior de la misma, se puede incorporar en forma intencional, mediante el empleo de aditivos químicos, minúsculas burbujas de aire las cual se conocen como poros de aire incorporado. (p.13)

2.1.11. Poros capilares

Rivva (2000), refiere que se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel. (p.14)

2.1.12. Poros gel

Rivva (2000), señala que durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de éste, totalmente aislados unos de otros, así como del exterior, un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce con el nombre de poros gel. (p.15)

2.1.13. Importancia de la porosidad de la pasta

Rivva (2000), indica que el agua presente en los poros gel está tan firmemente unida que no se evaporará bajo condiciones de secado que eliminarían casi toda el agua de los poros mayores. Esta agua puede ser considerada para efectos prácticos como agua químicamente combinada. En el caso de los poros de aire atrapado, estos tienen tan baja propensión a retener agua que pueden considerarse virtualmente vacíos. Los poros de aire incorporado, no retienen agua ni están interconectados, pudiéndoseles considerar como virtualmente vacíos. El contenido de agua de los poros capilares se incrementa o disminuye por humedecimiento o secado del concreto, siendo el agua más fácilmente removible por secado conforme el capilar aumenta de diámetro. (p.15)

2.1.14. El agregado

Rivva (2000), expresa que se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la norma. (...). Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa por el tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz N° 200. Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. (p.16)

2.1.15. Importancia de la porosidad del agregado

Rivva (2000), refiere que usualmente las rocas que presentan una alta porosidad y poros relativamente grandes, tienen una alta permeabilidad del agua. (...). La porosidad de los agregados naturales generalmente empleados en la preparación de concretos de peso normal, se encuentra usualmente por debajo del 10%. (...). Los pequeños vacíos presentes en el agregado, pueden bajo determinadas circunstancias ser parcial o totalmente llenados de agua. (p.18)

2.1.16. Granulometría

Rivva (2000), define a la granulometría como "la distribución por tamaños de las partículas de agregado" (p.162).

2.1.17. Permeabilidad del cemento

Rivva (2000), indica que la composición por compuestos de un cemento de una fineza dada afecta la permeabilidad de la pasta, para una relación agua-cemento dada a una edad determinada, únicamente en la medida que influye en la velocidad de hidratación (...). Se ha encontrado que los cementos de menor fineza tienden a producir pastas con más alta porosidad que los cementos más finos. (p. 108)

2.1.18. Fraguado

Rivva (2000), expresa que “el tiempo de fraguado es un concepto convencional que se emplea para designar el periodo que necesita una mezcla de cemento y agua para adquirir una dureza previamente fijada” (p.74).

2.1.19. Trabajabilidad

Rivva (2000), define a la trabajabilidad como la facilidad con la cual una cantidad determinada de materiales puede ser mezclada para formar el concreto; y luego este puede ser, para condiciones dadas de obra, manipulado, transportado y colocado con un mínimo trabajo y un máximo de homogeneidad. (p.205)

2.1.20. Hidratación y curado del concreto

Rivva (2000), define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de la presencia de humedad, condiciones favorables de curado y tiempo. Se define como tiempo de curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperaturas tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada. (p.12)

2.1.21. Resistencia a la compresión

Harmsen (2005), manifiesta que este parámetro es obtenido a través del ensayo de un cilindro estándar de 6” (15 cm.) de diámetro y 12” (30 cm.) de altura. El espécimen debe permanecer en el molde 24 horas después del vaciado y posteriormente debe ser curado bajo agua hasta el momento del ensayo. El procedimiento estándar requiere que la probeta tenga 28 días de vida para ser ensayada, sin embargo este periodo puede alterarse si se especifica. (p.22)

2.1.22. Diseño experimental

Padrón (1996) indica que es el procedimiento que se sigue para asignar los tratamientos a las unidades experimentales. Es un método aleatorio, o sea, de asignación al azar, porque se decide el tratamiento que corresponde a cada unidad experimental mediante un sorteo o por medio de una tabla de números aleatorios. (p.19)

2.1.23. Experimentos factoriales

Padrón (1996) expresa que los experimentos factoriales son aquellos que prueban varios niveles de dos o más factores (...). Por lo tanto cuando se presenta un experimento con dos o más factores y se deba analizar como un experimento factorial, existe un arreglo para tratamientos y un diseño experimental para dicho arreglo. (p.22)

2.1.24. Hipótesis estadísticas

Walpole, Myers, y Ye (2012), aseguran que “Una hipótesis estadística es una aseveración o conjetura respecto a una o más poblaciones” (p.319).

Walpole et al. indican que la estructura de la prueba de hipótesis se establece usando el término hipótesis nula, el cual se refiere a cualquier hipótesis que se desea probar y se denota con H_0 . El rechazo de H_0 conduce a la aceptación de una hipótesis alternativa, que se denota con H_1 . (p.320)

2.1.25. Homogeneidad

Triola (2009), señala que “en una prueba de homogeneidad probamos la aseveración de que poblaciones diferentes tienen las mismas proporciones de algunas características” (p.123)

2.1.26. Prueba de Kolmogorov – Smirnov

Romero (2016), expresa que “es una prueba de significación estadística para verificar si los datos de la muestra proceden de una distribución normal. Se emplea para variables cuantitativas continuas”. (p.36)

2.1.27. Prueba de Tukey

Padrón (1996), refiere que “esta prueba se usa para hacer todas las comparaciones múltiples posibles con t tratamientos y es válida cuando las repeticiones están completas” (p.56)

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Selección y toma de muestras (NTP 400.010)

Ubicación de cantera

Cantera Anta

Ubicación política

Lugar: Anta.

Distrito: Anta.

Provincia: Carhuaz.

Departamento: Ancash.

Ubicación geográfica

Tabla 1

Coordenadas de cantera Anta.

Coordenadas UTM (zona 18)		
Norte	Este	Altitud
8961750.5	216240.8	2712 msnm.

elaboración propia.

La selección y toma de muestras representativas de la cantera se realizó según la norma NTP 400.010.

Para la toma de muestras se ha excavado 3 calicatas, cada una con una profundidad de 1.50 m con la finalidad de extraer muestras representativas que fueron usadas para la determinación de porcentaje de humedad, para lo cual se usaron bolsas impermeables de modo que conserve su humedad.

3.2. Diseño de mezcla

Según Comité ACI 211.3 - Guía para Seleccionar Proporciones de Concreto sin Revenimiento

- Materiales

Las graduaciones más comunes de agregado grueso utilizadas en el concreto permeable reúnen los requerimientos de la Norma ASTM C 33 los tamaños de malla de 9.5 a 2.36 mm (Tamaño N° 8), 12.5 a 4.75 mm (Tamaño N° 7), y 19.0 a 4.75 mm (Tamaño N° 67).

- Elección del porcentaje de vacíos

De la figura 1 se escoge el porcentaje de vacíos para los valores de infiltración.

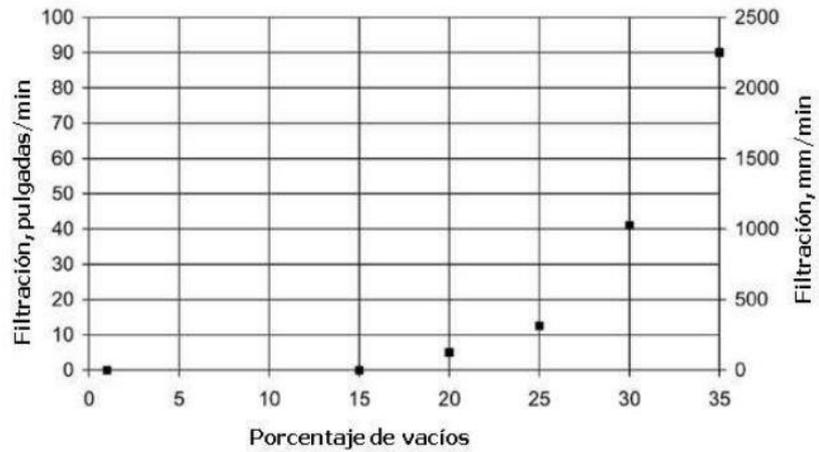


Figura 1. Relación entre filtración y porcentaje de vacíos.

Fuente: Investigación de pavimentos permeables de concreto poroso.

- Verificación de la resistencia a la compresión.

Con los valores de porcentaje de vacíos se ingresa a la figura 2 para obtener el valor de resistencia a la compresión que alcanzarán aproximadamente nuestras probetas de concreto poroso en el ensayo de laboratorio.

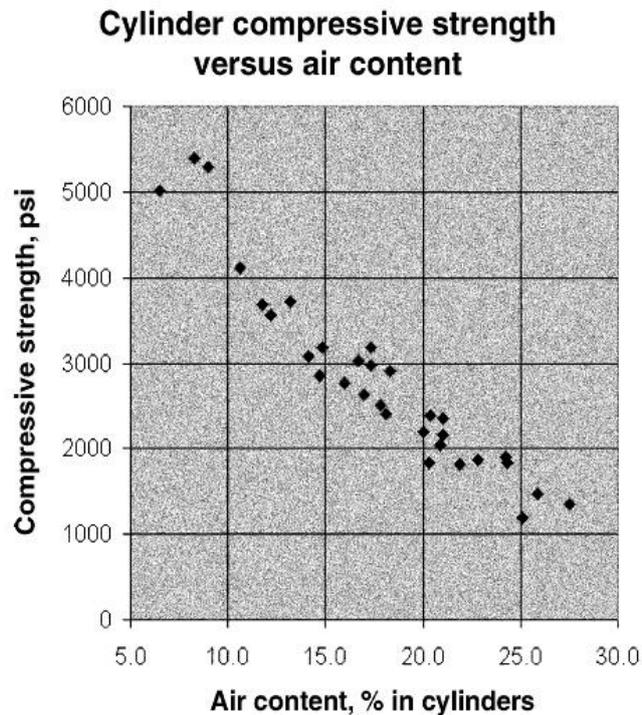


Figura 2. Relación entre porcentaje de vacíos y resistencia a la compresión.

Fuente: ACI 211.3R - 02

- Porcentaje de vacíos

Para asegurar que el agua filtrará a través del concreto permeable, el porcentaje de vacíos deber ser 15% o mayor. El procedimiento de dosificación para el concreto permeable está basado en el volumen de pasta necesaria para ligar las partículas de agregado en conjunto, manteniendo el contenido de vacíos necesario.

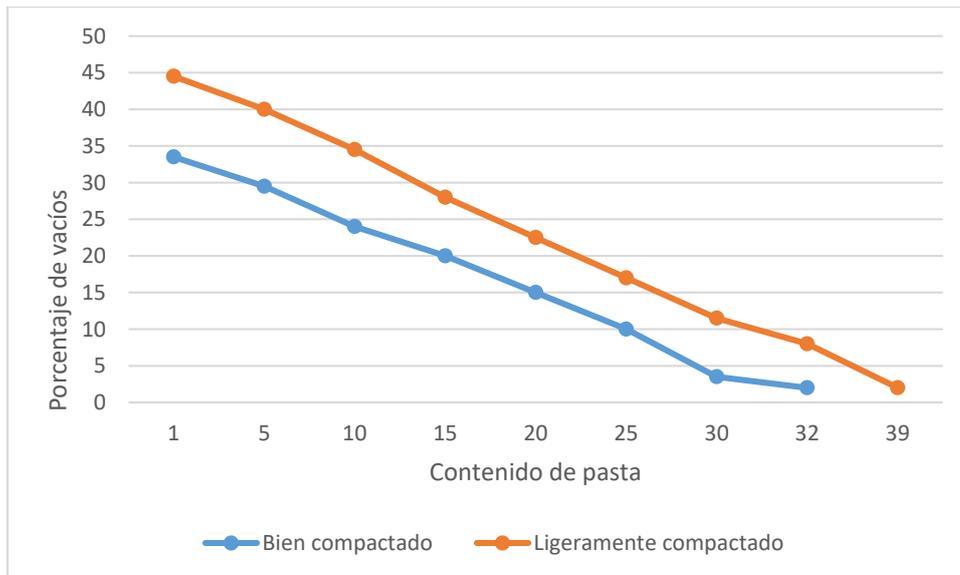


Figura 3. Relación entre pasta y porcentaje de vacíos.

Fuente: Comité ACI 211.3. Apéndice 6.

