



UNIVERSIDAD PRIVADA TELESUP
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL Y
DESARROLLO INMOBILIARIO

TESIS

**INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN EL CONCRETO Y
SU PERMEABILIDAD EN VEREDAS DEL PARQUE VIENA
DEL DISTRITO DE ATE VITARTE.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO DE CIVIL**

AUTOR:

Bach. HUAYLLACAYAN VICUÑA, NELSON ROEL

LIMA – PERÚ

2017

ASESOR DE TESIS

Ing. ANGEL NOÉ QUISPE TALLA

JURADO EXAMINADOR

Dr. Vásquez Romero Issaak Rafael

Presidente

ING. Bravo Aguilar Carlos

Secretario

ING. Ovalle Paulino Osnis Christian

Vocal

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso.

A mi familia que siempre me apoyo
incondicionalmente.

A mis queridos padres por sus buenas
enseñanzas

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora, en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia; a mi padre Elías Huayllacayan, a mi madre Julia Vicuña, a mi segunda madre mi abuela, a mi tía; a mis hermanos y a todos mis tíos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último a mis compañeros de tesis porque en esta armonía grupal lo hemos logrado y a mi profesor de tesis quién nos ayudó en todo momento, Ing. Ángel Noé Quispe Talla.

RESUMEN

Unos de los problemas frecuentes es el deterioro de las veredas que forma parte de la infraestructura de los parques de nuestra capital por la forma de los sistemas de riego directo que reciben estas infraestructuras, por lo que la investigación plantea una solución de forma eficiente y que debe seguir los más altos estándares en cuanto a tecnología y calidad.

La investigación sobre la composición de mezcla de cemento, piedra, arena y agua plantea una solución que brinda las características y, lo más importante, ayuda a la conservación del medio ambiente y de los sistemas usados en los parques permitiendo una buena flexo tracción del concreto permeable, con los datos necesarios para diseñar de una forma más concisa y exacta los pavimentos elaborados en concreto permeable y consecuentemente busca mitigar la contaminación y el deterioro de los parques, se realizaron pruebas elaboradas en laboratorio, esfuerzos de compresión, además, el presente documento ofrece información que hasta hoy es escasa en las referencias bibliográficas sobre el tema en estudio, obteniéndose las conclusiones siguientes:

Se determinó que si existe influencia del concreto permeable en veredas de parque en primer lugar sobre la piedra, cemento, arena y agua en ese orden.

Los materiales que afectan directamente el concreto permeable en veredas de los parques son la piedra, cemento, arena y agua en ese orden.

La composición de los materiales para la generación de concreto para veredas permeable en parques es: cemento 14.57 kg (12.8%), arena 52.39 kg (46.09%), piedra 37.69 (33.16 %) kg, agua 9.0 kg (7.95 %).

A mayor cantidad de agregado presente en la mezcla, menor es su resistencia a la flexión, ya que en el concreto permeable lo que interesa es la adecuada conexión entre el agregado y la pasta, y no la cantidad de agregado grueso que el diseño contenga.

El valor óptimo de la resistencia de compresión es de 122. 861 kg/cm² para concreto permeable en veredas de parques.

Palabras claves: Agregado, concreto, permeabilidad, veredas

ABSTRACT

One of the frequent problems is the deterioration of the sidewalks that forms part of the infrastructure of the parks of our capital by the form of the systems of direct irrigation that receive these infrastructures so that the research plots a solution of efficient form and must follow The highest standards in terms of technology and quality.

Research on the composition of cement, stone, sand and water mixtures presents a solution that provides the characteristics and, most importantly, helps to preserve the environment and the systems used in the parks, allowing a good flexion traction of the concrete Permeable, with the necessary data to design in a more concise and accurate the pavements elaborated in permeable concrete and consequently. Offers information that until today is scarce in the bibliographical references on the subject under study, obtaining the following conclusions:

It was determined that if there is influence of the permeable concrete in park sidewalks first on the stone, cement, sand and water in that order.

The materials that directly affect the permeable concrete in park paths are stone, cement, sand and water in that order.

The composition of the materials for the generation of concrete for pavements permeable in park trails is, cement 37.59 kg (12.8%), sand 52.39 kg (46.09%), stone 37.69 (33.16%) kg, water 9.0 kg (7.95%).

The greater amount of aggregate present in the mixture, the lower its flexural strength, because in the permeable concrete what is interesting is the proper connection between the aggregate and the paste, and not the amount of coarse aggregate that the design contains.

The optimum value of the compressive strength is 122. 861 kg / cm² for permeable concrete in park walkways.

Key words: Aggregate, concrete, permeability, sidewalks

INDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
ASESOR DE TESIS.....	ii
JURADO EXAMINADOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
1. PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Formulacion del problema	20
1.4.1. General.....	20
1.4.2. Específicos	20
1.3. Justificacion del estudio	20
1.4. Objetivos de la investigación.....	22
1.4.1. General.....	22
1.4.2. Específicos	22
II. MARCO TEORICO.....	23
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	23
2.1.1. Nacionales.....	23
2.1.2. Internacionales	31
2.2. Bases teóricas.....	41
2.2.1. Concreto permeable	41
2.2.2. Ventaja y desventaja	44

2.2.3	Materiales	48
2.2.4	Diseño de mezcla	51
2.2.5	Propiedades del concreto permeable... ..	56
2.3	Definicion de terminos basicos.....	80
III.	MÉTODOS Y MATERIALES	82
3.1.	Hipótesis de la investigacion.....	82
3.1.1.	General.....	82
3.1.2.	Específicos	82
3.2.	Variables en estudio	82
3.2.1.	Definicion conceptual.....	82
3.2.2.	Definicion operacional.....	85
3.3.	Tipo y nivel de la investigacion	85
3.4.	Diseño de la investigacion para contrastar la hipotesis	86
3.5.	Poblacion y muestra	86
3.5.1.	Poblacion	86
3.5.2.	Muestra	86
3.6.	Tecnicas e instrumentos de recoleccion de datos.....	87
3.7.	Validacion de instrumentos.....	89
3.8.	Tecnicas de procesamiento y analisis de datos	92
IV.	RESULTADOS	92
4.1.	Comparacion de dos muestras.....	92
4.2.	Comparacion de medianas.....	98
4.3.	Comparacion de varias muestras.....	99
4.4.	prueba de la mediana de Mood.....	109
4.5.	Atributos de la superficie de respuesta.....	110
4.6.	Cronograma del trabajo de tesis.....	124
4.7.	Presupuesto	124
V.	DISCUSIÓN.....	125
VI.	CONCLUSIONES	126
VII.	RECOMENDACIONES	127
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	128
IX.	ANEXOS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Superficie con concreto permeable	43
<i>Figura 2:</i> Superficie con asfalto	43
<i>Figura 3:</i> Muestras de concreto permeable	53
<i>Figura 4:</i> Relación entre el contenido de vacíos	56
<i>Figura 5:</i> Asentamiento de concreto	58
<i>Figura 6:</i> Relación entre el contenido de aire.....	58
<i>Figura 7:</i> Estructura interna de un concreto	59
<i>Figura 8:</i> Relación entre la resistencia a compresión a 28 días.....	61
<i>Figura 9:</i> Relación entre la resistencia a flexión y el contenido de aire.....	62
<i>Figura 10:</i> Relación entre la resistencia flexión y resistencia a compresión.....	63
<i>Figura 11:</i> Capacidad de filtración del concreto permeable.....	64
<i>Figura 12:</i> Factores que influyen en la permeabilidad del concreto.....	65
<i>Figura 13:</i> Relación entre la filtración y el contenido de aire.....	66
<i>Figura 14:</i> Reflexión del sonido debido al movimiento de vehículos.....	67
<i>Figura 15:</i> Peso unitario del concreto permeable.....	75
<i>Figura 16:</i> Cilindro de concreto permeable.....	78
<i>Figura 17:</i> Compresión de 2 muestras frecuencia y resistencia.....	92
<i>Figura 18:</i> Comparación de medias.....	94
<i>Figura 19:</i> Gráfico caja de bigotes.....	95
<i>Figura 20:</i> Grafico de cuantiles.....	97
<i>Figura 21:</i> Gráfico cuantil-cuantil.....	99
<i>Figura 22:</i> Dispersión según muestra.....	100

<i>Figura 23:</i> Medidas de confianza al 95%.....	103
<i>Figura 24:</i> Gráfico y caja de bigotes varias muestras.....	104
<i>Figura 25:</i> Gráfico de residuos.....	106
<i>Figura 26:</i> Gráfico ANOM.....	107
<i>Figura 27:</i> Gráfico de medidas con intervalos al 95%.....	108
<i>Figura 28:</i> Gráfico de cuantiles de varias muestras.....	109
<i>Figura 29:</i> Diagrama estandarizada para la resistencia a la compresión.....	112
<i>Figura 30:</i> Efectos principales para la resistencia a la compresión.....	114
<i>Figura 31:</i> Gráfico de interacción.....	116
<i>Figura 32:</i> Gráfico de la probabilidad resistencia a la compresión.....	118
<i>Figura 33:</i> Superficie de respuesta.....	120
<i>Figura 34:</i> Contornos de la superficie respuesta.....	122
<i>Figura 35:</i> Gráfico de residuos de varias muestras.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rangos típicos de las proporciones de materiales.....	51
Tabla 2: Valores efectivos de b/b_0	55
Tabla 3: Proporciones de concreto permeable.....	73
Tabla 4: Resistencia a compresión.....	78
Tabla 5: Resultado de infiltración.....	79
Tabla 6: Resumen de resultado.....	79
Tabla 7: Definición de variable.....	85
Tabla 8: Ensayo de agregado grueso.	87
Tabla 9: Clasificación del agregado según su tamaño.....	88
Tabla 10: Resumen estadístico de 2 muestras.....	93
Tabla 11: Comparación de desviaciones estándar.....	96
Tabla 12: Resumen estadístico de varias muestras.....	101
Tabla 13: Tabla anova.....	102
Tabla 14: Medias con intervalos de confianza del 95%.....	103
Tabla 15: Método 95% LSD.....	104
Tabla 16: Verificación de varianza.....	106
Tabla 17: Prueba de kruskal-wallis.....	108
Tabla 18: Prueba de mediana de mood.....	109
Tabla 19: Atributo superficie respuesta.....	110
Tabla 20: Efectos estimados para la resistencia a la compresión.....	111
Tabla 21: Análisis de varianza para resistencia a compresión.....	113

Tabla 22: Coeficiente de regresión.....	115
Tabla 23: <i>Matriz de correlación</i>	116
Tabla 24: <i>Resultados estimados para la resistencia a la compresión</i>	119
Tabla 25: <i>Camino de máximo asenso</i>	121
Tabla 26: <i>Valores óptimos</i>	122
Tabla 27: <i>Cronograma de trabajo de tesis</i>	124
Tabla 28: <i>Presupuesto de proyecto</i>	124

INTRODUCCIÓN

El mal estado de los parques en especial las veredas que en climas de alta humedad es por el mal manejo de las aguas y la poca capacidad hidráulica que estas poseen, esto causa, entre otras cosas, erosión en la superficie de ruedo y miles de millones en gastos por la pérdida de soporte que está sufriendo la infraestructura de los parques especialmente en la ciudad de Lima.