- Elección de la relación agua-cemento
Según el ACI se puede utilizar una relación a/c entre 0.35 – 0.45.
- Peso y volumen de agua y cemento

Una vez que el volumen de pasta se determina de la figura 1 (usando el valor de porcentaje de vacíos deseado), y se seleccionada la relación agua/material cementante deseada, el cemento y las cantidades de agua puede determinarse a partir de la relación:

Volumen de Pasta (VP) = Volumen de Cemento + Volumen de Agua, o

$$VP = c/3110 + a/1000 \text{ (m}^3\text{)} \dots\dots\dots(1)$$

Donde c es la masa de cemento y a es la masa de agua. Si la relación Agua/Cemento es (a/c), entonces:

$$a = (a/c)c; y$$

$$VP = c/3150 + [(a/c)c/1000] (m^3)$$

Por lo tanto, una vez que el volumen de pasta se determina a partir de figura 1. y se selecciona la a/c, la masa de cemento puede ser calculado.

Se recomienda que los lotes de prueba incluyan dos mezclas adicionales con 30 kg / m³ (50 lb / yd³) más y 30 kg / m³ (50 lb / yd³) menos de cemento. Estas mezclas deberían también incluir los ajustes apropiados en:

Agua para producir el a/m requerido.

Agregado para mantener porcentaje de vacíos.

- Ajuste de la relación a/c

Con los cálculos anteriores y el ensayo de revenimiento del concreto permeable (debe cumplir cero revenimientos) se encontró el nuevo valor de a/c.

- Corrección por humedad y absorción.

Con los datos de humedad y absorción del agregado obtenidos en laboratorio se calculó al aporte de agua a la mezcla por parte del agregado y se encontró el valor del agua efectiva para la mezcla.

- Procedimiento para proporcionamiento de materiales.

Mezcla de concreto permeable con agregado G#8 y 15% de vacíos.

Cemento

Peso específico: 3110 kg/m³

Agregado grueso

Peso específico: 2324 kg/m³.

Peso unitario varillado: 1590.545

Peso unitario suelto: 1525.824

Absorción: 1.476%

Humedad: 1.24%

Agua

Peso específico: 1000 kg/m³.

a/c: 0.37

Porcentaje de vacíos: 15%

Cálculos

a. Cantidad y volumen de cemento

De la figura 1 se observa que corresponde 26.5% de volumen de pasta para 15% de porcentaje de vacíos.

$$0.265 = \frac{W_c}{3110} + \frac{0.37W_c}{1000}$$

$$W_c = 383.201 \text{ kg.}$$

Volumen de cemento

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

b. Cantidad y volumen de agua

$$W_a = 0.37 \times 383.201$$

$$W_a = 141.784 \text{ kg.}$$

Volumen de agua

$$V_a = 0.142 \text{ m}^3$$

c. Cantidad y volumen de agregado grueso

Volumen de agregado grueso

Volúmenes absolutos

$$\text{Agua: } 0.142 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento: } 0.123 \text{ m}^3$$

$$\text{Vacíos: } 0.15 \text{ m}^3$$

Volumen de agregado grueso:

$$V_{ag} = 1 - 0.123 - 0.142 - 0.15$$

$$V_{ag} = 0.585 \text{ m}^3$$

$$W_{ag} = 1359.54 \text{ kg.}$$

d. Corrección por humedad y absorción

Humedad superficial de agregado grueso

$$= 1.240 - 1.476$$

$$= -0.236$$

Aporte de agregado grueso

$$= 1359.54 \times (-0.236/100)$$

$$= -3.209 \text{ lt.}$$

Agua efectiva

$$W_{a'} = 144.993 \text{ lt.}$$

- e. Contenido de cemento corregido

$$W_{c'} = 144.993/0.37$$

$$W_{c'} = 391.872 \text{ kg.}$$

- f. Peso de agregado grueso húmedo

$$W_{agh} = 1359.54 \times 1.0124$$

$$W_{agh} = 1376.398 \text{ kg.}$$

- g. Valores de diseño

$$\text{Cemento: } 383.201 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua: } 141.784 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agrueso } 1359.540 \text{ kg/m}^3$$

- h. Valores corregidos por humedad

$$\text{Cemento: } 391.872 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua: } 144.993 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agrueso } 1376.398 \text{ kg/m}^3$$

- i. Proporción en peso

$$1 : 3.512 : 0.37$$

- j. Peso por tanda de un saco

$$\text{Peso de saco de cemento: } 42.5 \text{ kg.}$$

$$\text{Cemento: } 42.5 \text{ kg/saco.}$$

$$\text{Agua efectiva: } 15.725 \text{ kg/saco.}$$

$$\text{Agrueso } 149.275 \text{ kg/saco.}$$

- k. Proporción en volumen

$$\text{Peso unitario agregado grueso húmedo}$$

$$= 1525.824 \times \left(1 + \frac{1.24}{100}\right)$$

$$= 1544.744 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso por pie}^3$$

$$1\text{m}^3 : 35.31 \text{ pie}^3$$

$$\text{Cemento: } 1.204$$

$$\text{Agrueso: } 43.748$$

- l. dosificación en volumen

cemento: 1
Agrueso: 3.412
agua: 15.725
1 : 3.412 : 15.725 lt/saco.

3.3. Tasa de Infiltración

La permeabilidad del concreto poroso puede ser medida mediante un permeámetro de carga variable como se muestra en la figura 2, elaborado de acuerdo a las recomendaciones del reporte 522 R-06 del ACI, en este enfoque, la muestra de 10x15 cm. es encerrada en una membrana de látex para evitar el agua fluya a los lados de la muestra. Se añade agua al cilindro graduado para llenar la celda de la muestra y el tubo de drenaje. La muestra está supeditada a que el agua drene a través de la tubería hasta que el nivel en el cilindro graduado es el mismo que la parte superior de la tubería de drenaje. Esto reduce al mínimo las bolsas de aire en la muestra y asegura que la muestra está completamente saturada. Con la válvula cerrada, la probeta está llena de agua. La válvula se abre entonces, y se mide el tiempo en segundos “t” necesario para que el agua descienda desde una altura h_1 en la cabeza inicial a un punto final, h_2 .

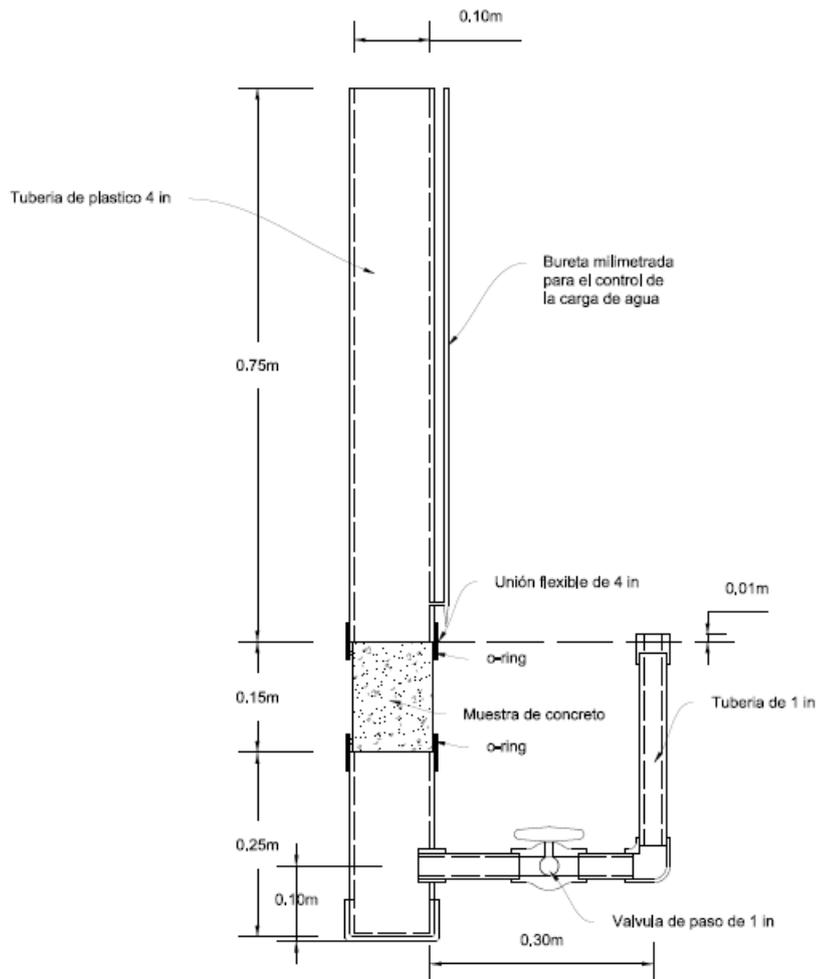


Figura 4. Permeámetro de carga variable

Fuente: Investigación de los pavimentos permeables de concreto poroso

El coeficiente de permeabilidad se calculará mediante la ecuación:

$$K = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

K: coeficiente de infiltración.

L: longitud de muestra.

A: área de muestra.

a: área de tubería de carga.

t: tiempo que demora en pasar (h₁-h₂)

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

h_2 : altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia.

3.4. Prueba de permeabilidad para losa de concreto permeable

Descrito en la norma ASTM C 701 “método estándar para prueba de infiltración en el concreto permeable”

Materiales y equipos

- Anillo de infiltración (diámetro: 12 pulgadas, altura: 2 pulgadas)
- Balanza.
- Agua.
- Cronómetro.
- Sellador.

Procedimiento:

Colocar el anillo y sellar los bordes para evitar fuga de agua fuera del diámetro del anillo. Verter el agua e ir midiendo el volumen que va filtrando.

Cálculos

$$i = KM / D^2t \dots \dots \dots (3)$$

i: tasa de infiltración.

K: constante de permeabilidad (126,870 pulg³xsegundo/libraxhora)

D: diámetro del anillo.

t: tiempo que tarda el agua en infiltrarse.

3.5. Ensayos en estado fresco del concreto permeable

3.5.1. Peso unitario

ASTM C1688

Materiales y equipos.

- Molde cilíndrico metálico
- Martillo de compactación proctor estándar.
- Placa metálica rectangular.
- Balanza.

Procedimiento:

- Humedecer el molde y llenar mezcla de concreto permeable en dos capas de aproximadamente igual profundidad.
- Compactar cada capa aplicando 20 golpes con el martillo proctor dejándolo caer desde una altura de 300 mm.
- Enrazar la superficie con la placa rectangular.

Cálculos

$$PU = (P_{(m+c)} - P_{(m)}) / V_{(m)} \dots \dots \dots (4)$$

PU: peso unitario del concreto poroso.

$P_{(m+c)}$: peso de molde más peso de concreto poroso.

$P_{(m)}$: peso del molde.

$V_{(m)}$: volumen del molde.

3.5.2. Asentamiento (ASTM C143)

Materiales y equipos

- Molde (cono de Abrams), debe ser metálico, de acero cincado de no menos de 1,5 mm de espesor de chapa, de forma de tronco de cono recto abierto en sus extremos, de 20 cm de diámetro de la base inferior, 10 cm de diámetro de la base superior y 30 cm de altura. El molde está provisto de piezas adecuadas para asegurar su perfecto asiento.
- Varilla compactadora de hierro liso, con extremo esférico similar al que posee el martillo próctor.

Procedimiento

- humedecer el molde y colocar al cono sobre una superficie plana no absorbente. Se llena el molde en tres capas, procurando colocar cada una llenando aproximadamente la tercera parte del contenido y manteniéndolo firmemente sobre la base. Al verter cada cucharada de concreto debe girarse la cuchara, asegurando una distribución uniforme a medida que el hormigón se desliza.

- Se golpea 10 veces cada una de las capas de concreto, con la barra de cabeza esférica. Los golpes deben ser distribuidos en todas las capas, aplicados uniformemente. Terminado el relleno y el apisonamiento de la capa superior, se alisa la superficie en forma que el molde quede totalmente lleno.
- Se retira inmediatamente el molde, levantándolo cuidadosamente en forma vertical. La consistencia del concreto se establece por el asentamiento que es determinado por la diferencia entre la altura del molde y la altura del eje de la probeta asentada, y expresada en centímetros. Este procedimiento, suele realizarse colocando el molde a un costado de la muestra y se coloca una varilla sobre el molde, apreciando la diferencia en centímetros del molde y el concreto fresco.

3.6. Ensayos de laboratorio de los materiales

3.6.1. Análisis granulométrico agregado grueso

Basada en las siguientes normas:

Norma ITINTEC 400.012 (análisis granulométrico).

Norma ITINTEC 350.001 (tamices de ensayo).

Aparatos a utilizar

- Balanza sensible al 0.1% de la masa de la muestra, capacidad de 2610 gramos.
- Tamices 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4.
- Estufa.

Procedimiento

- Se tomó una muestra por el método de cuarteo.
- Se lavó la muestra, posteriormente se introdujo al horno para ser secado a 110°C durante 24 horas.
- La muestra se tamizó con la malla N°4, desechando el material pasante.
- La muestra lavada y secada se pesó y se obtuvo el peso lavado seco.
- La muestra lavada y seca se tamizó utilizando las mallas 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4. fue realizado de forma manual con

movimientos horizontales, verticales girando los tamices cada periodo de tiempo, dejando que el material pase libremente sin ser forzado.

- Se pesó el material retenido en cada malla.

Porcentaje retenido en cada tamiz

$$\% \text{ retenido en cada tamiz} = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz}}{\sum \text{peso total retenido}} \times 100 \dots (5)$$

Tamaño máximo nominal del agregado

Según la norma ITINTEC 400.037, el tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa la muestra de agregado grueso.

3.6.2. Ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso

Basado en las siguientes normas:

NTP 400.022: método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.

ASTM C 702: Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size.

ASTM D 448: Classification for sizes aggregate for road and bridge construction.

Aparatos a utilizar

- Balanza sensible a 0.5 gr. con capacidad de 5000 gramos o más, equipada con dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- Cesta con malla de alambre.
- Depósito de agua.
- Tamices.
- Estufa.

Procedimiento:

- La muestra previamente seleccionada por el método de cuarteo y tamizada usando la malla N°4 se introdujo al horno durante 24 horas a 110°C para el secado.
- Se sumergió la muestra en un recipiente con agua durante 24 horas, luego de transcurrido este periodo, se secó superficialmente el agregado utilizando solamente una franela.
- Se pesó la muestra obteniendo así el peso en estado saturado superficialmente seco.
- Después del pesado, se coloca la muestra saturada con superficie seca en la cesta con alambre y se determina su peso en agua.
- Se secó la muestra en horno y se dejó enfriar a temperatura de ambiente durante 3h.

Cálculos

Peso específico de masa

$$P_{em} = \frac{A}{(B-C)} \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

A = peso de la muestra seca en el aire (gr.)

B = peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gr.)

C = peso en el agua de la muestra saturada.

Peso de masa saturada con superficie seca

$$P_{ess} = \frac{B}{(B-C)} \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

Peso específico aparente

$$P_{ea} = \frac{A}{(A-C)} \times 100 \dots \dots \dots (8)$$

Absorción

$$Ab(\%) = \frac{B-A}{A} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

3.6.3. Ensayo normalizado de peso unitario y volumen de vacíos para agregado

Basado en las siguientes normas:

NTP 400.017: método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado, agregado fino, agregado grueso, hormigón.

Aparatos utilizados

- Balanza con aproximación de 0.005 kg. que permita leer con una exactitud de 0.1% del peso de la muestra.
- Barra compactadora recta de acero liso de 16 mm. de diámetro y aproximadamente 60cm. de longitud y terminada en punta semiesférica.
- Recipiente cilíndrico metálico.
- Regla de acero.

Procedimiento:

- Se tomó aproximadamente 25 kg. de la muestra de agregado.
- Se llenó la tercera parte del recipiente de medida, vaciando el agregado desde una altura menor a 50 mm. y se niveló la superficie con la mano, se apisona con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente.
- Se llenó las 2/3 partes de la medida y se volvió a compactar de la misma forma. Se llenó el recipiente hasta rebosar y se repitió el proceso de compactación enrazando el material con la barra compactadora.
- Durante el proceso de compactación se procuró que la barra no golpee el fondo con fuerza, para las dos últimas capas se trató que en la compactación barra no penetre la capa subyacente.
- Se pesó el recipiente de medida más su contenido, así como el recipiente vacío y se registraron los datos.

Cálculos

Peso unitario

$$M = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

M = peso unitario del agregado (kg/m³).

G = peso del recipiente de medida más el agregado (kg.).

T = peso del recipiente de medida (kg.)

V = volumen de la medida (m³).

3.6.4. Ensayo normalizado de resistencia al desgaste

Basado en la norma:

NTP 400.019: método de ensayo para la determinación de la resistencia al desgaste en agregados grueso de tamaño pequeño por medio de la máquina de los ángeles.

Aparatos utilizados

- Máquina de los Ángeles.
- Esferas de acero de aproximadamente 17/8” de diámetro con un peso entre 390 gr. y 445 gr. para la carga abrasiva.
- Balanza.
- Estufa.
- Tamices: 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”.

Procedimiento:

- Lavada la muestra se introdujo al horno a temperatura de 110°C.
- Se tamizó una muestra de 5 kg. a través de las mallas: 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”.
- Se introdujo en el tambor de la máquina la carga abrasiva de 11 esferas (4584±25 gr.) y luego se colocó la muestra de agregado. Con

la cubierta colocada se hace girar ña máquina 500 vueltas a velocidad constante entre 31 rpm. y 33 rpm.

- Luego se vertió el árido sobre la bandeja ubicada debajo de la máquina evitando pérdida de material, se limpió el tambor extrayendo todos los finos.
- Se lavó y tamizó la muestra extraída a través de la malla de 1.6 mm, se pesó el árido.

Cálculos

Coeficiente de los ángeles

$$D(\%) = \frac{W_o - W}{W_o} \times 100 \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

D = porcentaje de desgaste.

W_o = peso de la muestra lavada y secada al horno.

W = peso de la muestra lavada después de la abrasión.

3.7. Diseño de experimento

Se realizarán dos diseños experimentales, para medir los efectos sobre las variables dependientes de infiltración y resistencia a la compresión utilizando el software IBM SPSS Statistics 22.

La variable dependiente resistencia a la compresión consta de tres variables independientes o tratamientos que son: porcentaje de vacíos, el tipo de agregado grueso empleado y las edades de curado del concreto, se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento, resultando un total de cuarenta y ocho unidades en el experimento.

La variable dependiente infiltración consta de 2 variables independientes: tipo de agregado grueso usado y el porcentaje de vacíos, cada tratamiento tiene dos niveles y cuatro repeticiones, el total de unidades experimentales es de 16.

3.7.1. Infiltración

- Variable dependiente:
 - Coeficiente de infiltración

- Variables independientes:
 - Tipo de agregado: agregado grueso de tamaño 3/8", agregado con tamaño retenido entre tamices 3/8" y N°8.
 - Porcentaje de vacíos: 15%, 20%.

Experimento bifactorial con diseño completamente al azar.

Modelo matemático.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk} \dots \dots \dots (12)$$

Donde:

Y_{ijk} = es el k-ésimo elemento perteneciente al j-ésimo nivel del factor B y al i-ésimo tratamiento del nivel del factor A.

μ = es la media general.

A_i = es el efecto debido al i-ésimo nivel del factor A.

B_j = es el efecto debido al j-ésimo nivel del factor B.

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel del factor B y el i-ésimo del factor A.

Tabla 2

Tratamientos para infiltración.

Diseño de mezcla	Mediciones			
	1	2	3	4
AR3/8V15				
AR3/8 V20				
G#8 V15				
G#8 V20				

Elaboración propia.

AR3/8V15: mezcla con agregado de 3/8" y 15% de vacíos

AR3/8V20: mezcla con agregado de 3/8" y 20% de vacíos

G#8V15: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8 y 15% de vacíos

G#8V20: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8 y 20% de vacíos

Hipótesis:

H₀₁: No existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento tipo de agregado.

H_{A1}: Existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento tipo de agregado.

H₀₂: No existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento porcentaje de vacíos.

H_{A2}: Existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento porcentaje de vacíos.

H₀₃: No existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-porcentaje de vacíos.

H_{A3}: Existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-porcentaje de vacíos.

3.7.2. Resistencia a la compresión

- Variable dependiente
 - Resistencia a la compresión
- Variable independiente
 - Tipo de agregado: agregado redondeado de 3/8", agregado con granulometría G#8.
 - Porcentaje de vacíos: 15%, 20%.
 - Edad de curado del concreto: 7, 14, 28 días.
 - Modelo trifactorial con diseño completamente al azar

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + E_{ijkl} \dots (13)$$

Y_{ijkl} = es la observación l, en el nivel i del factor A, nivel j del factor B, nivel k del factor C

μ = es la media general.

A_i es el efecto del nivel i del factor A.

B_j es el efecto del nivel j del factor B.

C_k es el efecto del nivel k del factor C.

$(AB)_{ij}$ es el efecto de la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B.

$(AC)_{ik}$ es el efecto de la interacción del nivel i del factor A y el nivel k del factor C.

$(BC)_{jk}$ es el efecto de la interacción del nivel j del factor B y el nivel k del factor C.

$(ABC)_{ijk}$ es el efecto de la interacción del nivel i del factor A, el nivel j del factor B y el nivel k del factor C.

E_{ijkl} es el error experimental.

Tabla 3

tratamientos para variable resistencia a compresión.

Tratamientos	réplicas			
	1	2	3	4
E1 AR3/8 V15				
E1 AR3/8 V20				
E1 G#8 V15				
E1 G#8 V20				
E2 AR3/8 V15				
E2 AR3/8 V20				
E2 G#8 V15				
E2 G#8 V20				
E3 AR3/8 V15				
E3 AR3/8 V20				
E3 G#8 V15				
E3 G#8 V20				

Elaboración propia.

E1AR3/8V15: mezcla con agregado de 3/8", 15% de vacíos y edad de curado de 7 días.

E2AR3/8V15: mezcla con agregado de 3/8", 15% de vacíos y edad de curado de 14 días.

E3AR3/8V15: mezcla con agregado de 3/8", 15% de vacíos y edad de curado de 28 días.

E1AR3/8V20: mezcla con agregado de 3/8", 20% de vacíos y edad de curado de 7 días.

E2AR3/8V20: mezcla con agregado de 3/8" y 20% de vacíos vacíos y edad de curado de 14 días.

E3AR3/8V20: mezcla con agregado de 3/8", 20% de vacío y edad de curado de 28 días.

E1G#8V15: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8, 15% de vacíos y edad de curado de 7 días.

E2G#8V15: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8, 15% de vacíos y edad de curado de 14 días.

E3G#8V15: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8, 15% de vacíos y edad de curado de 28 días.

E1G#8V20: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8, 20% de vacíos y edad de curado de 7 días.

E2G#8V20: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8, 20% de vacíos y edad de curado de 14 días.

E3G#8V20: mezcla con granulometría de 3/8" a N°8, 20% de vacíos y edad de curado de 28 días.

Hipótesis:

H₀₁: No existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento tipo de agregado.

H_{A1}: Existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento tipo de agregado.

H₀₂: No existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento porcentaje de vacíos.

H_{A2}: Existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento porcentaje de vacíos.

H₀₃: No existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento edad de curado.

H_{A3}: Existen diferencias significativas entre los niveles del tratamiento edad de curado.

H₀₄: No existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-porcentaje de vacíos.

H_{A4}: Existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-porcentaje de vacíos.

H₀₅: No existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-curado.

H_{A5}: Existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-curado.

H₀₆: No existen diferencias significativas entre la interacción de las variables porcentaje de vacíos-curado.

H_{A6}: Existen diferencias significativas entre la interacción de las variables porcentaje de vacíos-curado.

H₀₇: No existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-porcentaje de vacíos-curado.

H_{A7}: Existen diferencias significativas entre la interacción de las variables agregado-porcentaje de vacíos-curado.

3.8. Propuesta de losa

Con la finalidad de comprobar las características del concreto permeable en campo y para buscar una solución al problema de resbalamiento en el establo, se construyó una losa de concreto permeable con agregado grueso tamaño 3/8" y 15% de vacíos para obtener una superficie más rugosa que permita mejor adherencia en el piso del establo del Centro de experimentación de la UNASAM ubicado en Tingua. Se realizó la compactación mediante rodillo que según recomendación del ACI debe proporcionar aproximadamente una fuerza de 0.07 Mpa. de fuerza vertical, generando fuerte unión entre la pasta de cemento y las partículas del agregado.

Se evaluó la tasa de infiltración y las características de la superficie.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Ensayos del concreto permeable en estado endurecido.

4.1.1. Dosificación de mezclas de concreto permeable

Tabla 4

Dosificación de concreto permeable.