Además, a las consideraciones anteriores se suma el cambio del uso del suelo en las zonas más pobladas las escorrentía superficial por el riego de los sistemas de jardines ya que estos se realizan en forma directa sobre el agregado y los jardines adyacentes, por lo que la permeabilidad de los pavimentos en especial las veredas se ha convertido en un agravante de la condición de erosión.

Una forma de afrontar la solución a estos problemas o por lo menos mitigarlos de una manera eficiente y utilizando tecnología que ayuda al medio ambiente, se presenta la opción de construir pavimentos en concreto permeable que brindan una excelente propuesta a esta problemática por lo que se estableció los objetivos siguientes:

- Determinar la influencia del concreto permeable en veredas de parques
- Calcular los materiales utilizados en el concreto permeable en veredas delos parques
- Determinar la composición de los materiales para la generación de concreto permeable en veredas de parque

La investigación consta de cinco capítulos, según se indica:

En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, la formulación del problema y los objetivos de la investigación

El capítulo II comprende el marco teórico basado en la teoría base que da rigor científico al trabajo y que guarda relación directa con el objetivo y la hipótesis, así como los antecedentes del estudio y la definición de términos.

En el capítulo III se presenta el estudio de la hipótesis, las variables y la operacionalización de las mismas; tipo y nivel de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra de estudio así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se presentan los métodos de análisis de datos usados en la investigación para finalizar el capítulo se contemplan los aspectos éticos.

En el capítulo IV se presenta los resultados de la investigación en cuadros estadísticos y figuras, obtenidas en forma empírica a fin de modificar la realidad y presentar la propuesta de la investigación, para luego finalizar con la discusión, las conclusiones y recomendaciones.

I.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

INTERNACIONAL

Flores, Pacompia (2015), en su tesis titulada “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO PARA PAVIMENTOS F’C 175 KG/CM² EN LA CIUDAD DE PUNO” universidad del altiplano

En las últimas décadas se vienen presentando problemas en la evacuación de aguas pluviales y en las condiciones de escurrimiento aguas abajo (arrastre de materiales sólidos y varios contaminantes depositados en las calles), principalmente por el crecimiento acelerado de las ciudades, asociado al amplio uso de pavimentos convencionales (impermeables). El uso indiscriminado de estas estructuras en áreas urbanas incrementa notablemente el volumen y el caudal del escurrimiento superficial, aumentando los riesgos de eventuales inundaciones en los sectores más bajos de las zonas urbanas, desfavoreciendo de esta manera las condiciones de escurrimiento de agua pluvial y disminuyendo la capacidad de recarga natural en los terrenos. (Flores y Pacompia, 2015).

Barahona, Martínez y Muños (2013), en su tesis titulada “COMPORTAMIENTO DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR” universidad de el salvador

Se ha considerado el estudio del concreto permeable con los agregados de la zona oriental, debido a que no se han realizado investigaciones sobre dicho tema en nuestro entorno tomando como muestra para la realización de nuestra investigación los agregados de las canteras de Aramuaca, La Pedrera, El Carmen.

En vista del conjunto de problemáticas antes mencionada, y percibir que no existen pruebas ni estudio del concreto permeable con los agregados más comunes de la zona oriental, es indispensable el estudio del mismo en nuestro medio.

Al investigar se obtendrán una serie características del concreto permeable con los agregados de la zona oriental (La Pedrera, Aramuaca y El Carmen), a diferentes resistencias. Y si en un futuro se desea emplear concreto permeable en la zona oriental, existirá una investigación que indique ciertos parámetros de cómo será el comportamiento de tal concreto con un agregado ya sea de la cantera La Pedrera, Aramuaca y El Carmen y una resistencia específica del concreto; para la zona oriental del país. (Barahona, Martínez y Muños, 2013)

NACIONAL

Flores, Pacompia (2015), en su tesis titulada “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO PARA PAVIMENTOS F’C 175 KG/CM² EN LA CIUDAD DE PUNO” universidad del altiplano

Las ciudades del Perú han venido experimentando un crecimiento urbano acelerado y año tras año; durante las estaciones lluviosas se dan importantes inundaciones en zonas urbanas. La ciudad de Lima no es ajena a esta situación, pues la evacuación de aguas pluviales genera escurrimientos superficiales, generalmente este fenómeno sucede durante el periodo de lluvias, afectando negativamente el desarrollo urbano, la circulación vehicular y peatonal. (Flores y Pacompia, 2015).

PRESENTAR LA INSTITUCIÓN /EMPRESA /LUGAR

En el distrito de Ate-Vitarte (Lima), se encuentra con un crecimiento población continua.

PRESENTAR EL PROBLEMA:

En el distrito de Ate-Vitarte (Lima), se está presentando deterioros de las pistas y veredas debido a las lloviznas que presenta el lugar, también se producen muchos accidentes peatonales debido a pisos lisos que se ve a diario en el distrito y más en épocas de invierno ya que en esa temporada la humedad es mayor.

En la actualidad estamos en escases de agua en el Perú y en el mundo debido al crecimiento población y calentamiento global que se genera a diario en el planeta. El concreto permeable tiene una solución para poder conservar y usar adecuadamente el agua sin desperdiciarlas. Las lluvias que se generan pueden ser llevadas al manto acuífero gracias al concreto permeable, eso debido a sus propiedades y así poder alimentar el acuífero y conservar en agua para su uso correcto y adecuado durante la escasez que se da en tiempo de sequias.

También en concreto permeable tiene una propiedad física muy diferente al concreto armado o ciclópeo ya que estos dos tipos de concretos cuentan con una porosidad muy baja por lo contrario sus propiedades físicas muestran que tienen un acabado muy fino y sin agujeros, y todo contrario es en el concreto permeable ya que este tipo de concreto son más porosos debido a que tiene pequeños agujeros por donde filtra el agua, esos agujeros son los que producen cierta rugosidad, para así evitar incidentes como resbalón o caídas de las personas que transitan sobre ella, y no solo evita accidentes de personas también evita accidentes vehiculares ya que con la rugosidad que tiene el concreto y las ruedas del vehículo forman un impulso sin generar mucho deslizamiento de las ruedas y así evitar accidentes automovilísticos.

El concreto permeable tiene una gran durabilidad cuando está en contacto con el agua debido a su porosidad ya que en un concreto normal o asfalto su peor enemigo es el agua, pero en el concreto permeable es muy diferente ya que el agua pasa sin ningún problema llegando al suelo y luego al manto acuífero.

Actualmente, la aplicación más común del concreto permeable es en pavimentos de bajo tráfico en calles residenciales, parqueaderos, parques, áreas para peatones y bicicletas.

En algunas ciudades del mundo, el agua se ha convertido en un grave problema ya que, en general, no ha habido preocupación para recuperar los mantos acuíferos desde donde esta es extraída. En el caso de la ciudades de México y Guadalajara, ambas obtienen hasta el 75% del agua potable de dichos mantos y, en ambos casos los mantos se están agotando, al igual que sucede en muchas ciudades del mundo, las cuales al crecer, van cubriendo con materiales impermeable lo que la naturaleza había hecho permeable. Por esta razón, la fuente de recarga que es agua de lluvia, termina en los drenajes, en lugar de continuar su camino natural hacia los mantos subterráneos.

Con esta idea en mente iniciaron el desarrollo de pisos y pavimentos permeables que deberían sustituir una parte de importante de esa capa impermeable hecha por el hombre. Hacia el año de 1994 ya se había encontrado una fórmula que permitía la construcción de elementos permeables con una gran resistencia, tanto a la compresión, como a la flexión y al desgaste. Sin embargo, ahora surgía un nuevo problema... ¿cómo construir con elementos permeables?

El equipo encabezado por el Arq. Néstor de buen una desarrolló los sistemas constructivos adecuados en el curso de los dos años siguientes. En agosto de 1996 el concreto fue presentado al público de México.

Existen patentes relacionadas con el concreto y sus sistemas constructivos, algunas de ellas ya se aprobaron en México, en los estados unidos de américa y en otros países.

Con el propósito de lograr una mezcla cada vez mejor, la fórmula original ha sido mejorada en diversos aspectos. En el año 2007 el Lic. Alejandro Vázquez Gómez al frente del grupo encargado de este propósito terminó el desarrollo de una fórmula que permite una mezcla mucho más manejable y resistente que la original de 1994. Esta nueva fórmula, llamada de "tercera generación" fue usada por primera vez en el año 2008, una vez que se terminaron las pruebas correspondientes.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿De qué manera influye el concreto permeable en las veredas del parque Viena del distrito de Ate Vitarte?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Cómo influyen los materiales utilizados en el concreto permeable en las veredas del parque Viena del distrito de Ate Vitarte?

¿Cuál es la composición de los materiales para la generación de concreto permeable en veredas del parque Viena del distrito de Ate Vitarte?

1.3. Justificación e importancia

El concreto permeable es una buena opción ya que es un concreto ecológico, que tienen propiedades físicas favorables para el medio ambiente debido a la filtración de agua hacia el suelo y así llegando al manto freático y áreas verdes.

El concreto permeable tiene un cierto grado de rugosidad debido a las propiedades físicas ya que tiene una gran cantidad de poros y así evitar deslizamientos de la persona y los vehículos que transitan sobre ella.

Las características de crecimiento poblacional en el Perú, apoyado en la mala calidad que representa la misma a nivel de América Latina, funge como la justificación general que permita un estudio experimental acerca del concreto poroso, colocándolo como una alternativa válida, para su ejecución en las estructuras de veredas en este país.

En cuanto a este último tema, la construcción de veredas con concretos porosos, permite que el desarrollo urbanístico este de la mano con la sostenibilidad, la cual es modelo en ciudades de Francia, Alemania e Inglaterra. El modelo de construcción sostenible está siendo aplicado en la actualidad a la ingeniería civil, ya que representa la transformación del sector de la construcción, en función de los conceptos de reciclaje, la reutilización y la recuperación de materiales.