Diseño de mezcla	Dosificación en peso	Dosificación en volumen
3/8" V15%	1 : 3.991 : 0.36	1 : 3.761 : 15.3 lt/saco
3/8" V20%	1 : 5.055 : 0.38	1 : 4.764 : 16.15 lt/saco
G#8 V15%	1 : 3.512: 0.37	1 : 3.412 :15.725lt/saco
G#8 V20%	1 : 4.434 : 0.39	1: 4.308 : 16.575lt/saco

Elaboración propia.

4.1.2. Ensayo de infiltración (28 días de curado)

Tabla 5

Coefficiente de infiltración.

Diseño	Coefficiente de infiltración promedio k (cm/s)
3/8" V15%	0.546
3/8" V20%	0.774
G#8 V15%	0.495
G#8 V20%	0.591

Elaboración propia

Discusión

Según el ACI para considerar al concreto como permeable, este debe tener un coeficiente de infiltración mínimo de 0.20 cm/s; de acuerdo a los resultados obtenidos, los cuatro diseños de mezcla cumplen la condición. El diseño de mezcla con agregado grueso de 3/8" y 20% de vacíos es el más permeable. La granulometría del agregado afecta la porosidad del concreto, para un mismo valor del porcentaje de vacíos el agregado uniforme de 3/8" obtiene mayores valores de infiltración que el agregado

G#8, lo cual coincide con la investigación de Cabello, Espinoza y Sánchez citada en los antecedentes.

4.1.3. Ensayo de resistencia a la compresión

- Edad de curado: 28 días.

Tabla 6

Resistencia a la compresión para 28 días de curado.

Diseño de mezcla	Resistencia promedio (f'c)
3/8" V15%	131.018
3/8" V20%	57.469
G#8 V15%	155.159
G#8 V20%	69.618

Elaboración propia

Discusión: El ACI en el reporte 522 R indica que el rango de resistencia a la compresión del concreto permeable está entre 28 – 285 kg/cm², como se observa los cuatro diseños de mezcla se encuentran dentro del rango, la mezcla con granulometría G#8 y porcentaje de vacíos 15% alcanzó el mayor valor. El tipo de falla que se presentó luego del ensayo de compresión fue del tipo cónica y se produjo en la interacción agregado – pasta. Según la investigación de Barahona citada en los antecedentes, la resistencia del concreto permeable es ideal para superficies de baja intensidad de carga, ello se verificó y confirmó en la presente investigación.

Además, en la investigación de Rodas se indica que los vacíos del concreto permeable provocan una disminución en la resistencia a compresión, para nuestra investigación las mezclas con 20% de vacíos dan resistencias menores, confirmando los resultados de la investigación de dicho autor.

4.2. Ensayos realizados al concreto permeable en estado fresco.

4.2.1. Peso Unitario fresco del concreto poroso

Tabla 7

Peso unitario concreto permeable.

Diseño de mezcla	Peso unitario (kg/m ³)
3/8" V15%	2024.454
3/8" V20%	1947.992
G#8 V15%	2007.084
G#8 V20%	1890.944

Elaboración propia.

Discusión: el peso unitario del concreto permeable se encuentra por debajo del valor del concreto convencional, la mezcla con agregado de 3/8" y 15% de vacíos obtuvo el más alto valor, siendo aproximadamente el 80% del valor del peso unitario del concreto normal.

4.2.2. Ensayo de revenimiento

Tabla 8

Revenimiento del concreto permeable.

Mezcla	Revenimiento (cm)
AR3/8 V15	0
AR3/8 V20	0
G#8 V15	0
G#8 V20	0

Elaboración propia.

Discusión: las cuatro mezclas de concreto permeable cumplen el requisito de cero revenimiento que se indica el ACI, teniendo una consistencia seca y poca trabajabilidad.

4.3. Análisis de varianza

- Resistencia a la compresión

Tabla 9

Análisis de varianza

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	cuadrático promedio	F	Sig.
Agregado	3446.071	1	3446.071	1268.3368	0.000
Vacíos	49455.314	1	49455.314	18202.177	0.000
Curado	14937.505	2	7468.752	2748.8966	0.000
Agregado*vacíos	443.694	1	443.694	163.30291	0.000
Agregado*curado	449.524	2	224.762	82.724328	0.000
Vacíos*curado	3187.796	2	1593.898	586.63894	0.000
Agregado*vacíos*curado	14.357	2	7.179	2.642	0.085
Error	97.829	36	2.717		
Total	418700.183	48			
Total corregido	72032.09	47			

Elaboración propia.

Discusión: el nivel de significancia es mayor que 0.05 para las variables agregado, porcentaje de vacíos, tiempo de curado, también para las interacciones agregado-porcentaje de vacíos, agregado-tiempo de curado, vacíos-tiempo de curado, por tanto, se rechaza las siguientes hipótesis nulas: H₀₁, H₀₂, H₀₃, H₀₄, H₀₅, H₀₆, es decir, existe diferencia significativa entre los niveles de las variables mencionadas y hay influencia sobre la variable dependiente resistencia a la compresión.

Se acepta la hipótesis nula para el caso de la interacción entre las 3 variables independientes, es decir, no existe diferencia significativa.

- Infiltración

Tabla 10

Análisis de varianza para infiltración

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	cuadrático promedio	F	Sig.
Agregado	0.055	1	0.055	1606.049	0.000
Vacíos	0.105	1	0.105	3054.69	0.000
Agregado*vacíos	0.017	1	0.017	495.02	0.000
Error	0	12	0.00003431		
Total	5.968	16			
Total corregido	0.178	15			

Elaboración propia.

Discusión: el nivel de significancia para las variables agregado y vacíos y para la interacción entre ambas es mayor que 0.05, por tanto, rechazamos las hipótesis nulas H_{01} , H_{02} , H_{03} , es decir, existe diferencias significativas de estas variables independientes e influyen sobre la variable dependiente infiltración.

4.4. Construcción de losa de concreto permeable

En coordinación con el jefe responsable del centro de experimentación de Tingua (ingeniero Francisco Espinoza Montesinos) se procedió a seleccionar un área cercana a la zona de reposo del alojamiento de ganado vacuno y se construyó una losa de concreto permeable de 1.00 x 1.80 m. en el centro de experimentación de Tingua para medir la tasa de infiltración utilizando un anillo metálico con 12 pulg. de diámetro y 2 pulg. de altura y también para observar las características de la superficie. Se utilizó agregado redondeado de 3/8" y porcentaje de vacíos 20%, la dosificación en peso es 1 : 5.055 : 0.38.

Tasa de infiltración: 884.712 pulg/hr.

Discusión: debido a la utilización de agregado grueso de un solo tamaño (3/8"), la losa presenta superficie rugosa lo cual evita el resbalamiento, esto, debido a la ausencia de agregado fino en el concreto, además el coeficiente de infiltración brinda buen drenaje, eliminando la humedad.

V. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

- Dosificaciones para concreto permeable.
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 15% de vacíos:
Proporción en peso 1 : 3.991 : 0.36
Dosificación en volumen: 1 : 3.761 : 15.3 lt/saco
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos:
Proporción en peso 1 : 5.055 : 0.38
Dosificación en volumen: 1 : 4.764 : 16.15 lt/saco
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 15% de vacíos:
Proporción en peso 1 : 3.512: 0.37
Dosificación en volumen: 1 : 3.412 :15.725lt/saco
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 20% de vacíos:
Proporción en peso 1 : 4.434 : 0.39
Dosificación en volumen: 1: 4.308 : 16.575lt/saco
- Resistencia a la compresión
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 15% de vacíos:
Resistencia a la compresión promedio: 131.02 kg/cm²
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos:
Resistencia a la compresión promedio: 57.47 kg/cm²
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 15% de vacíos:
Resistencia a la compresión promedio: 155.16 kg/cm²
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 20% de vacíos:
Resistencia a la compresión promedio: 69.62 kg/cm²

- Coeficiente de infiltración
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 15% de vacíos:
Coeficiente de infiltración promedio: 0.546 cm/s
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos:
Coeficiente de infiltración promedio: 0.774 cm/s
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 15% de vacíos:
Coeficiente de infiltración promedio: 0.495 cm/s
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 20% de vacíos:
Coeficiente de infiltración promedio: 0.591 cm/s

- El diseño de mezcla más adecuado para el piso de la zona de reposo del alojamiento de vacunos es el concreto permeable con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos, ya que presenta una superficie más rugosa, un buen drenaje y suficiente capacidad de carga.

- Propiedades del concreto permeable en estado fresco
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 15% de vacíos:
Peso unitario: 2024.454 kg/m³
 - Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos:
Peso unitario: 1947.992 kg/m³
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 15% de vacíos:
Peso unitario: 2007.084 kg/m³
 - Mezcla con agregado de granulometría G#8 y 20% de vacíos:
Peso unitario: 1890.944 kg/m³

- Las tasas de infiltración más alta es 0.774 cm/s, se da en el concreto con 20% de vacíos y con agregado redondeado de 3/8".

El concreto permeable con porcentaje de vacíos de 15% y granulometría G#8 presenta mejor resistencia a la compresión llegando a 155.16 kg/cm².

El concreto permeable con agregado G#8 y 15% de vacíos tiene más alta resistencia a la compresión, pero menor coeficiente de infiltración. El diseño con agregado 3/8" y 20% de vacíos obtiene la menor resistencia a la compresión, pero alto coeficiente de infiltración, existe entonces una relación inversa entre estos dos factores, es decir un incremento del porcentaje de vacíos produce una reducción de la resistencia a la compresión.

Todos los diseños de mezcla de concreto permeable presentan un peso unitario menor al peso unitario del concreto convencional, esto debido al volumen de vacíos que presenta el concreto permeable.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar diseños de concreto permeable incorporando pequeños porcentajes de agregado fino, siguiendo las recomendaciones del ACI, para ver los efectos en las características de este concreto, sobre todo en el parámetro resistencia a la compresión.
- Utilizar aditivos en el diseño de mezcla, para la resistencia a la compresión usar aditivos minerales como puzolanas o cenizas volantes y para modificar el tiempo de fraguado experimentar con aditivos retardadores.

VII. BIBLIOGRAFÍA

7.1. Referencias Bibliográficas

- ACI Committe 211. (2002). *Guide for selecting proportions for no-Slump concrete*. Recuperado de <https://www.concrete.org/>
- ACI Committe 522. 2006. *Pervious concrete*. Recuperado de <https://www.concrete.org/>
- Cabello S., Campuzano L., Espinoza J. y Sánchez C. (2015). Concreto Poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. *Cumbres*. 67-68.
- Calderón, Y. y Charca, J. (2013). *Análisis y diseño de pavimentos permeables de concreto poroso*. (Tesis de grado de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Díaz, M. (2010). *Correlación entre porcentaje de vacíos y resistencia del concreto*. (Tesis de grado de Ingeniero Civil). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Dolz, J. y Gómez M. (1994). *Problemática del drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas y del estudio hidráulico de las redes de colectores*.
- Harmsen T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Perú: editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2010). *Manejo sanitario eficiente del ganado bovino: principales enfermedades*. Recuperado de <http://www.fao.org/>
- Padrón E. (1996). *Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y ganadería*. México: Trillas.
- Rodas, N. (2012). *Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos ecológicos*. (Tesis de grado de Ingeniera Civil). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Perú: ACI Perú.
- Romero M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste de una distribución normal. *Revista enfermería del trabajo*. 36
- Torres, L. (2010). *Tecnología de concreto permeable o ecológico en la construcción*. (Tesis de grado Especialista en Construcción). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Triola, M. (2009). *Estadística*. México: Pearson Education.
- Walpole R., Myers R., Ye K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Pearson educación.

VIII. ANEXO

8.1. Diseño de mezcla

Mezcla de concreto permeable con agregado redondeado de 3/8" y 15% de vacíos.

Cemento

Peso específico: 3110 kg/m³

Agregado grueso

Peso específico: 2644 kg/m³.

Peso unitario varillado: 1620.823

Peso unitario suelto: 1573.516

Absorción: 1.278%

Humedad: 1.2%

Agua

Peso específico: 1000 kg/m³.

a/c: 0.36

Porcentaje de vacíos: 15%

Cálculos

a. Cantidad y volumen de cemento

De la figura 1 se observa que corresponde 26.5% de volumen de pasta para 15% de porcentaje de vacíos.

$$0.265 = \frac{W_c}{3110} + \frac{0.36W_c}{1000}$$

$$W_c = 388.823 \text{ kg.}$$

Volumen de cemento

$$V_c = 0.125 \text{ m}^3$$

b. Cantidad y volumen de agua

$$W_a = 0.36 \times 388.823$$

$$W_a = 139.976 \text{ kg.}$$

Volumen de agua

$$V_a = 0.140 \text{ m}^3$$

c. Cantidad y volumen de agregado grueso

Volumen de agregado grueso

Volúmenes absolutos

Agua: 0.140 m³

Cemento: 0.125 m³

Vacíos: 0.15 m³

Volumen de agregado grueso:

$$V_{ag} = 1 - 0.140 - 0.125 - 0.15$$

$$V_{ag} = 0.585 \text{ m}^3$$

$$W_{ag} = 1546.74 \text{ kg.}$$

d. Corrección por humedad y absorción

Humedad superficial de agregado grueso

$$= 1.20 - 1.278$$

$$= -0.078$$

Aporte de agregado grueso

$$= 1546.74 \times (-0.078/100)$$

$$= -1.206 \text{ lt.}$$

Agua efectiva

$$W_{a'} = 141.183 \text{ lt.}$$

e. Contenido de cemento corregido

$$W_{c'} = 141.121/0.36$$

$$W_{c'} = 392.175 \text{ kg.}$$

f. Peso de agregado grueso húmedo

$$W_{agh} = 1546.74 \times 1.0124$$

$$W_{agh} = 1565.301 \text{ kg.}$$

g. Valores de diseño

Cemento: 388.823 kg/m³

Agua 139.976 lt/m³

A. grueso 1546.740 kg/m³

h. Valores corregidos por humedad

Cemento: 392.175 kg/m³

Agua 141.183 lt/m³

A. grueso 1565.301 kg/m³

i. Proporción en peso

$$1 : 3.991 : 0.36$$

j. Peso por tanda de un saco

Peso de saco de cemento: 42.5 kg.

Cemento: 42.5 kg/saco.

Agua efectiva: 15.3 kg/saco.

A. grueso 169.632 kg/saco.

k. Proporción en volumen

Peso unitario agregado grueso húmedo

$$= 1573.516 \times \left(1 + \frac{1.2}{100}\right)$$

$$= 1592.398 \text{ kg.}$$

Peso por pie³

$$1 \text{ m}^3 : 35.31 \text{ pie}^3$$

$$\text{Cemento: } 1.204$$

$$\text{Agrueso: } 45.098$$

l. dosificación en volumen

$$\text{cemento: } 1$$

$$\text{Agrueso: } 3.761$$

$$\text{agua: } 15.3$$

$$1 : 3.761 : 15.3 \text{ lt/saco.}$$

Mezcla de concreto permeable con agregado de granulometría G#/8 y 20% de vacíos.

Cemento

$$\text{Peso específico: } 3110 \text{ kg/m}^3$$

Agregado grueso

$$\text{Peso específico: } 2324 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Peso unitario varillado: } 1590.545$$

$$\text{Peso unitario suelto: } 1525.834$$

$$\text{Absorción: } 1.476\%$$

$$\text{Humedad: } 1.24\%$$

Agua

$$\text{Peso específico: } 1000 \text{ kg/m}^3.$$

a/c:	0.39
Porcentaje de vacíos:	20%

a. Cantidad y volumen de cemento

De la figura 1 se observa que corresponde 21.5% de volumen de pasta para 20% de porcentaje de vacíos.

$$0.21.5 = \frac{W_c}{3110} + \frac{0.39W_c}{1000}$$

$$W_c = 302.160 \text{ kg.}$$

Volumen de cemento

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

b. Cantidad y volumen de agua

$$W_a = 0.39 \times 302.160$$

$$W_a = 117.842 \text{ kg.}$$

Volumen de agua

$$V_a = 0.118 \text{ m}^3$$

c. Cantidad y volumen de agregado grueso

Volumen de agregado grueso

Volúmenes absolutos

$$\text{Agua:} \quad 0.118 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento:} \quad 0.097 \text{ m}^3$$

$$\text{Vacíos:} \quad 0.20 \text{ m}^3$$

$$V_{ag} = 1 - 0.118 - 0.097 - 0.20$$

$$V_{ag} = 0.585 \text{ m}^3$$

$$W_{ag} = 1359.54 \text{ kg.}$$

d. Corrección por humedad y absorción

Humedad superficial de agregado grueso

$$= 1.240 - 1.476$$

$$= -0.236$$

Aporte de agregado grueso

$$= 1359.54 \times (-0.236/100)$$

$$= -3.209 \text{ lt.}$$

Agua efectiva

$$W_a' = 121.051 \text{ lt.}$$

e. Contenido de cemento corregido

$$Wc' = 121.051/0.39$$

$$Wc' = 310.387 \text{ kg.}$$

f. Peso de agregado grueso húmedo

$$Wagh = 1359.54 \times 1.0124$$

$$Wagh = 1376.398 \text{ kg.}$$

g. Valores de diseño

$$\text{Cemento: } 302.160 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua } 117.842 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{A. grueso } 1359.540 \text{ kg/m}^3$$

h. Valores corregidos por humedad

$$\text{Cemento: } 310.387 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua } 121.051 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agrueso } 1376.398 \text{ kg/m}^3$$

i. Proporción en peso

$$1 : 4.434 : 0.39$$

j. Peso por tanda de un saco

$$\text{Peso de saco de cemento: } 42.5 \text{ kg.}$$

$$\text{Cemento: } 42.5 \text{ kg/saco.}$$

$$\text{Agua efectiva: } 16.575 \text{ kg/saco.}$$

$$\text{Agrueso } 188.464 \text{ kg/saco.}$$

k. Proporción en volumen

$$\text{Peso unitario agregado grueso húmedo}$$

$$= 1525.834 \times \left(1 + \frac{1.24}{100}\right)$$

$$= 1544.754 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso por pie}^3$$

$$1\text{m}^3 : 35.31 \text{ pie}^3$$

$$\text{Cemento: } 1.204$$

Agrueso: 43.748

1. dosificación en volumen

cemento: 1

Agrueso: 4.308

agua: 16.575

1 : 4.308 : 16.575 lt/saco.

Mezcla de concreto permeable con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos.

Cemento

Peso específico: 3110 kg/m³

Agregado grueso

Peso específico: 2644 kg/m³.

Peso unitario varillado: 1620.823

Peso unitario suelto: 1573.516

Absorción: 1.278%

Humedad: 1.20%

Agua

Peso específico: 1000 kg/m³.

a/c: 0.38

Porcentaje de vacíos: 20%

a. Cantidad y volumen de cemento

De la figura 1 se observa que corresponde 21.5% de volumen de pasta para 20% de porcentaje de vacíos.

$$0.215 \frac{W_c}{3110} = + \frac{0.38W_c}{1000}$$

$$W_c = 306.467 \text{ kg.}$$

Volumen de cemento

$$V_c = 0.099 \text{ m}^3$$

b. Cantidad y volumen de agua

$$W_a = 0.38 \times 306.467$$

$$W_a = 116.458 \text{ kg.}$$

Volumen de agua

$$V_a = 0.116 \text{ m}^3$$

c. Cantidad y volumen de agregado grueso

Volumen de agregado grueso

Volúmenes absolutos

$$\text{Agua:} \quad 0.116 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento:} \quad 0.099 \text{ m}^3$$

$$\text{Vacíos:} \quad 0.20 \text{ m}^3$$

Volumen de agregado grueso:

$$V_{ag} = 1 - 0.116 - 0.099 - 0.20$$

$$V_{ag} = 0.585 \text{ m}^3$$

$$W_{ag} = 1546.74 \text{ kg.}$$

d. Corrección por humedad y absorción

Humedad superficial de agregado grueso

$$= 1.200 - 1.278$$

$$= -0.078$$

Aporte de agregado grueso

$$= 1546.74 \times (-0.078/100)$$

$$= -1.206 \text{ lt.}$$

Agua efectiva

$$W_{a'} = 117.664 \text{ lt.}$$

e. Contenido de cemento corregido

$$W_{c'} = 117.664/0.38$$

$$W_{c'} = 309.642 \text{ kg.}$$

f. Peso de agregado grueso húmedo

$$W_{agh} = 1546.74 \times 1.012$$

$$W_{agh} = 1565.301 \text{ kg.}$$

g. Valores de diseño

$$\text{Cemento:} \quad 306.467 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} \quad 116.458 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{A. grueso} \quad 1546.740 \text{ kg/m}^3$$

h. Valores corregidos por humedad

Cemento: 309.642 kg/m³

Agua 117.664 lt/m³

Agrueso 1565.301 kg/m³

i. Proporción en peso

1 : 5.055 : 0.38

j. Peso por tanda de un saco

Peso de saco de cemento: 42.5 kg.

Cemento: 42.5 kg/saco.

Agua efectiva: 16.15 kg/saco.

Agrueso 214.846 kg/saco.

k. Proporción en volumen

Peso unitario agregado grueso húmedo

$$= 1573.516 \times \left(1 + \frac{1.20}{100}\right)$$

$$= 1592.398 \text{ kg.}$$

Peso por pie³

1m³ : 35.31 pie³

Cemento: 1.204

Agrueso: 45.098

l. dosificación en volumen

cemento: 1

Agrueso: 4.764

agua: 16.15

1 : 4.764 : 16.15 lt/saco.

8.2. Ensayo al concreto en estado fresco

- Peso Unitario

Mezcla : agregado redondeado 3/8" con 15% volumen de vacíos.

Tabla 11

Peso unitario de mezcla AR3/8 V15

<i>Mediciones</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Pmc : peso del molde + peso CP (kg)</i>	25.020	24.740	24.860
<i>Pm : peso molde (kg)</i>	5.060	5.060	5.060
<i>V : volumen del molde (m3)</i>	0.009787	0.009787	0.009787
<i>P.U. = (Pmc - Pm)/V</i>	2039.440	2010.831	2023.092
<i>Peso unitario promedio (kg/m³)</i>	2024.454		

Elaboración propia

Mezcla : agregado redondeado 3/8" con 20% volumen de vacíos.

Tabla 12

Peso unitario de mezcla AR3/8 V20

<i>Mediciones</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Pmc : peso del molde + peso CP (kg)</i>	24.110	24.050	24.215
<i>Pm : peso molde (kg)</i>	5.06	5.06	5.06
<i>V : volumen del molde (m3)</i>	0.009787	0.009787	0.009787
<i>P.U. = (Pmc - Pm)/V</i>	1946.460	1940.329	1957.188
<i>Peso unitario promedio (kg/m³)</i>	1947.992		

Elaboración propia

Mezcla : granulometría #8 con 15% volumen de vacíos

Tabla 13

Peso unitario de mezcla G#8 V15

<i>Mediciones</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Pmc : peso del molde + peso CP (kg)</i>	24.730	24.680	24.700
<i>Pm : peso molde (kg)</i>	5.06	5.06	5.06
<i>V : volumen del molde (m3)</i>	0.009787	0.009787	0.009787
<i>P.U. = (Pmc - Pm)/V</i>	2009.809	2004.700	2006.744
<i>Peso unitario promedio (kg/m³)</i>	2007.084		

Elaboración propia

Mezcla : granulometría #8 con 20% volumen de vacíos

Tabla 14

Peso unitario de mezcla G#8 V20

Mediciones	1	2	3
Pmc : peso del molde + peso CP (kg)	23.420	23.330	23.950
Pm : peso molde (kg)	5.06	5.06	5.06
V : volumen del molde (m3)	0.009787	0.009787	0.009787
P.U. = (Pmc - Pm)/V	1875.958	1866.762	1930.111
Peso unitario promedio (kg/m ³)	1890.944		

Elaboración propia

- Ensayo de revenimiento

Tabla 15

Revenimiento de concreto permeable.

<i>Mezcla</i>	<i>Revenimiento</i>
<i>AR3/8 V15</i>	<i>0</i>
<i>AR3/8 V20</i>	<i>0</i>
<i>G#8 V15</i>	<i>0</i>
<i>G#8 V20</i>	<i>0</i>

Elaboración propia.

8.3. Ensayos al concreto en estado endurecido .

- Resistencia a la compresión

Tabla 16

Resistencia a la compresión a 28 días.