En este sentido el concreto poroso se ajusta a estos conceptos, y permite que su tecnología sea aplicada en veredas ecológicas sustentables, donde se solucionan problemas de caídas y charcos de agua.

Los escenarios en los cuales se podrían aplicar los modelos de recuperación del recurso hídrico mediante un material como el concreto poroso son: parqueaderos, malla vial del tercer nivel y locaciones de centros comerciales y empresas.

Es necesario el desarrollo del concreto permeable para poder seguir desarrollando y aplicando a otros tipos de infraestructura, pero principalmente desarrollaremos aplicando a las veredas de parque ya que es necesario en tiempos de invierno debido a la humedad y lluvia generado en esa época de la estación. Debido a rocío o lluvia que cae sobre la vereda en los parques puede generar accidentes y caídas resbalones golpes etc.

Pero con el concreto permeable eso accidentes se reducirán en un porcentaje ya que al tener poros no genera deslizamiento y por consecuencia no hay accidentes leves ni graves por este motivo es necesario el desarrollo de este proyecto.

Se implementará realizando pruebas y ensayos en laboratorio para encontrar la proporción adecuada y así aplicar en las veredas del parque Viena que está ubicado en el distrito de Ate Vitarte. Una vez encofrado la veredas se realizará el vaciado del concreto y realizar los procesos adecuados para poder encontrar la resistencia máxima.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

¿Determinar la influencia del concreto permeable en veredas de parques?

1.4.2 Objetivo específico

¿Calcular los materiales utilizados en el concreto permeable en veredas de los parques?

¿Determinar la composición de los materiales para la generación de concreto permeable en veredas de parques?

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Azañeda, Chávez y Muños (2007), “*DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POROSO CON AGREGADOS DE LA CANTERALA VICTORIA, CEMENTO PÓRTLAND TIPO I CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO, YSU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA*”
Universidad Nacional de Cajamarca

El agua de lluvia sumada a la impermeabilización de superficies, provoca dos fenómenos asociados: un incremento del caudal de agua que debe evacuarse por el alcantarillado existente y una disminución importante del agua que alimenta la napa freática. Impedir que el agua se acumule en la superficie de rodadura de los pavimentos, es posible, llevándola al respectivo sistema de alcantarillado o facilitando la infiltración al suelo natural (si las condiciones del terreno y las características del tráfico lo permiten); a través, de una capa de Concreto Poroso, diseñado para el uso en el Pavimento Rígido, convirtiendo a la estructura en permeable.

Este documento, presenta los resultados de una investigación realizada en la Universidad Nacional de Cajamarca, en el año 2007, para establecer el Diseño de mezcla de un Concreto Poroso y su uso en pavimentos. Se elaboran mezclas, empleando: Cementos Portland Tipo I y Tipo ICo, agua potable, agregados de la Cantera La Victoria, tiras de plástico, polipropileno y aditivo reductor de agua, en distintas combinaciones y dosificaciones. Seguido, para cada mezcla se prepararon especímenes de prueba, cilindros y vigas, para realizar ensayos de resistencia a compresión y flexión, respectivamente y determinar de esta manera, la mezcla con el mejor comportamiento ante estos esfuerzos. Luego, se analizaron los resultados estadísticamente y se concluyó cuál es el diseño de mezcla óptimo que cumpla los requisitos mecánicos (esfuerzos de compresión y flexión) para ser utilizados en pavimentos.

Finalmente, se diseña el Pavimento de Concreto Poroso, usando los parámetros necesarios del terreno y las condiciones de tráfico que soportará.

En suma, la investigación expresa el diseño de mezcla del Concreto Poroso, las propiedades y características del mismo; y las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para su uso en pavimentos de la ciudad de Cajamarca.

De los constituyentes del concreto poroso

- Según los resultados obtenidos con el uso de cemento Sol Tipo I se obtienen resistencias ligeramente mayores que con el Cemento Pacasmayo Tipo I Mejorado.
- El agregado grueso de la cantera La Victoria utilizado se ajusta al Huso Granulométrico N° 8 (3/8" – N° 8), el cual permite el diseño de mezcla de Concreto Poroso para la ciudad de Cajamarca, empleando el Método del Comité 211 3R 97 para concretos de Cero Slump.

Del concreto poroso en estado fresco y endurecido.

- De las dos tiras plásticas usadas, la tira de mejor comportamiento (tira óptima) fue Tira 1:4mm x 20mm x 0.10mm, con un porcentaje de 0.10% del peso total de la mezcla, la cual produce un incremento de 8.63% de resistencia, respecto a la mezcla sin adiciones, dando una resistencia a compresión de 206.63 kg/cm² y a la flexión de 39.05 kg/cm² a la edad de 28 días.
- Con la adición de tira plástica 1 y cemento Sol Tipo I en la mezcla de concreto poroso, se obtiene mayor resistencia a la flexión respecto a la mezcla de concreto poroso con adición de fibras de polipropileno.
- Se verifica que las mayores resistencias a compresión y a flexión de concreto poroso se obtienen con mezclas que contienen aditivo reductor de agua.
- Con la adición de cemento Sol Tipo I, aditivo reductor de agua y tiras plásticas en la mezcla de concreto poroso, se obtiene mejor relación Costo / Beneficio.

- Como conclusión final podemos afirmar que el diseño de Código: III-IS-D-1PE10-RA (Diseño Base con cemento Sol Tipo I + adición de tiras plástica óptima 0.1% respecto al peso de la tanda + aditivo Reductor de Agua), es adecuado para ser usado, debido a que presenta mejores resultados tanto en su estado fresco como endurecido.

Del pavimento de concreto poroso.

- Calcular el área aportante de esorrentía superficial hacia el pavimento de concreto porosa.
- Obtener datos de infiltración y capacidad portante, en lo que se refiere al suelo de fundación.
- Considerar la pendiente del terreno, las condiciones de tráfico y precipitación a la que será sometido.
- La carpeta de rodadura del pavimento poroso del diseño propuesto, estará formado por una capa de concreto poroso con un volumen de poros de 18% y un espesor de 20 cm, La sub base tendrá un espesor de 20 cm que es el necesario para el drenaje de la lluvia de diseño. Estas dos capas solas tienen un espesor de 40 cm en conjunto, bastante mayor que el total recomendado para el pavimento poroso desde el punto de vista constructivo que es de 17.5cm para el CBR de 12 de la sub rasante. Por lo tanto la base, o filtro granular superior, tendrá el espesor mínimo, que en este caso es de 10 cm. Esta capa estará formada por grava de tamaño medio 1,2cm (1/2"), máximo 2,5 cm (1") y menos del 5% bajo los 0,2 cm. De esta forma el espesor total del pavimento poroso es de 50cm.

Díaz (2010), en su tesis titulad: "*CORRELACIÓN ENTRE LA POROSIDAD Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO*", Universidad Ricardo Palma Lima-Perú

En la presente tesis de Correlación entre porcentaje de vacíos y resistencia del concreto.

Se quiere demostrar que existe una relación entre la resistencia a la compresión y tracción con el logaritmo de la porosidad para diferentes relaciones a/c y diferentes días de curado.

- Para el caso de los ensayos granulométricos realizados, he llegado a la conclusión que se encuentran dentro de los parámetros y límites establecidos según la Norma Técnica Peruana 400.037, por consiguiente los agregados se constituyen en elementos aptos para poder realizar los diseños de mezcla necesarios para los estudios.
- En el caso de los agregados, estos influyen en las propiedades del concreto, tales como la resistencia, durabilidad, conductibilidad, trabajabilidad, asentamiento y otras propiedades más.
- Lo que se debe tomar en cuenta obligatoriamente cada vez que se quiera realizar un diseño de mezcla son 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.
- En los cuadros del peso unitario del concreto para el cemento Tipo I (SOL), se puede apreciar que el concreto elaborado se considera como un concreto de peso normal ya que el peso unitario está dentro del rango de 2200-2500 kg/m³ para las 3 relaciones agua cemento (0,45;0,52 y 0,59).
- Según el gráfico de absorción después de la inmersión observamos que el porcentaje de absorción tiende a disminuir conforme aumentan los días de curado.
- Según el gráfico de absorción después de la inmersión y hervido observamos que el porcentaje de absorción tiende a disminuir conforme aumentan los días de curado.
- Según el gráfico de volumen de vacíos el porcentaje de volumen de vacíos tiende a disminuir conforme aumentan los días de curado.

Escalaya (2006), en su tesis titulada: “*DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS*”, Universidad Nacional de Ingeniería

Actualmente el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es una técnica que se está empleando alrededor del mundo para la construcción principalmente de pequeñas presas y la reparación de éstas. La rapidez de la puesta en obra, el relativamente bajo contenido de cemento y la utilización de aditivos minerales (cenizas volátiles, filler calizo, residuos mineros, etc.), explican el motivo por el cual este material es económicamente interesante para la industria de la construcción.

En el desarrollo de esta tecnología y del diseño de las mezclas CCR han surgido dos filosofías, la filosofía de Suelos o Geotécnica y la de Concreto.

En esta Investigación se ha utilizado la filosofía Geotécnica, que considera que el CCR puede ser tratado como un suelo procesado desde la fase de diseño hasta su colocación y la realización de los ensayos de campo del material, haciendo uso de equipos y procedimientos familiares a la Mecánica de Suelos. Después de colocado el CCR debe ser curado y tratado como si fuera un concreto convencional.

En base a estos principios y teniendo en cuenta que en el Perú esta tecnología no se ha desarrollado ampliamente, se elaboró un programa de investigación con el objeto de proporcionar información orientada a conocer los atributos del CCR y los procedimientos básicos para realizar el diseño de la mezcla por métodos de Compactación de Suelos e identificar sus posibles aplicaciones en nuestro país.

Esta investigación fue desarrollada en los laboratorios de Estructuras y Geotecnia del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se hizo uso de la filosofía de Suelos para el diseño de la mezcla CCR y se desarrollaron ensayos para determinar varias de sus propiedades, adaptándose nuevos equipos para conseguir la preparación y compactación de la mezcla, similar a la que se obtendrá en el campo.

En los laboratorios de Ensayos de Materiales y de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería se determinaron las características de los agregados utilizados en el diseño.

Para las diversas mezclas diseñadas se utilizaron diferentes proporciones de cemento Portland Tipo I y de cemento Puzolánico Tipo IP, se hicieron ensayos de resistencia a la compresión y durabilidad con el fin de comparar los resultados y determinar el diseño de mezclas óptimo. Del mismo modo, se hallaron valores del módulo de elasticidad en diferentes edades, obteniéndose valores que servirán de guía del comportamiento de este material para otros cálculos necesarios y evaluar el uso de las mezclas CCR en diferentes proyectos.

Los resultados de los ensayos indican que la proporción de mezcla usando metodologías geotécnicas provee una alternativa viable para el diseño de mezclas CCR, creándose una opción de solución a problemas relacionados a la construcción de nuevas presas y la rehabilitación de las existentes. Las mezclas obtenidas en esta investigación servirán de modelo para implementar esta técnica en nuestro país, demostrando su desarrollo de una manera sencilla.

El Concreto Compactado con Rodillo o CCR se ha convertido en un material aceptado para la construcción de presas y pavimentos, la rehabilitación y modificación de las presas existentes.

Esta tecnología provee un método económico y rápido de construcción con principios similares al de suelo-cemento y otras construcciones de tierra.

Es necesario hacer notar que el CCR puede ser usado en muchas estructuras diferentes a las presas, aunque el mismo nombre es usado en todos los casos y las características esenciales son las mismas, existen diferencias, algunas de ellas considerables, entre los varios usos.

Esta tesis está relacionada únicamente al CCR para uso en presas. En el desarrollo de la metodología de diseño de mezclas CCR han surgido dos filosofías: la Filosofía de Suelos o Geotécnica y la Filosofía de Concreto, dependiendo del tratamiento que se le ha dado al agregado. No es el propósito de esta tesis juzgar cual filosofía es mejor, debido a que ambas han funcionado satisfactoriamente. Típicamente el diseñador que está más familiarizado a trabajos con ensayos geotécnicos, seleccionará la Filosofía de Suelos.

La presente tesis describe los principios, metodologías y características únicas de esta filosofía para el diseño de mezclas. La Filosofía de Suelos para proporciónamiento de mezclas de Concreto Compactado con Rodillo, considera al CCR como un agregado enriquecido con cemento, compactado a su máxima densidad. La densidad del CCR es determinada para al menos cuatro diferentes contenidos de humedad usando ensayos de compactación de laboratorio Proctor Modificado, lo que permite el cálculo de la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo a utilizar en la mezcla CCR.

Sanchez (2008), en su tesis titulada: "*ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EMPLEO DE DIATOMITA EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO*", Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)

En la presente investigación se abordará el tema de estudio experimental del empleo de diatomita como material cementante suplementario en la producción de concreto de alto desempeño como alternativa al uso de la microsílíce; con la aplicación de la diatomita de la empresa Agregados Calcáreos S.A.

El problema de los concretos de alta resistencia es que con el pasar de los años han presentado serios problemas de durabilidad y para contrarrestarlos se han invertido millones de dólares para sus respectivas reparaciones. Por ello, el interés de este trabajo en investigar acerca de un material puzolánico que brinde – aparte de altas resistencias a la compresión

Para afrontar este problema se dividió el trabajo en seis capítulos. En el primero, se muestra la introducción a antecedentes, clasificación y ventajas de las puzolanas. El segundo, es acerca de las características específicas de los materiales a utilizar. El tercero, está dedicado a las dosificaciones de mezcla. En el cuarto y quinto se muestran y analizan los resultados de los ensayos realizados en estado fresco y endurecido, respectivamente.

En el último capítulo se procede al análisis del estudio costo-beneficio del concreto. Al finalizar el trabajo se llegó, a través de los diversos ensayos al concreto, a la conclusión de que la diatomita sí es una buena alternativa al uso de la microsílice alcanzando resultados similares

- La mezcla con mejor desempeño es la que contiene entre 5% y 10% de diatomita. Sin embargo, para esta investigación el diseño que brinda mejores resultados en los ensayos de permeabilidad, tiene mejor trabajabilidad y brinda mayores beneficios económicos es la que contiene 5%.
- Con los resultados de los ensayos de actividad puzolánica presentados se verifica que la diatomita es un material puzolánico alternativo apto para la producción de concreto.
- Las características de la diatomita cambian entre lotes debido a que es un material que sólo es extraído y sometido a un proceso de molienda variando el contenido de sílice.
- Estas variaciones se reflejan posteriormente en los resultados de los diferentes ensayos realizados al concreto.
- A mayor cantidad de diatomita, la relación agua/cemento aumenta. A pesar de que la cantidad de agua en la mezcla fue siempre constante y la variante fue la cantidad de aditivo necesaria para los diferentes diseños.
- Los resultados obtenidos de los ensayos de asentamiento y peso unitario no varían entre los diferentes diseños, todos están en el rango entre 9" y 11" y 2400 Kg/m³, respectivamente.
- El uso de adiciones a la mezcla no afecta a la temperatura del concreto.

- Con respecto a la fragua se puede decir que a menor cantidad de diatomita, el tiempo de fraguado disminuye de manera directamente proporcional a la cantidad de aditivo usado. Para que este diseño de mezcla sea atractivo técnico y comercialmente se modificó la dosis de aditivo retardante-plastificante, logrando una reducción en el tiempo de fragua alcanzando el de un concreto convencional en la mezcla DCD-05 (09:30 hrs fragua final).
- Como toda puzolana, la microsílíce actúa como un filler a edades tempranas desarrollando su resistencia luego de los 28 días.
- Con respecto al ensayo de resistencia a la compresión, se concluye que a diferentes reemplazos de cemento por diatomita, el desarrollo de la misma cumplió con los resultados esperados de superar los 600 Kg/cm² pero sin alcanzar los 800 Kg/cm² logrados por el concreto con microsílíce.
- En el ensayo de tracción por compresión diametral se obtienen resultados similares, con lo que se concluye que agregar diatomita o microsílíce no aporta beneficios que mejore la tracción del concreto.
- La mezcla más impermeable es la DCD-05 haciéndola menos propensa al ataque por sulfatos y cloruros. Por tanto, el concreto es más durable.
- El contenido de diatomita disminuye la contracción del concreto.
- Para el ensayo de Módulo de Elasticidad se concluye que la mezcla con 10% de contenido de microsílíce tiene un rango elástico más amplio que cualquier mezcla que contenga diatomita.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Moujir, Castañeda (2014), en su tesis titulada: *“DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCRETO POROSO PARA PAVIMENTO”*, Pontificia Universidad Javeriana Cali

En el presente documento se revisará la adecuada aplicación de concreto poroso para pavimentos.

Para lograrlo, el grupo de estudio realizará una serie de pruebas para dos tipos de mezclas de concreto permeable, con y sin agregados finos, para medir su resistencia a compresión y a flexión, permeabilidad, módulo de elasticidad, módulo de rotura, porcentaje de vacíos, entre otros, con el fin de verificar las características del concreto permeable que se debe utilizar en obras de construcción para infraestructura vial.

Para desarrollar el presente trabajo, se abordan tres fases, la primera, una de tipo hermenéutico, con la recopilación, análisis y estructuración de información de tipo bibliográfica, fruto de fuentes científicas de investigación, que brindan la posibilidad de respaldar la investigación con argumentos científicos; En la segunda fase se detallará la metodología con la cual se procede a verificar el adecuado diseño de la mezcla, según sus relaciones agua cemento llegando a los valores apropiados de resistencia a la compresión, en esta fase se exponen los procedimientos, las herramientas y demás factores involucrados en el trabajo; Finalmente, se discuten los resultados de las pruebas realizadas sobre diferentes mezclas, con los cuales se analizan las características de permeabilidad, resistencia y compresión de las diferentes muestras.

El concreto poroso Tipo I, desarrollado en la presente investigación contribuye a la disminución de la escorrentía superficial, utilizando de forma complementaria un sistema de drenaje, el cual permita disponer adecuadamente del agua, sin que ésta afecte las propiedades mecánicas del concreto poroso.

La relación que existe entre la porosidad y la resistencia del concreto son inversamente proporcionales, es decir a mayor cantidad de poros menor es la resistencia del concreto. En esta investigación, pese a que la mezcla Tipo I posee menor cantidad de vacíos, se comporta mejor mecánicamente que la mezcla Tipo II que posee una mayor cantidad de vacíos.

El concreto poroso Tipo I, sirve como una alternativa de mitigación ambiental, debido a que permite que el agua lluvia atraviese su estructura, haciendo que los acuíferos se recarguen.

Según los resultados de los ensayos realizados y la información que se recolectó para la elaboración del documento, el concreto poroso Tipo I se puede utilizar para una estructura de concreto como capa de rodadura en tráfico ligero o liviano.

Implementándose en estacionamientos, ciclo vías, andenes peatonales, entre otras. El concreto poroso Tipo I, desarrollado en la investigación, contribuye con la disminución de la escorrentía superficial, ya que la gran cantidad de poros que contiene le otorga la propiedad mecánica de la permeabilidad, haciendo que los fluidos atraviesen su estructura con mayor facilidad que el concreto convencional.

Para lograr un buen desempeño del concreto poroso Tipo I, en la estructura de un pavimento como capa de rodadura, se debe tener un sistema de drenaje complementario, que disminuya los problemas de colmatación debido a la carencia de finos.

El agregado grueso de ½ pulgada en la mezcla del concreto Tipo I, le permite una mejor manejabilidad a la mezcla, de aquí se infiere que para estos concretos lo ideal es utilizar agregados grueso con tamaños máximos inferiores

El peso unitario del concreto poroso, depende principalmente del porcentaje de vacíos y las propiedades físicas del agregado grueso, en particular del peso específico del agregado.

Para la elaboración de la mezcla Tipo I, es imprescindible la utilización de los aditivos AD-20 y Viscocrete, o en su lugar, aditivos que cumplan el mismo objeto, teniendo en cuenta que las características de la mezcla requieren evitar la pérdida de agua y aumentar el tiempo de manejabilidad, sin alterar las propiedades de la mezcla facilitando el transporte, colocación, vibrado y acabado del concreto.

La resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla Tipo I con Finos, es 7.71% y 3.0 % mayor que la mezcla Tipo II sin finos respectivamente. Por lo que se puede asegurar que la presencia de finos, brinda una mayor cohesión a la pasta que llena los intersticios del agregado grueso, brindándole a las partículas una mayor superficie de contacto, lo que le permite a la mezcla comportarse mejor frente a los esfuerzos de compresión y flexión.

La permeabilidad promedio de mezcla Tipo II sin finos, es mayor que la mezcla Tipo I con Finos, debido a que hay un volumen mayor de vacíos en los intersticios del agregado grueso en la mezcla Tipo I y en la mezcla Tipo II estos vacíos son ocupados por la pasta con finos.