Briqueta	Mezcla	edad (días)	Fuerza (kg.)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)
1	AR3/8 V15	28	23500	176.68	133.01
2	AR3/8 V15	28	22900	176.74	129.57
3	AR3/8 V15	28	23300	177.14	131.53
4	AR3/8 V15	28	23000	176.98	129.96
1	AR3/8 V20	28	10500	176.76	59.40
2	AR3/8 V20	28	10100	177.18	57.00
3	AR3/8 V20	28	9900	177.12	55.89
4	AR3/8 V20	28	10200	177.16	57.58
1	G8 V15	28	27800	176.88	157.17
2	G8 V15	28	27500	176.92	155.44
3	G8 V15	28	27500	177.08	155.30
4	G8 V15	28	27000	176.78	152.73
1	G8 V20	28	12700	176.72	71.87
2	G8 V20	28	12100	177.2	68.28
3	G8 V20	28	12500	177.16	70.56
4	G8 V20	28	12000	177.08	67.77

Elaboración propia

Para realizar una comparación de nuestros valores de resistencia obtenidos usamos la siguiente tabla basada en el reporte ACI 522R-06:

- Diseño de mezcla agregado redondeado de 3/8" y 15% de vacíos (AR3/8 V15)

Tabla 17

Comparación de resistencias a la compresión para AR3/8 v15

Probeta	Diseño de mezcla	f'c (kg/cm2)	f'c según ACI (kg/cm2)
1	AR3/8 V15	133.008	217.951
2	AR3/8 V15	129.568	217.951
3	AR3/8 V15	131.534	217.951
4	AR3/8 V15	129.958	217.951

elaboración propia

El valor de resistencia a la compresión del nuestro diseño de mezcla está por debajo del valor obtenido de la figura 2, sin embargo este valor está dentro del rango que indica el ACI para que sea considerado concreto permeable(28 – 285 kg/cm²)

- Diseño de mezcla agregado redondeado de 3/8” y 20% de vacíos (AR3/8 V20)

Tabla 18

Comparación de resistencias a la compresión para AR3/8 v20

Probeta	Diseño de mezcla	f'c (kg/cm2)	f'c según ACI (kg/cm2)
1	AR3/8 V20	59.402	151.159
2	AR3/8 V20	57.004	151.159
3	AR3/8 V20	55.894	151.159
4	AR3/8 V20	57.575	151.159

elaboración propia

El valor de resistencia a la compresión del nuestro diseño de mezcla está por debajo del valor obtenido de la figura 2, sin embargo este valor está dentro del rango que indica el ACI para que sea considerado concreto permeable(28 – 285 kg/cm²)

- Diseño de mezcla agregado redondeado de granulometría entre 3/8 ” a N8 y 15% de vacíos (G8 V15)

Tabla 19

Comparación de resistencias a la compresión para G8 v15

Probeta	Diseño de mezcla	f'c (kg/cm2)	f'c según ACI (kg/cm2)
1	AR3/8 V20	157.168	217.951
2	AR3/8 V20	155.437	217.951
3	AR3/8 V20	155.297	217.951
4	AR3/8 V20	152.732	217.951

elaboración propia

El valor de resistencia a la compresión del nuestro diseño de mezcla está por debajo del valor obtenido de la figura 2, sin embargo este valor está dentro del rango que indica el ACI para que sea considerado concreto permeable(28 – 285 kg/cm²)

- Diseño de mezcla agregado redondeado de granulometría entre 3/8 ” a N8 y 20% de vacíos (G8 V20)

Tabla 20

Comparación de resistencias a la compresión para G8 v20

Probeta	Diseño de mezcla	f'c (kg/cm2)	f'c según ACI (kg/cm2)
1	AR3/8 V20	71.865	151.159
2	AR3/8 V20	68.284	151.159
3	AR3/8 V20	70.557	151.159
4	AR3/8 V20	67.765	151.159

elaboración propia

El valor de resistencia a la compresión del nuestro diseño de mezcla está por debajo del valor obtenido de la figura 2, sin embargo este valor está dentro del rango que indica el ACI para que sea considerado concreto permeable(28 – 285 kg/cm²)

Tabla 21

Resistencia a la compresión a 14 días.

Briqueta	Mezcla	edad (días)	Fuerza (kg.)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)
1	AR3/8 V15	14	20000	176.88	113.07
2	AR3/8 V15	14	19600	177.15	110.64
3	AR3/8 V15	14	19200	177.2	108.35
4	AR3/8 V15	14	19500	176.95	110.20
1	AR3/8 V20	14	8000	176.6	45.30
2	AR3/8 V20	14	8500	177.1	48.00
3	AR3/8 V20	14	8300	177.14	46.86
4	AR3/8 V20	14	8200	177.1	46.30
1	G8 V15	14	25500	176.88	144.17
2	G8 V15	14	25200	176.94	142.42
3	G8 V15	14	24800	177.1	140.03
4	G8 V15	14	24900	177.15	140.56
1	G8 V20	14	10800	176.98	61.02
2	G8 V20	14	11200	176.8	63.35
3	G8 V20	14	11400	176.72	64.51
4	G8 V20	14	11100	176.76	62.80

Elaboración propia

Tabla 22

Resistencia a la compresión a 7 días.

Briqueta	Mezcla	edad (días)	Fuerza (kg.)	Área (cm ²)	f'c (kg/cm ²)
1	AR3/8 V15	7	13600	176.88	76.89
2	AR3/8 V15	7	13500	177.15	76.21
3	AR3/8 V15	7	12900	177.2	72.80
4	AR3/8 V15	7	13200	176.95	74.60
1	AR3/8 V20	7	7000	176.6	39.64
2	AR3/8 V20	7	6500	177.1	36.70
3	AR3/8 V20	7	6500	177.14	36.69
4	AR3/8 V20	7	7100	177.1	40.09
1	G8 V15	7	16000	176.88	90.46
2	G8 V15	7	15600	176.94	88.17
3	G8 V15	7	15800	177.1	89.22
4	G8 V15	7	15500	177.15	87.50
1	G8 V20	7	7800	176.98	44.07
2	G8 V20	7	7500	176.8	42.42
3	G8 V20	7	7200	176.72	40.74
4	G8 V20	7	7500	176.76	42.43

Elaboración propia

- Ensayo de infiltración.

Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos.

Tabla 23

Coefficiente de permeabilidad para mezcla AR3/8 V15

longitud de muestra	Área de muestra	Área de tubería de carga	tiempo de h ₁ a h ₂	altura 1	altura 2	Coefficiente de infiltración
L (cm)	A (cm ²)	a (cm ²)	t (seg.)	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	k (cm/s)
15	77.288	78.54	40.1	29	7	0.540
15	77.288	78.54	39.6	29	7	0.547
15	77.288	78.54	39.7	29	7	0.546
15	77.288	78.54	39.2	29	7	0.553
Promedio						0.546

Elaboración propia

Mezcla con agregado redondeado de 3/8" y 20% de vacíos.

Tabla 24

Coefficiente de permeabilidad para mezcla AR3/8 V20

longitud de muestra L(cm)	Área de muestra	Área de tubería de carga	tiempo de h ₁ a h ₂	altura 1 h ₁ (cm)	altura 2 h ₂ (cm)	Coefficiente de infiltración k (cm/s)
15	77.913	78.54	28.2	29	7	0.762
15	77.913	78.54	27.6	29	7	0.779
15	77.913	78.54	27.5	29	7	0.782
15	77.913	78.54	27.8	29	7	0.773
Promedio						0.774

Elaboración propia

Mezcla con granulometría G#8 y 15% de vacíos

Tabla 25

Coefficiente de permeabilidad para mezcla G#8 V15

longitud de muestra L (cm)	Área de muestra A (cm ²)	Área de tubería de carga a (cm ²)	tiempo de h ₁ a h ₂ t (s)	altura 1 h ₁ (cm)	altura 2 h ₂ (cm)	Coefficiente de infiltración k (cm/s)
15	76.977	78.54	44.2	29	7	0.492
15	76.977	78.54	44	29	7	0.494
15	76.977	78.54	43.5	29	7	0.500
15	76.977	78.54	44.1	29	7	0.493
Promedio						0.495

Elaboración propia

Mezcla con granulometría G#8 y 20% de vacíos

Tabla 26

Coefficiente de permeabilidad para mezcla G#8 V20

longitud de muestra	Área de muestra	Área tubería de carga	tiempo de h ₁ a h ₂	altura 1 h ₁ (cm)	altura 2 h ₂ (cm)	Coefficiente de infiltración k (cm/s)
15	77.913	78.54	36.7	29	7	0.586
15	77.913	78.54	36.2	29	7	0.594
15	77.913	78.54	36.1	29	7	0.595
15	77.913	78.54	36.5	29	7	0.589
Promedio						0.591

Elaboración propia

8.4. Ensayo de propiedades físicas del agregado

- Análisis granulométrico agregado grueso

Tabla 27

Granulometría agregado grueso.

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
2"	50.8	0			
1 1/2"	38.1	253.5	3.83	3.83	96.17
1"	25.4	796	12.01	15.84	84.16
3/4"	19.1	959.3	14.47	30.32	69.68
1/2"	12.7	784.5	11.84	42.15	57.85
3/8"	9.53	684	10.32	52.47	47.53
1/4"	3.35	1620	24.44	76.92	23.08
N°4	4.76	1530	23.09	100.00	0.00
total		6627.3			

Elaboración propia

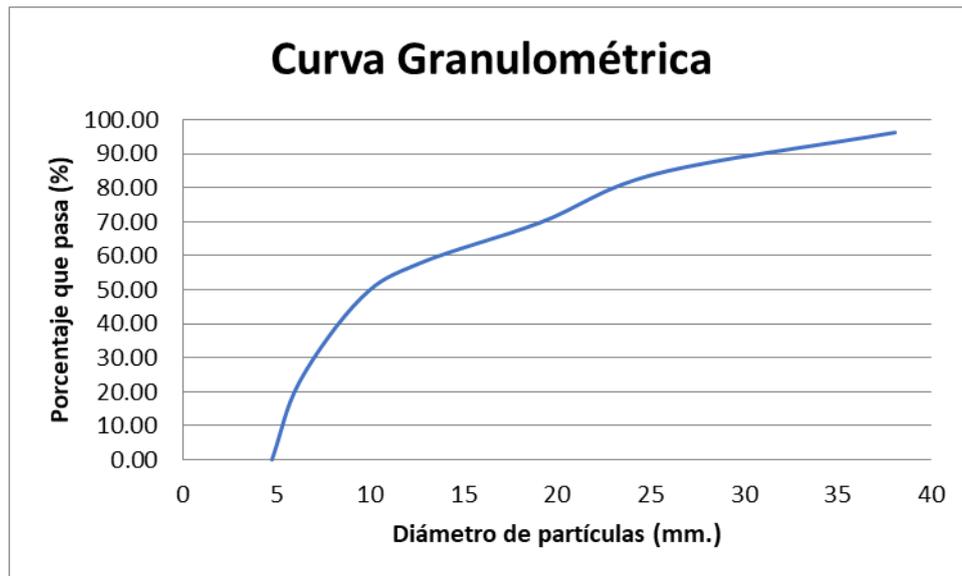


Figura 5. Curva granulométrica agregado grueso

- Análisis granulométrico G#8.

Tabla 28

Granulometría G8.

TAMIZ	ABERTURA (mm.)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3/4"	19.1	0			
1/2"	12.7	0			
3/8"	9.53	380.000	18.27	18.27	81.73
1/4"	3.35	80.000	3.85	22.12	77.88
N°4	4.76	1620.00	77.88	100.00	0.00
N° 8	2.38				
N° 16		0.00	0.00		
total		2080			

Elaboración propia

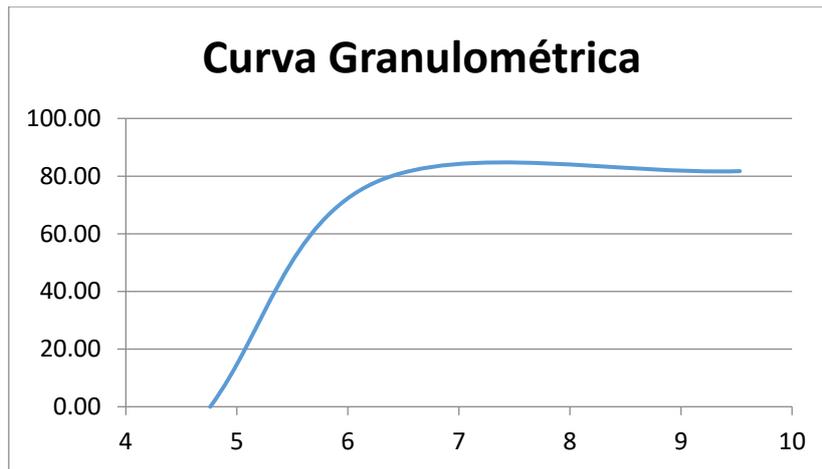


Figura 6. Curva granulométrica G8

- Peso unitario de agregado.

Tabla 29

Peso unitario suelto agregado redondeado de 3/8".

MUESTRA N°	1	2	3
Peso del material + peso de molde (kg)	20.410	20.510	20.460
Peso del molde (kg)	5.060	5.060	5.060
Peso del material (kg)	15.350	15.450	15.400
Volumen del molde (m3)	0.009787	0.009787	0.009787
Peso unitario (kg/m3)	1568.407	1578.625	1573.516
Peso unitario promedio (kg/m ³)	1573.516		

Elaboración propia

Tabla 30

Peso unitario varillado agregado redondeado de 3/8".

MUESTRA N°	1	2	3
Peso del material + peso de molde (kg)	20.975	20.875	20.920
Peso del molde (kg)	5.060	5.060	5.060
Peso del material (kg)	15.915	15.815	15.860
Volumen del molde (m3)	0.009787	0.009787	0.009787
Peso unitario (kg/m3)	1626.137	1615.919	1620.517
Peso unitario promedio (kg/m ³)	1620.823		

Elaboración propia

Tabla 31

Peso unitario suelto Granulometría G#8.

MUESTRA N°	1	2	3
Peso del material + peso de molde (kg)	19.950	19.980	20.050
Peso del molde (kg)	5.060	5.060	5.060
Peso del material (kg)	14.890	14.920	14.990
Volumen del molde (m3)	0.009787	0.009787	0.009787
Peso unitario (kg/m3)	1521.406	1524.471	1531.624
Peso unitario promedio (kg/m ³)		1525.834	

Elaboración propia

Tabla 32

Peso unitario varillado Granulometría G#8.

MUESTRA N°	1	2	3
Peso del material + peso de molde (kg)	20.670	20.600	20.610
Peso del molde (kg)	5.060	5.060	5.060
Peso del material (kg)	15.610	15.540	15.550
Volumen del molde (m3)	0.009787	0.009787	0.009787
Peso unitario (kg/m3)	1594.973	1587.821	1588.842
Peso unitario promedio (kg/m ³)		1590.545	

Elaboración propia

- Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Tabla 33

Gravedad específica y absorción de agregado de 3/8”.

Muestra N°	1	2	3	4	PROM
Peso muestra seca (gr.)(A)	1502.4	1419.5	1435	1386.1	1435.75
Peso muestra saturada superficialmente seca (gr.) (B)	1524.2	1436.4	1450.4	1405.4	1454.10
Peso de la muestra saturada dentro del agua + canastilla (gr.) (C)	1654.4	1598.9	1609.4	1583.9	1611.65
Peso de canastilla dentro del agua (gr.) (D)	700.50	700.50	700.50	700.50	700.50
Peso específico seco de masa	2.634	2.638	2.650	2.655	2.644
Peso específico de masa saturada con superficie seca	2.673	2.670	2.678	2.692	2.678
Absorción (%)	1.451	1.191	1.073	1.392	1.278
Peso específico aparente	2.739	2.724	2.728	2.757	2.737

Elaboración propia.

Tabla 34

Gravedad específica y absorción de agregado G#8.

Muestra N°	1	2	3	4	PROM
Peso muestra seca (gr.)(A)	1312.3	1268.3	1276.4	1291.6	1287.15
Peso muestra saturada superficialmente seca (gr.) (B)	1333.8	1282.2	1298.2	1310.4	1306.15
Peso de la muestra saturada dentro del agua + canastilla (gr.) (C)	1462.2	1442.3	1448.2	1458.4	1452.78
Peso de canastilla dentro del agua (gr.) (D)	700.50	700.50	700.50	700.50	700.50
Peso específico seco de masa	2.29	2.347	2.319	2.338	2.324
Peso específico de masa saturada con superficie seca	2.33	2.373	2.358	2.372	2.358
Absorción (%)	1.64	1.096	1.708	1.456	1.476
Peso específico aparente	2.38	2.409	2.414	2.420	2.406

Elaboración propia

- Contenido de humedad

Tabla 35

Contenido de humedad agregado 3/8”.

Muestra	1	2
Peso húmedo (kg.) + peso recipiente (kg.)	183.13	184.14
Peso seco (kg.) + peso recipiente (kg.)	181.12	182.18
Peso recipiente (kg.)	15.86	15.91
Peso agua (gr.)	2.01	1.96
Peso suelo seco (gr.)	165.26	166.27
Contenido de humedad (%)	1.22	1.18
HUMEDAD PROMEDIO (%)		1.20

Elaboración propia

Tabla 36

Contenido de humedad de granulometría G#8.

Muestra	1	2
Peso húmedo (kg.) + peso recipiente (kg.)	174.12	175.82
Peso seco (kg.) + peso recipiente (kg.)	172.22	173.82
Peso recipiente (kg.)	15.32	15.22
Peso agua (gr.)	1.9	2
Peso suelo seco (gr.)	156.9	158.6
Contenido de humedad (%)	1.21	1.26
HUMEDAD PROMEDIO (%)		1.24

Elaboración propia.

- Desgaste del agregado – método de los ángeles

Tabla 37

Desgaste de agregado grueso.

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	
peso de la muestra lavada y secada al horno (gr.)	5000
peso de la muestra lavada despues de la abrasión	4539.4
Porcentaje de desgaste (%)	9.21

Elaboración propia

8.5. Prueba de infiltración sobre losa de concreto

Tabla 38

Valores de infiltración.

M	d	t	i (pulg/hr)
22	144	20	969.1458333
22	144	22	881.0416667
22	144	24	807.6215278
22	144	22	881.0416667

Elaboración propia.

8.6. Proceso estadístico

- Resistencia a la compresión

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk

Tabla 39

Prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Nivel 1	0.95	4	0.718
Nivel 2	0.972	4	0.854
Nivel 3	0.925	4	0.568
Nivel 4	0.787	4	0.08
Nivel 5	0.998	4	0.992
Nivel 6	0.974	4	0.868
Nivel 7	0.973	4	0.861
Nivel 8	0.933	4	0.61
Nivel 9	0.941	4	0.663
Nivel 10	0.946	4	0.691
Nivel 11	0.978	4	0.892
Nivel 12	0.915	4	0.511

Elaboración propia

Nivel 1: mezcla con agregado de 3/8", 15% de vacíos y edad de curado de 7 días.

Nivel 2: mezcla con agregado de 3/8", 15% de vacíos y edad de curado de 14 días.

Nivel 3: mezcla con agregado de 3/8", 15% de vacíos y edad de curado de 28 días.

Nivel 4: mezcla con agregado de 3/8", 20% de vacíos y edad de curado de 7 días.

Nivel 5: mezcla con agregado de 3/8" y 20% de vacíos vacíos y edad de curado de 14 días.

Nivel 6: mezcla con agregado de 3/8", 20% de vacío y edad de curado de 28 días.

Nivel 7: mezcla con granulometría G#8, 15% de vacíos y edad de curado de 7 días.

Nivel 8: mezcla con granulometría G#8, 15% de vacíos vacíos y edad de curado de 14 días.

Nivel 9: mezcla con granulometría G#8, 15% de vacíos y edad de curado de 28 días.

Nivel 10: mezcla con granulometría G#8, 20% de vacíos y edad de curado de 7 días.

Nivel 11: mezcla con granulometría G#8, 20% de vacíos vacíos y edad de curado de 14 días.

Nivel 12: mezcla con granulometría G#8, 20% de vacíos y edad de curado de 28 días.

Los resultados obtenidos muestran una significancia mayor que 0.05 para todos los tratamientos, entonces se acepta la hipótesis nula, es decir los datos provienen de una distribución normal para 95% de confianza.

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

Tabla 40

Prueba de homogeneidad.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	sig.
0.459	11	36	0.916

Elaboración propia.

La significancia es mayor que 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir, las varianzas de los grupos son estadísticamente iguales, cumpliéndose el principio de homocedasticidad.

Comparaciones múltiples (prueba de Tukey)

Tabla 41

Prueba de Tukey

(I) Curado	(J) curado	Diferencias de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Catorce	siete	29.3099	0.58282	0.00	27.8853	30.7345
	veintiocho	-12.8421	0.58282	0.00	-14.2667	-11.4175
siete	catorce	-29.3099	0.58282	0.00	-30.7345	-27.8853
	veintiocho	-42.152	0.58282	0.00	-43.5766	-40.7274
veintiocho	catorce	12.8421	0.58282	0.00	11.4175	14.2667
	siete	42.152	0.58282	0.00	43.7274	43.5766

Elaboración propia

Con una seguridad de 95% se observa diferencias significativas de las resistencias a la compresión entre todos los niveles del tiempo de curado, el nivel de significancia en todos los casos es menor que 0.05.

- Infiltración

Prueba de normalidad Shapiro Wilk

Tabla 42

Prueba normalidad para infiltración

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Nivel 1	0.974	4	0.869
Nivel 2	0.929	4	0.588
Nivel 3	0.828	4	0.163
Nivel 4	0.912	4	0.492

Elaboración propia.

Nivel 1: agregado 3/8" con 15% de vacíos.

Nivel 2: agregado 3/8" con 20% de vacíos.

Nivel 3: agregado G#8 con 15% de vacíos.

Nivel 3: agregado G#8 con 20% de vacíos.

Para todos los casos la significancia es mayor que 0.05, entonces aceptamos las hipótesis nulas, es decir, los datos provienen de una distribución normal.

- Prueba de homogeneidad de varianzas

Tabla 43

Prueba de Levene para infiltración

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1.179	3	12	0.359

Elaboración propia

La significancia es mayor que 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir, las varianzas de los grupos son estadísticamente iguales, cumpliéndose el principio de homocedasticidad.

- Análisis de varianza

Interacción de variables

Resistencia a la compresión

Interacción curado-agregado

Gráficos de perfil

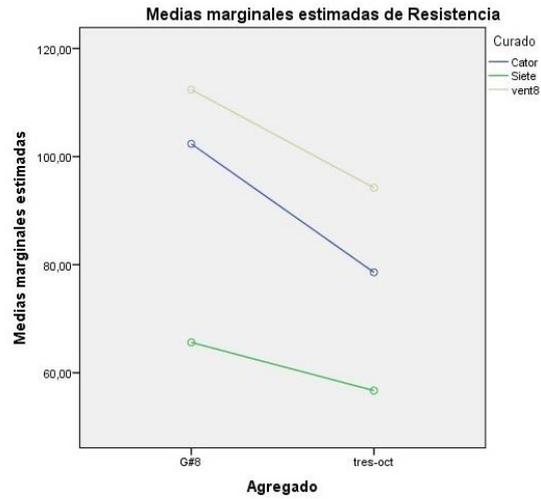


Figura 7. Interacción entre variables curado y agregado.

Interacción curado-porcentaje de vacíos

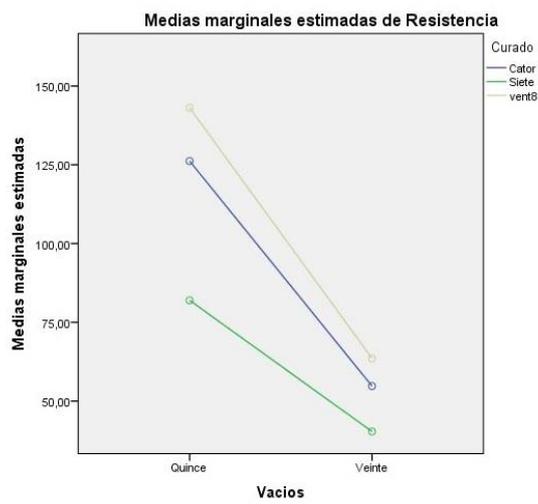


Figura 8. Interacción entre variables curado y vacíos.