El porcentaje de vacíos de la mezcla Tipo II sin finos, es mayor que la mezcla Tipo I con finos, esto se debe a que la pasta de la mezcla tipo I, por efecto de los finos, brinda mayor cohesión entre partículas y disminuye el volumen de vacíos, por el contrario, la pasta de la mezcla Tipo II es más fluida y solo recubre la superficie del agregado grueso, dejando un volumen mayor de vacíos en la estructura de la mezcla.

El módulo de rotura de la mezcla tipo I con finos, es 3.0% mayor que la mezcla Tipo II sin finos, de esto se puede inferir que el porcentaje de vacíos disminuye la superficie de contacto entre las partículas y que esto a su vez se ve reflejado en una menor resistencia a los esfuerzo de flexión.

López (2004), en su tesis titulada: "*POROSIDAD DEL CONCRETO*"
Universidad de San Carlos de Guatemala

La porosidad es una característica importante del concreto y de ésta dependen en parte otras características como la resistencia a la compresión y la durabilidad. La resistencia a la compresión se sabe que es el dato más relevante para diseñar. La durabilidad se debe de tomar en cuenta porque de esto depende cuánto tardará la obra que se está realizando en buenas condiciones.

Los métodos que existen para poder medir la porosidad (medida en porcentaje) son descritos, entre ellos se encuentra la adsorción de vapor de gas, la observación por microscopio y la técnica más importante que es la porosimetría de intrusión de mercurio.

En la parte experimental se diseñaron mezclas con diferentes relaciones de agua/cemento (A/C) para ver la variación de la porosidad con respecto a la relación A/C, y también cómo variaba en función de la resistencia a la compresión.

Se hicieron dos pruebas, una por observación en microscopio y una por absorción de agua para poder tener un índice de la porosidad que tenían los concretos. Además se hizo un análisis con gráficas para mostrar cómo se relacionaban el porcentaje de vacíos con el asentamiento inicial, resistencia a compresión y relación agua/cemento.

- ✓ Los datos estuvieron bastante exactos cuando se relacionó la resistencia a la compresión (f_c) y la relación agua/cemento (A/C), lo cual indica que las variaciones que existieron en el asentamiento inicial no influyeron en la resistencia a compresión (f_c).
- ✓ En el análisis de los resultados de la observación directa por medio de microscopio fue muy acertado anular los datos que se salían de la tendencia de los demás valores, esto condujo a obtener relaciones muy aproximadas con los datos que se relacionaron.
- ✓ La relación que se obtuvo entre el número de poros observados en el microscopio y la relación A/C así como la resistencia a la compresión son muy similares, con lo cual se puede corroborar la teoría estudiada con antelación.
- ✓ De la misma forma que en la observación, la absorción arrojó datos muy importantes y muy apegados a las regresiones matemáticas que se hicieron, no encontrando mayor dispersión en los resultados.
- ✓ Las limitaciones que existieron para realizar los ensayos, en especial la observación directa por microscopio, impidieron obtener resultados más completos de este procedimiento

Pérez (2009), en su tesis titulada: “*ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CONCRETOS PERMEABLES CON AGREGADOS ANDESÍTICOS*”, Universidad Autónoma de México.

Para alcanzar lo anterior, se ha propuesto los siguientes objetivos:

- Hacer una revisión bibliográfica de los principales aspectos relacionados al concreto permeable.
- Sentar las bases para la fabricación de concretos permeables con agregados andesíticos con un porcentaje de vacíos que cumplan los requisitos de permeabilidad y resistencia.
- Estudiar el comportamiento en estado fresco y endurecido de las mezclas de concreto permeable
- Los resultados de los estudios realizados a las mezclas de concreto permeables diseñadas con 15% y 20% de vacíos elaboradas con agregados que permiten concluir que si cumplen con las propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuadas para su utilización en pavimentos con tránsito ligero u otras aplicaciones.

Las mezclas de concreto permeable en estado fresco resultaron con una consistencia rígida, es decir, con un revenimiento de 0 cm. El peso volumétrico de las mezclas con 15% de vacíos resultó con un promedio de 1944 kg/cm³, y las mezclas con 20% de vacíos con un promedio de 1899 kg/cm³, quedando dentro del rango esperado.

Las propiedades en estado endurecido de las mezclas de concreto permeable resultaron con los valores encontrados en las referencias bibliográficas.

Las mezclas con 15% de vacíos resultaron con un promedio de 196 kg/cm² en resistencia a compresión, 20 kg/cm² en resistencia a tensión indirecta por compresión diametral, 41 kg/cm² en resistencia a flexión y 117,768 kg/cm² en módulo de elasticidad.

Las mezclas con 20% de vacíos resultaron con un promedio de 165 kg/cm² en resistencia a compresión, 15 kg/cm² en resistencia a tensión indirecta por compresión diametral, 37 kg/cm² en resistencia a flexión y 105,378 kg/cm² en módulo de elasticidad.

La mezcla de concreto permeable más resistente se obtuvo utilizando una razón a/c de 0.35, utilizando agregado de 3/4", una dosis de cemento de 350 kg/m³, adicionando un 10% de arena y un porcentaje de vacíos de 15%. Esta dosificación permite obtener resistencias compresión en promedio cercanas a 215 kg/cm² y resistencias a flexión en promedio cercanas a 46 kg/cm². Aunque las mezclas de concreto permeable con agregado de 3/8" presentan menores resistencias, estas resultan con una textura más estética que la obtenida con agregado de 3/4" debido al tamaño de agregado.

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que a menor porcentaje de vacíos, aumentan tanto la resistencia como el peso volumétrico, pero a la vez disminuye la permeabilidad. El porcentaje de vacíos influye de manera muy significativa en todas las propiedades de las mezclas de concreto permeable.

Para que un concreto sea considerado como permeable su coeficiente de permeabilidad debe estar entre 0.20 y 0.54 cm/s.

Los resultados de las pruebas de permeabilidad de esta investigación con un promedio de 0.482 cm/s, permiten concluir que las mezclas con porcentajes de vacíos mayores a 15% satisfacen los valores de infiltración requeridos para que las mezclas sean consideradas como permeables.

Como la mayoría de materiales especiales, el concreto permeable tiene muchas ventajas tecnológicas, sin embargo, para impulsar su uso es necesario continuar con investigaciones futuras, con el fin de ampliar sus aplicaciones y no ser limitadas solamente a áreas de estacionamientos de zonas comerciales o urbanas, zonas de tránsito ligero o sólo en caminos peatonales.

El futuro del concreto permeable dependerá en gran medida de las investigaciones de laboratorio utilizando nuevos materiales y nuevas tecnologías, de la capacitación en el empleo de este concreto y en el impulso, seguimiento y desarrollo de normativas de diseño y especificación existentes.

Torres (2010), en su tesis titulada: "*TECNOLOGÍA DEL CONCRETO PERMEABLE O ECOLÓGICO EN LA CONSTRUCCIÓN*" universidad nacional autónoma de México.

Proporciona información técnica sobre la aplicación de concreto permeable, métodos de diseño, materiales, propiedades, dosificación de mezcla, los métodos de construcción, ensayo e inspección.

El término "concreto permeable" típicamente describe un material compuesto de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua.

La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados, que varían en tamaño de 2 a 8 mm, que permiten el paso del agua con facilidad.

Debido al agotamiento de los mantos acuíferos, tal vez el mayor problema al cual se están enfrentando nuestras autoridades en varias ciudades de la República Mexicana y en otros países del mundo, por lo que el uso de un pavimento permeable ayudaría en mucho a mantener el medio ambiente en el que vivimos, ya que permite la recuperación de agua de lluvia a los mantos acuíferos que son las fuentes naturales de suministro de agua de las ciudades.

Por ejemplo, en su caso, la ciudad de México y de Guadalajara obtiene el 75% del agua potable de los mantos acuíferos.

Si se lograran recargar los mantos acuíferos mediante el uso de pavimentos permeables, se podrían reducir los costos de extracción de agua, que en nuestros días suelen ser muy elevados, debido a que en algunos lugares, el agua se tiene que extraer de pozos muy profundos.

Cabe mencionar que este concreto no ha tenido el éxito esperado, ya que existen empresas que lo elaboran, pero no han tenido la demanda que ellos esperaban debido a la poca resistencia ante cargas de consideración.

Este trabajo trata de plasmar los puntos principales relacionados con el concreto permeable, tal vez parezca muy somera la información, pero se realizó una búsqueda exhaustiva para encontrar esta información, ya que no se ha realizado tanta investigación de este tema, debido a que no fue un material con el éxito que se esperaba.

Cruz, & et al. (2010), indica que: *“DISEÑO DE UN CONCRETO PERMEABLE PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA”*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

La búsqueda constante de nuevos métodos de construcción que reduzcan el impacto en nuestro medio ambiente, hace que cada vez sean más utilizados los materiales de tipo ecológico. Entre los desarrollos de la construcción sustentable se encuentran los pavimentos de concreto permeable.

La principal virtud del concreto permeable es el adecuado manejo del agua de lluvia, que se infiltra a través de este concreto favoreciendo la recarga de acuíferos y previniendo la inundación de las áreas donde se implementa. En la presente investigación, se diseñó un concreto permeable para su utilización en estaciones de lavado de autos, de manera que el agua pueda recuperarse para su tratamiento y reutilización o bien, descarga en los sistemas de alcantarillado con una menor carga de contaminantes.

En el proceso se utilizaron como aditivos al mismo cemento, así como ceniza volante y arena de sílice. Los resultados mostraron el concreto sin agregado fino y humo de sílice como aditivo al 15% desarrolla a los 21 días de edad las propiedades de resistencia necesarias para esta aplicación.

Con base en los resultados anteriores puede concluirse que el humo de sílice es un aditivo adecuado, en comparación con las cenizas volantes, para la elaboración de pavimento con concreto permeable en estaciones de lavado de autos.

Con las dosificaciones utilizadas, se demostró que a medida que se aumenta la concentración de humo de sílice aumenta la resistencia del concreto. En estudios posteriores será necesario valorar su proporción óptima y los costos de su aplicación en comparación con los concretos permeables comerciales.

Barahona, Martínez y Zelaya (2013), en su tesis titulada, *“COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR”*, universidad de El Salvador.

Realizar un Estudio del Comportamiento del Concreto Permeable en función del tipo de agregado grueso utilizado

Determinar las Propiedades Mecánicas (Compresión y Flexión) Hidráulicas (capacidad de filtración) del Concreto Permeable usando el agregado grueso Identificar el Concreto Permeable con la mejores Características tanto Mecánicas e Hidráulicas.

Verificar el Comportamiento, in situ, del Concreto Permeable a través de la utilización de una losa de prueba tipo acera.

El uso del concreto permeable con el agregado grueso de tamaño nominal de 3/8” de las canteras el Carmen, Aramuaca y la Pedrera y según las pruebas de ASTM C-132 Y ASTM C-72 su resistencia es ideal para Superficies de baja intensidad de carga.

La permeabilidad y capacidad de absorción que posee el concreto de las tres canteras con el tamaño de partículas ya dichas, según la norma ACI 522 R es capaz de filtrar mucha más intensidad de lluvia de la que se ha registrado actualmente.

Se determinó según la prueba ASTM C 1701 Prueba de permeabilidad del concreto permeable que no es adecuado la instalación de pavimentos de concreto permeable el lugares donde haya mucho contenido de arcilla y sea del tipo arcilla limosa debido a que requiere una gran restitución del suelo y la capa de base granular sea mayor lo que genera más inversión económica.

Según las pruebas ejecutadas determinamos que el concreto más resistente resulta de la cantera el Carmen con un porcentaje al 15% de vacíos y que el concreto con mayor permeabilidad resulta de la cantera La Pedrera con un porcentaje de vacíos del 25%.

Según la Norma ACI 522R el rango resistencia a compresión del concreto permeable es de 28.55 kg/cm² a 285.51 kg/cm², por lo tanto se concluye que nuestro concreto comprende en tal rango de resistencia.

Se determinó según el método probabilístico de la norma ACI 214 que siete de nueve diseños de mezcla son aceptados ya que su distribución corresponde a una distribución normal, siendo los diseños de mezcla que no cumplen Aramuaca al 20% y El Carmen al 25%.

Se establece que existe un buen control de calidad en la ejecución del concreto permeable debido a que sus datos estaban muy próximos a la media aritmética

Se concluye según lo observado en la losa de prueba que el concreto in situ de un pavimento requiere un barrido constante para evitar que sus poros se tapen y eso evite la infiltración.

El concreto es ideal para ser usado en superficies de bajo tráfico como caminos rurales y en aceras debido a su bajo módulo de ruptura.

Según el análisis Cualitativo que se ejecutó por medio de puntajes el concreto más eficiente es el concreto de la cantera el Carmen con un porcentaje de vacíos del 15%.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Concreto permeable

El concreto permeable o concreto poroso, es definido como un concreto con revenimiento cero con alto grado de porosidad, y con una relación de vacíos alta; consiste de cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, agua . La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que varían en tamaño de 2 a 8 mm.

El contenido de vacíos puede variar de 15% a 35%, y se pueden alcanzar resistencias a la compresión entre 28 a 280 kg/cm². La capacidad de drenaje de un pavimento de concreto permeable variará con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla (Pérez 2009)

El concreto permeable tiene una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

- Vialidades con tráfico ligero.
- Áreas de estacionamiento.
- Andadores y banquetas.
- Ciclopistas.
- Patios y jardines.
- Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores de grandes centros comerciales;
- Pisos de invernaderos para mantener al piso libre de agua estancada.
- Terraplenes de puentes.
- Plataformas en torno de albercas.
- Estructuras de playas y muros marinos (escolleras, rompeolas, pisos para muelles)
- Lechos de sedimentos de plantas para el tratamiento de aguas negras

Generalmente, el concreto permeable sin refuerzo se usa en todas estas aplicaciones por el alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo debido a la estructura porosa de este material (Mendoza 2009)



Figura 1: Superficie con concreto permeable

Fuente: Mendoza (2009)



Figura 2: Superficie con asfalto

Fuente: Mendoza (2009)

2.2.2. Ventajas y desventajas

❖ Ventajas

El concreto permeable que es utilizado en pisos y pavimentos, además de las diversas aplicaciones ya mencionadas anteriormente, presenta grandes ventajas sobre el concreto convencional, sus beneficios no solo son económicos y estructurales ya que también ayuda al medio ambiente (Mendoza 2009)

El concreto permeable tiene muchas ventajas a diferencia de otros materiales permeables que actualmente son utilizados para cubrir el área permeable en la construcción, por ejemplo, el adopasto; se deforma por tener bases con arenas, su uso para el tránsito vehicular es limitado. En andadores, resulta incómodo ya que en el caso de calzado con tacones éstos tienden a incrustarse dañándolos o rompiéndolos, además que en una tormenta moderada alcanza a formarse una capa de agua. Los adoquines y adocretos por su sistema de bases con arena se deforman al contacto con el agua conjuntamente con las cargas que recibe. (Mendoza 2009)

Las ventajas que presenta el concreto permeable sobre el concreto convencional incluyen:

- Por su función permeable en los pavimentos, no interrumpe el Ciclo Hidráulico del Agua en las ciudades, permitiendo inyectar agua pluvial a los mantos acuíferos.
- El control de la contaminación de las aguas pluviales, impidiendo que ésta se vaya por el drenaje y se mezcle con aguas negras.
- Filtra los agentes contaminadores que pueden contaminar las aguas subterráneas y dañar ecosistemas.
- Eliminación o reducción de las dimensiones de las alcantarillas de aguas pluviales.
- Control del escurrimiento de aguas pluviales.
- Por utilizar un sistema de bases con material pétreo no existen deformaciones o baches.

- Por ser un material poroso es autodrenante y autoventilado.
- Por ser una estructura con el 15% al 35% de vacíos, no genera islas de calor como el asfalto y el concreto hidráulico.
- Creación de un impulso adicional de elevación a los aviones durante el despegue por el efecto de enfriamiento.
- Evita encharcamientos y ayuda a evitar saturación en los drenajes en época de lluvias.
- Disminuye las distancias de frenado de los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia, evita el acuaplaneo.
- Mayores facilidades para estacionamientos al eliminar la necesidad de áreas de contención de agua.
- Por no retener agua en su superficie existe baja probabilidad de deslumbramiento por reflexión de la luz sobre película de agua superficial, particularmente por la noche cuando están mojadas.
- Reducción del ruido de interacción entre la llanta y el pavimento.
- Disminuye los gradientes térmicos y de humedad (reflexión mínima de la luz).
- Posibilidad de que el aire y el agua alcancen las raíces de los árboles, aún con el pavimento dentro del canal para riego de los árboles.
- Aumenta la calidad de servicios para usuarios vehicular y peatonal, durante la lluvia, disminuyendo los riesgos de accidentes.
- Por ser un material granular, sin arena, las cargas transmitidas al pavimento se descomponen y distribuyen en forma heterogénea debido a la existencia de puntos de contacto aleatorios. Por ello la carga que llega al terreno es repartida en un área mucho mayor a la que resulta en el caso de los pavimentos con bases tradicionales.
- No es más caro que otros pavimentos de concreto y compite con el asfalto.
- Es compatible con otros materiales usados para pavimentos con el fin de que se logren superficies permeables al combinarlo con estos pisos.
- No requiere de mano de obra especializada, ni de maquinaria sofisticada para su instalación.

- Se puede hacer en varios colores y con distintos tipos de piedra.
- Su base y sistema constructivo es más barato que los tradicionales por lo que el costo final no es más caro que otros pavimentos.
- Se puede fabricar directamente en obra mediante el uso de trompos o revoladoras para concreto o se contrata la mezcla en plantas de premezclados de concreto.
- Se puede instalar a mano mediante el método tradicional de colado, aplicando después una vibro compactación con placa, o se puede aplicar con una máquina “finisher” para pavimentos de asfalto, logrando colocar por día hasta 1,500 m² por turno.
- Por no utilizar acero de refuerzo ni arena, su peso volumétrico es un 20% a 25% más ligero que el concreto convencional.
- El índice de fisuras en el concreto permeable es 25% menor, debido a la baja retracción por el índice de vacíos contenidos en comparación a un concreto convencional.
- No lo afectan agentes externos como: hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, solventes clorados, metil isobutil cetona, acetato de etilo, isoforona, alcoholes, aceites vegetales, aceites minerales. Es resistente a los rayos UV, a la salinidad y álcalis.
- Su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico, por ello los espesores de los pisos permeables pueden ser mucho menores, con la consiguiente reducción en los costos.

El concreto permeable tiene la capacidad de manejar las aguas pluviales al mismo tiempo que provee una infraestructura durable necesaria para el desarrollo. El concreto permeable también es una solución económica a un problema costoso. (Mendoza 2009)

Los pavimentos permeables pueden generar un importante beneficio social, debido a la contribución de estos a mantener las condiciones naturales de una zona.

La experiencia ha mostrado que, de ser así, el control de las inundaciones se consigue con mantener la red de drenaje natural, sin tener que construir grandes colectores. Si en el diseño de nuevas urbanizaciones se consideraran criterios de mínimo impacto, en el futuro tendríamos una ciudad atravesada por muchas quebradas naturales incorporadas armónicamente a la urbanización, en la que no sería necesario invertir en soluciones costosas como los grandes colectores, que no aseguran su efectividad en el tiempo, debido al constante crecimiento de las ciudades. (Mendoza 2009)

❖ **Desventajas**

- Puede perder permeabilidad con el paso del tiempo, al taparse los espacios vacíos con material fino, pigmentos y por la caída de las hojas de los árboles requiere de un mantenimiento a base de agua a presión y el uso de una aspiradora.
- Tiene una menor resistencia al desgaste que el concreto convencional, por lo que solo debe colocarse en zonas de tránsito ligero.
- Debe verificarse la permeabilidad de los suelos. Generalmente, se recomienda una capacidad de filtración de 13 mm/hr, y una capa de suelo de 1.2 m o más. Sin embargo, ahora existen instalaciones de concreto permeable y otros materiales porosos para pavimentación en las regiones arcillosas rojizas de Piedmont en las Carolinas y en Georgia, en donde la capacidad de la infiltración en la subrasante es mucho menor que 13 mm/h. Estos pavimentos facilitan la infiltración y filtración del agua y la recarga de las aguas freáticas, aunque no infiltran toda el agua pluvial de las grandes y excepcionales tormentas.
- Debe evitarse que entren el agua pluvial y el equipo pesado de construcción al área de pavimento permeable.

El pavimento de concreto permeable no debe ser puesto en servicio hasta que toda la tierra removida con pendiente hacia el pavimento permeable haya sido estabilizada por medio de vegetación.