Interacción porcentaje de vacíos-agregado

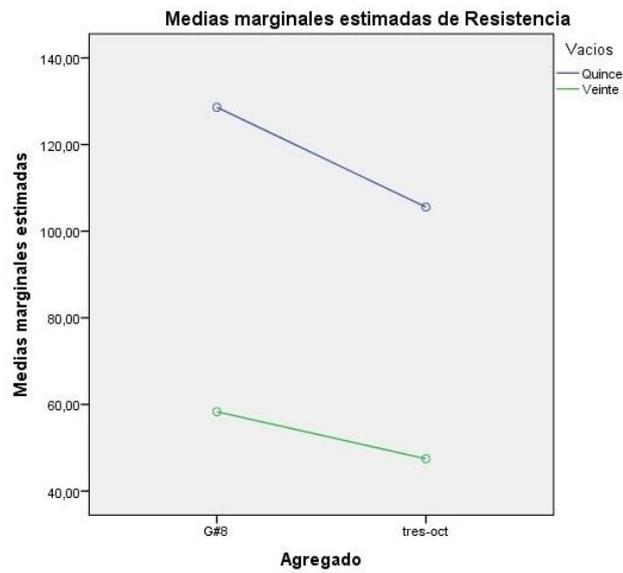


Figura 9. Interacción entre variables agregado y vacíos.

- Infiltración

Interacción porcentaje de vacíos-agregado

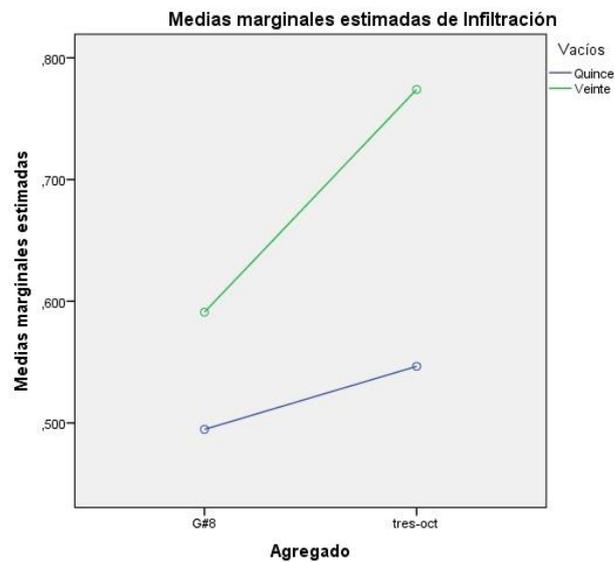


Figura 10. Interacción entre variables agregado y vacíos.

8.7. Comparación de según porcentaje de vacíos y tipo de agregado

- Resistencia a la compresión

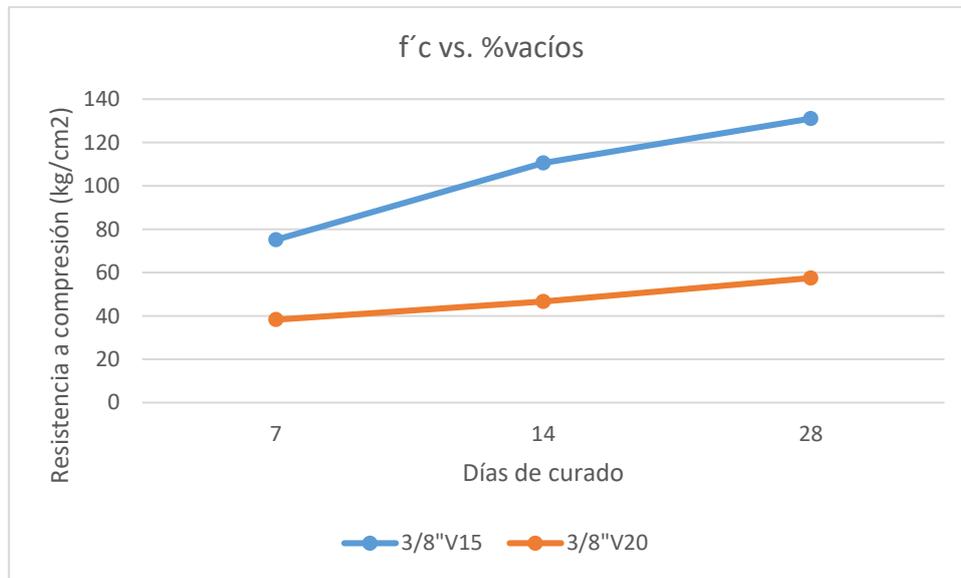


Figura 11. Concreto permeable con agregado de 3/8", porcentaje de vacíos 15% y 20%.

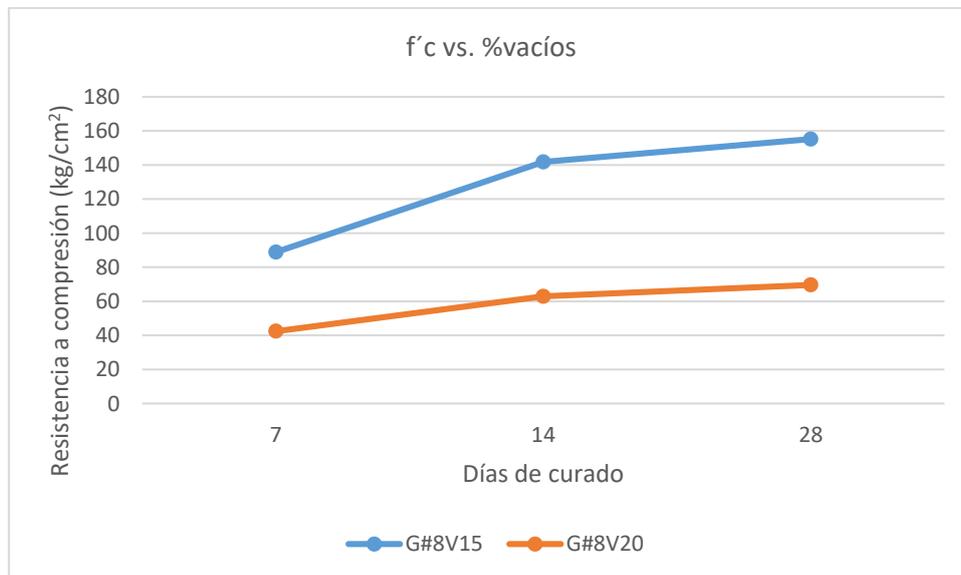


Figura 12. Concreto permeable con agregado G#8, porcentaje de vacíos: 15% y 20%.

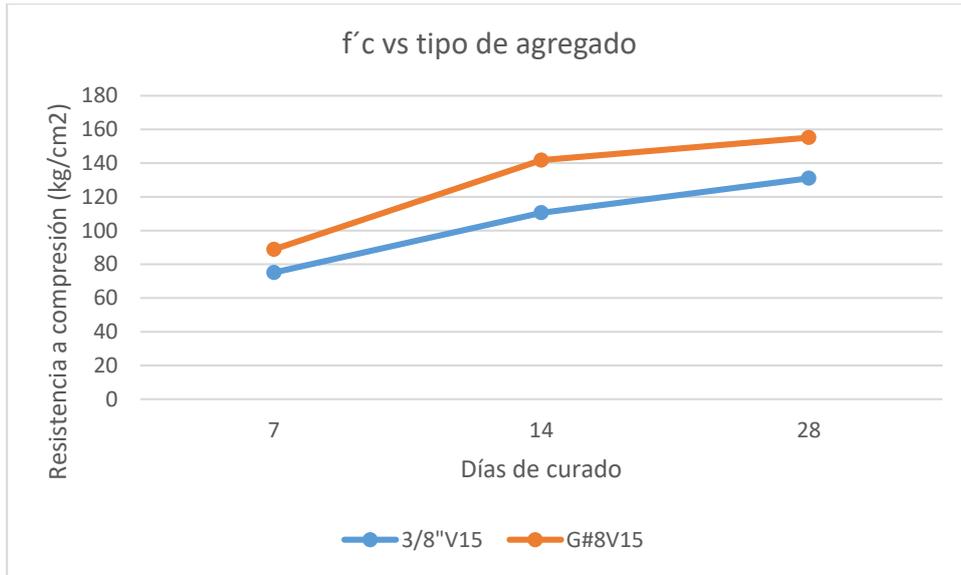


Figura 13. Concreto permeable con porcentaje de vacíos 15%, agregado 3/8" y G#8.

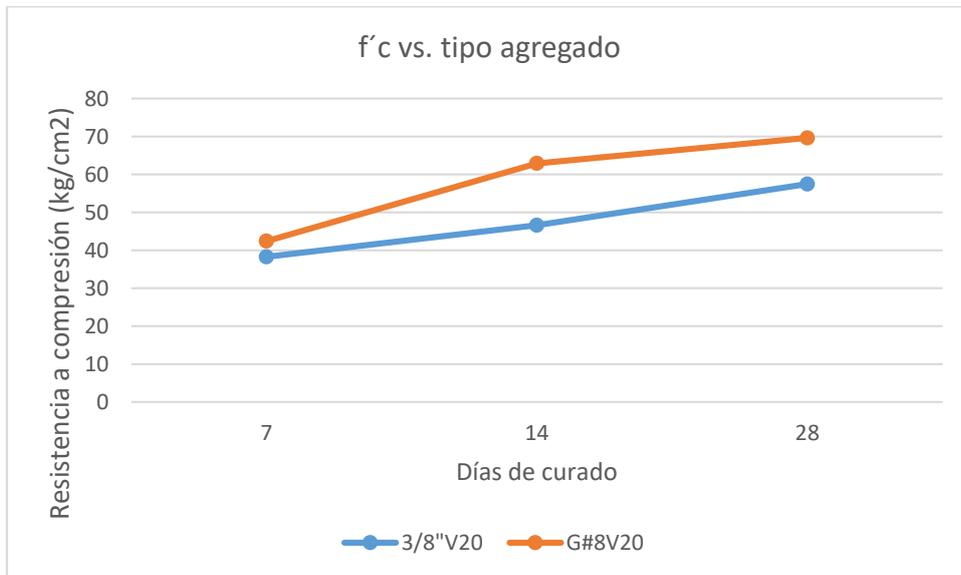


Figura 14. Concreto permeable con porcentaje de vacíos 20%, agregado 3/8" y G#8.

- Infiltración

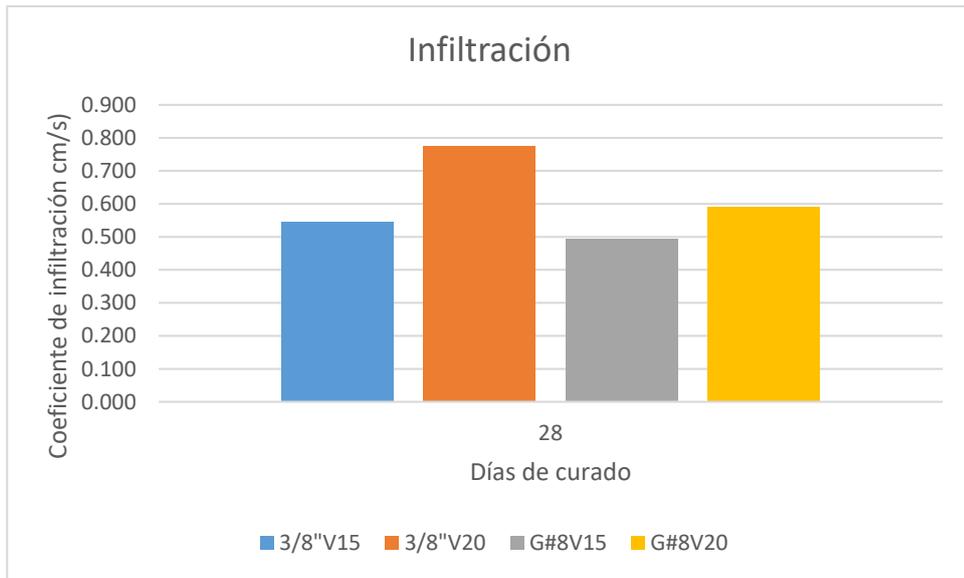


Figura 15. Coeficiente de infiltración para diferente tipo de agregado y porcentaje de vacíos.

8.8. Panel fotográfico



Imagen 1. Cuarteo de material.



Imagen 2. Ensayo de peso unitario.



Imagen 3. Compactación de concreto permeable con martillo proctor.



Imagen 4. Análisis granulométrico para agregado G#8.



Imagen 5. Dosificación en pequeñas proporciones para obtener valor de relación agua/cemento.



Imagen 6. Permeámetro de carga variable con muestra de concreto permeable sellado.



Imagen 7. Revenimiento cero de concreto permeable.



Imagen 8. Rotura de probeta de concreto permeable y tipo de falla cónica.



Imagen 9. Prueba de infiltración en campo.



Imagen10. Muestras de concreto permeable.