A fin de evitar la colmatación del sistema, son esenciales los controles estrictos de la erosión y de sedimentación durante las actividades de construcción o de formación de paisajes, y deben incorporarse al plan del manejo de las aguas pluviales en el sitio de la construcción.

- El tránsito de construcción (principalmente vehículos) debe ser dirigido hacia fuera del área del pavimento permeable durante su construcción para evitar la compactación de las capas del suelo subyacente y la pérdida de la capacidad de infiltración.
- El mantenimiento debe realizarse periódicamente.

2.2.3 Materiales

El concreto permeable usa los mismos materiales que el concreto convencional, con las excepciones que el agregado fino normalmente se elimina casi por completo, y la distribución del tamaño del agregado grueso se mantiene uniforme. (Mendoza 2009)

El concreto permeable se considera un tipo especial de concreto y puede ser clasificado en dos tipos: uno en el cual la porosidad se presenta en el componente del agregado de la mezcla (concreto de agregado ligero), y otro en el cual la porosidad en la mezcla no es debida a los agregados (concreto permeable). El concreto de agregado ligero puede ser elaborado usando agregados naturales o sintéticos extremadamente porosos. (Mendoza 2009)

- Materiales cementantes

El cemento Portland que satisface las normas ASTM C150, C595, ó C1157, se usa como el aglomerante principal. También pueden usarse materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria, y el humo de sílice, los cuales deben de satisfacer los requisitos de las normas ASTM C618, C989, y C1240, respectivamente (ACI 522, 2006).

Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración (De Solminihac et al.2002).

Es recomendable utilizar una cantidad que fluctúe entre los 270 a 415 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad (Tennis et al., 2004) (Mendoza 2009)

- Agregados

Agregado fino

El agregado fino para un concreto se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas. Deberá estar graduado dentro de los límites que se establecen en la Norma ASTM C 33.

Límites de granulometría para el agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9,50 mm)	100%
No. 4 (4, 75 mm)	95 a 100%
No. 8 (2,36 mm)	80 a 100%
No. 16 (1,18 mm)	50 a 85%
No. 30 (600 µm)	25 a 60%
No. 50 (300 µm)	10 a 30%
No. 100 (150 µm)	2 a 10%

Fuente: ASTM International, Especificación Estándar para Agregados del Concreto ASTM C 33-03, p. 5.

- **Agregado grueso**

El concreto permeable no contiene agregado fino, o tal vez muy poco; y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme. Comúnmente las granulometrías de agregado grueso utilizadas deben de cumplir con la norma ASTM C33, estas son: No. 67 (3/4" a No. 4), No. 8 (3/8" a No. 16), o No. 89 (3/8" a No. 50).

La norma ASTM D448 también puede ser usada para definir las granulometrías. Los agregados grandes proporcionan una superficie más porosa. . (Mendoza 2009)

Las granulometrías del agregado usadas en el concreto permeable generalmente son, ya sea de agregado grueso de un solo tamaño o granulometría de entre 3/4 y 3/8 de pulgada (19 y 9.5 mm). Los agregados redondeados y triturados, tanto los normales como los de peso ligero, han sido usados para hacer concreto permeable y deben satisfacer los requisitos de ASTM D448 y C33.

En general, los agregados finos no deben ser usados en mezclas de concreto permeable, ya que ellos tienden a comprometer la capacidad de conexión del sistema de poros. . (Mendoza 2009)

Recientemente, el concreto permeable ha sido empleado en estacionamientos, pavimentos de tráfico ligero y andadores. Para estas aplicaciones, generalmente se usan tamaños de agregados más pequeños por razones de estética. El agregado grueso de tamaño 89 (3/8" a No. 50) según la norma ASTM C33, ha sido usado principalmente en estacionamientos y andadores, por más de 20 años en Florida (Tennis et al., 2004). (Mendoza 2009)

- **Agua**

La calidad del agua para el concreto permeable está gobernada por los mismos requisitos que para el concreto convencional, en el ACI 301. Como una norma general, el agua que es potable es adecuada para usarla en el concreto. (Mendoza 2009)

Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación de agua-cemento (a/c) relativamente baja (0.30 a 0.40), ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar la pasta y el atascamiento de sistema de poros (ACI 522, 2006). La adición de agua, por lo tanto, tiene que ser vigilada cuidadosamente en el campo. (Mendoza 2009)

2.2.4 Diseño de mezcla

Para el concreto permeable, las relaciones agregado/cemento y a/c son las variables más importantes que afectan las propiedades mecánicas. Se ha encontrado como aceptable un amplio rango de valores de cemento, dependiendo de la aplicación específica. Los aditivos químicos, además de afectar la relación a/c, se usan para influir en la trabajabilidad y los tiempos de fraguado, para mejorar las varias características del concreto permeable, y para mejorar la durabilidad a largo plazo (Mendoza 2009)

Tabla1: *Rangos típicos de las proporciones de materiales en el concreto permeable*

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

Fuente: Tennis et al. (2004)

- **Relación agua-cemento (a/c)**

La dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Utilizando una cantidad insuficiente de agua dará como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento dejando expuesto al agregado produciendo una baja resistencia al desgaste superficial. (Mendoza 2009)

Actualmente, existe consenso sobre el hecho de que la relación agua-cemento es en realidad una covariable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada. Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, el encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico (FCPA, 2002). En la figura 2.2 se muestra tres muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua, con apariencias diferentes. (Mendoza 2009)

En el concreto permeable, el contenido óptimo de agua produce una pasta de cemento muy húmeda con una alta viscosidad. Para una proporción de mezcla, y tamaño y tipo de agregado dados, existe un estrecho rango óptimo para la relación a/c. La pasta de cemento de esta mezcla óptima creará una adherencia suficiente entre las partículas del agregado sin escurrir hacia abajo a través de la red de poros y cerrando la estructura de huecos deseada.

La definición de la relación a/c óptima depende principalmente de las características de granulometría y físicas de los agregados gruesos y del contenido de materiales cementantes de la mezcla. Para el concreto permeable, la relación a/c para obtener la trabajabilidad necesaria usualmente varía en el rango de 0.26 a 0.45.

Se supone que la trabajabilidad del concreto permeable es satisfactoria si se usa suficiente agua de mezclado para impartir a la mezcla una apariencia de un metal mojado.

Al comprimir y soltar un puñado de la mezcla, se deberá tener como resultado una mezcla que no se desmorona, ni presenta huecos, y no debe fluir la pasta de cemento separándose de las partículas del agregado. La consistencia correcta usualmente se obtiene a través de un proceso de prueba e inspección, lo que asegura que cada mezcla contenga la pasta de cemento suficiente para cubrir las partículas gruesas con una delgada capa brillante, dándole un resplandor metálico. (Mendoza 2009)

El adecuado diseño de mezclas dependerá de las propiedades de los materiales usados y de los resultados de las pruebas con dichos materiales. (Mendoza 2009)



Figura 3: Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua.
Fuente: Tennis et al. (2004)

Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua:

- (a) con poca agua,
- (b) adecuada cantidad de agua,
- (c) con demasiada agua (Tennis et al., 2004).

La relación a/c es una consideración muy importante para el desarrollo de la resistencia y la estructura de vacíos del concreto. (Mendoza 2009)

- **Relación agregado-cemento**

La relación agregado-cemento típica varía entre 4:1 a 4.5:1, pero ésta depende fundamentalmente del tipo de agregado. Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga, y durabilidad. (Mendoza 2009)

- **Contenido de agregado grueso**

Las pruebas de peso unitario seco-compactado de agregado grueso (b/b_o) hecho por la National Aggregates Association – National Ready Mixed Concrete Association. Muestra que el peso unitario seco-compactado del agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable. (Mendoza 2009)

Donde:

B/b_o = volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

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

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

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

Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usados para concreto permeable (3/8" a 3/4") los valores b/b_o son muy similares (ACI 211.3R, 1998). La tabla 2.2 muestra los valores de b/b_o para agregado grueso de tamaños No. 8 (3/8") y No. 67 (3/4") para un contenido de agregado fino de 0%, 10% y 20% del total de agregado. (Mendoza 2009)

Los valores de b/b_o , son para material bien compactado. Estos valores deben ser reducidos a 0.07 para material ligeramente compactado. Además se debe reducir el volumen de pasta cuando se usan finos. (Mendoza 2009)

Tabla 2. Valores efectivos de b/b_o

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

Fuente: ACI 211.3R (1998)

El procedimiento de proporciónamiento para concreto permeable está basado en el volumen de pasta necesario para mantener unidas las partículas de agregado, mientras se mantiene la estructura de vacíos necesaria como se muestra en la figura 2.3. La cantidad de agregado depende del peso unitario seco-compactado y de los valores de b/b_o seleccionados de la tabla 2.2 (ACI 211.3R, 1998). Una vez que se determina el volumen de pasta de la figura 2.3 se selecciona la relación a/c , se determinan los pesos del agua y el cemento por metro cúbico de acuerdo con las siguientes relaciones (Mendoza 2009)

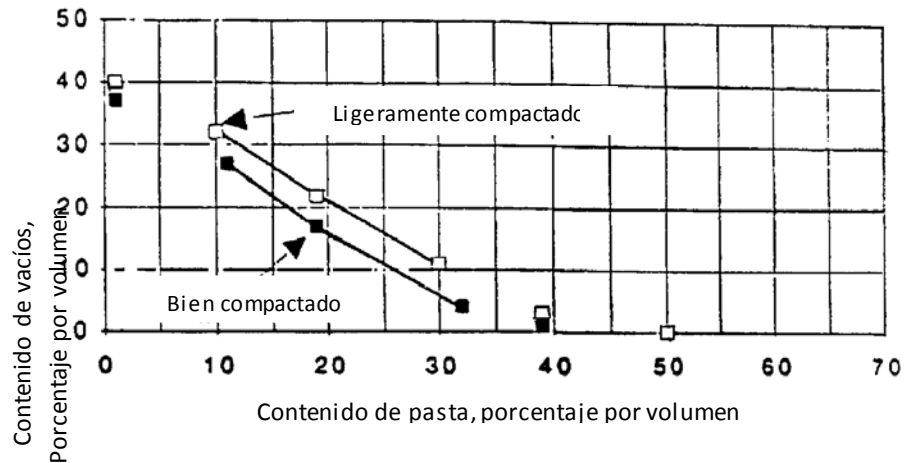


Figura 4: Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta para agregado No. 8 (3/8")

Fuente: ACI 211.3R (1998)

Por lo tanto, una vez que se determina el volumen de pasta de la figura 2.3, se pueden determinar el peso del cemento y el peso del agua. Cuando se usa agregado fino, el volumen de pasta debe ser reducido por cada 10% de agregado fino 2% del total de agregado para concreto permeable bien compactado, y por cada 10% de agregado fino 1% del total de agregado para concreto ligeramente compactado (ACI 211.3R, 1998). Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen. A continuación se presenta un ejemplo sobre la aplicación del método de proporciónamiento (Mendoza 2009)

2.2.5. Propiedades del concreto permeable

- Generalidades

Las propiedades de resistencia del concreto permeable dependen del contenido del material cementante (c), la relación agua-material cementante (a/c), el nivel de compactación, la granulometría y calidad del agregado. Aunque por más de 20 años se ha usado concreto permeable para pavimentar en los Estados Unidos, solo se han llevado a cabo algunas investigaciones para determinar su desempeño.

Estas investigaciones se han basado principalmente en pruebas de laboratorio obteniéndose pocos datos reales de las instalaciones de campo.

Actualmente, existen pocos procedimientos para fabricar y ensayar especímenes de concreto permeable en el laboratorio. (Mendoza 2009)

- **Propiedades en estado fresco**

Peso volumétrico

El peso volumétrico de las mezclas de concreto permeable es aproximadamente 70% del peso volumétrico de las mezclas de concreto convencional. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C29. El peso volumétrico del concreto permeable oscila entre 1,600 a 2,000 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos (Mendoza 2009)

Revenimiento

El revenimiento (asentamiento) se usa para medir la consistencia del concreto. Para una proporción dada de cemento y agregado, sin aditivos, cuanto mayor sea el revenimiento, más húmeda es la mezcla. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C143 (Mendoza 2009)

La mezcla de concreto permeable en estado plástico es rígida comparada con el concreto convencional. El revenimiento, cuando es medido, generalmente varía de 0 a 1 cm (Mendoza 2009)



Figura 5: Asentamiento del concreto

Fuente: (Pérez 2009)

Contenido de vacíos (Porosidad)

El contenido de huecos de aire se calcula como un porcentaje de aire por el método gravimétrico (ASTM C138), y está relacionado directamente con el peso volumétrico de una mezcla dada de concreto permeable. El contenido de vacíos depende en gran medida de varios factores: granulometría del agregado, contenido de material cementante, relación a/c, y la energía de compactación. En la figura 3.1 se muestra el contenido de aire en función de la relación a/c, para dos tipos de compactación (Mendoza 2009)

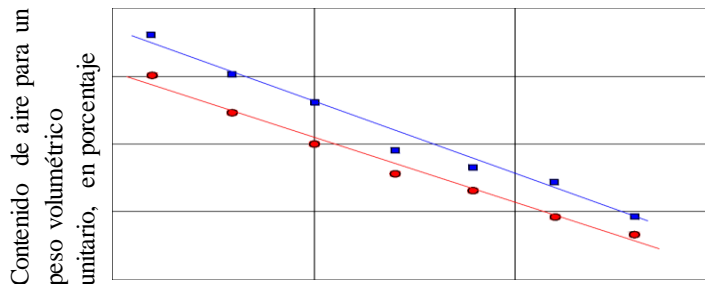


Figura 6: Relación entre el contenido de aire y la relación agua/cemento

Fuente: (Meininger, 1988).

A medida que la porosidad aumenta la resistencia disminuye, en cambio si la porosidad disminuye la resistencia aumenta. Estudios han demostrado, que el porcentaje de vacíos para concretos permeables debe estar en el rango de 14% a 31%. Por lo general, se utiliza un porcentaje de vacíos de 15% a 25%, para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm^2 . En la figura 3.2 se muestra la estructura interna de un concreto permeable, donde se pueden observar los vacíos (Mendoza 2009)

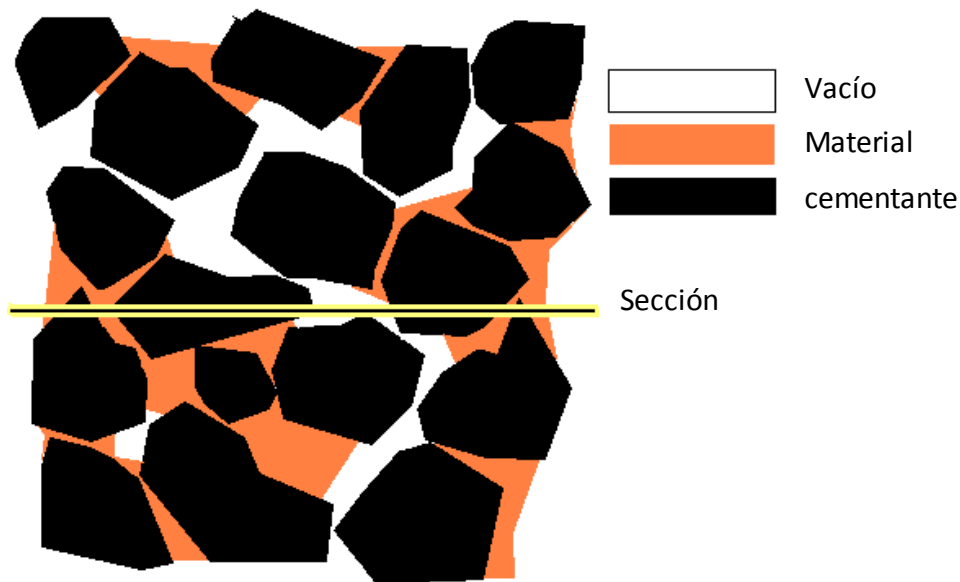


Figura 7: Estructura interna de un concreto permeable

Fuente: Schaefer et al. (2006).

La energía de compactación tiene una influencia en el contenido de huecos de aire (y el peso volumétrico correspondiente), de una mezcla dada de concreto permeable. En una serie de pruebas de laboratorio, una misma mezcla de concreto permeable, compactada con ocho diferentes niveles de energía, produjo valores de peso volumétrico que variaban de 1680 a 1920 kg/m^3 . La variación de los pesos volumétricos (y el contenido de huecos de aire correspondiente) puede tener un efecto importante en la resistencia a la compresión del concreto permeable (ACI 522, 2006). (Mendoza 2009)

- **Propiedades en estado endurecido**

Resistencia a compresión

La resistencia a compresión del concreto permeable se ve afectada principalmente por la proporción de la matriz y el esfuerzo de compactación durante la colocación (Mendoza 2009)

Depende primordialmente de las propiedades de la pasta y de la relación entre la pasta y el agregado. Para mejorar la resistencia del concreto permeable, se deben mejorar tres aspectos: la resistencia de la pasta, la pasta alrededor del agregado y la cohesión entre el agregado y la pasta. Esto se puede lograr usando tamaños de agregados más pequeños y/o usando aditivos. En la figura 3.3 se muestra la resistencia a compresión que puede ser alcanzada con diferentes porcentajes de vacíos, para dos diferentes tamaños de agregados (3/8" y 3/4") (Mendoza 2009)

Aunque la relación a/c de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a compresión y la estructura de huecos, la relación entre a/c y la resistencia a compresión del concreto convencional no es significativa (ACI 522, 2006). Una relación a/c alta puede dar como resultado que la pasta fluya desde el agregado y llene la estructura de huecos. Una baja relación a/c puede dar como resultado una adherencia reducida entre las partículas del agregado y problemas de colocación. La experiencia ha mostrado que una a/c entre 0.26 a 0.45 proporciona un buen recubrimiento del agregado y estabilidad de la pasta (Mendoza 2009)

El contenido de material cementante total de una mezcla de concreto permeable es importante para el desarrollo de la resistencia a compresión y la estructura de huecos. Un contenido de pasta alto dará como resultado una estructura de huecos llena y, en consecuencia, menor porosidad. Un contenido de material cementante insuficiente puede dar como resultado una capa reducida de pasta envolvente del agregado y una menor resistencia a compresión. El contenido óptimo de material cementante depende principalmente del tamaño y la granulometría del agregado (Mendoza 2009)

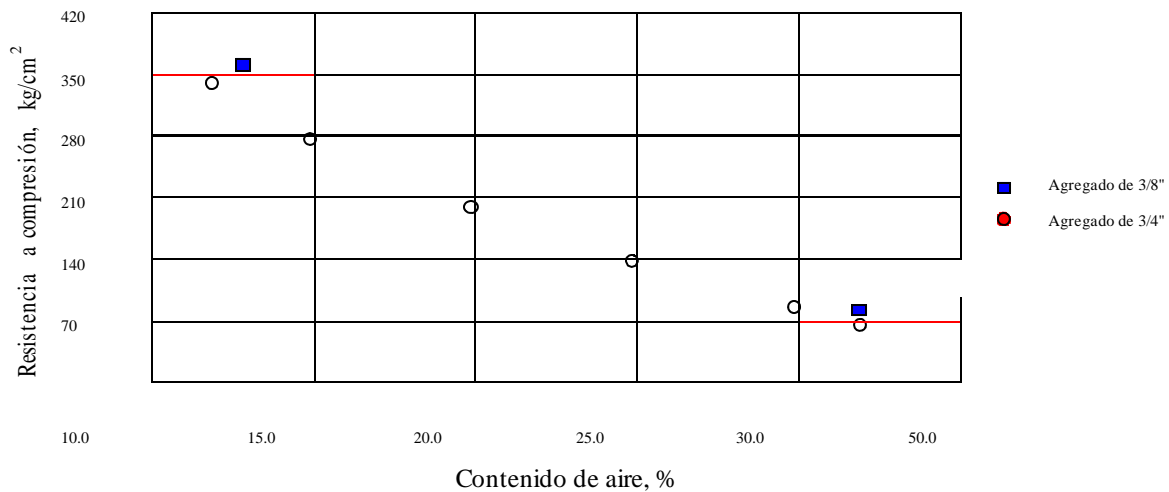


Figura 8: Relación entre la resistencia a compresión a 28 días y el contenido de aire para agregado de 3/8" y 3/4" (ACI 211.3R, 1998).

Fuente: ACI 211.3R (1998)

NOTA: Estas resistencias pueden variar dependiendo del tipo de agregado

Resistencia a flexión

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C78. (Mendoza 2009)

La resistencia a la flexión es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto permeable, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico ordinario, comúnmente es 30% de la resistencia a la compresión, es decir, relativamente más alta que en el concreto ordinario (FCPA, 1990). (Mendoza 2009)

Muestra la relación entre la resistencia a la flexión del concreto permeable y el contenido de huecos de aire.

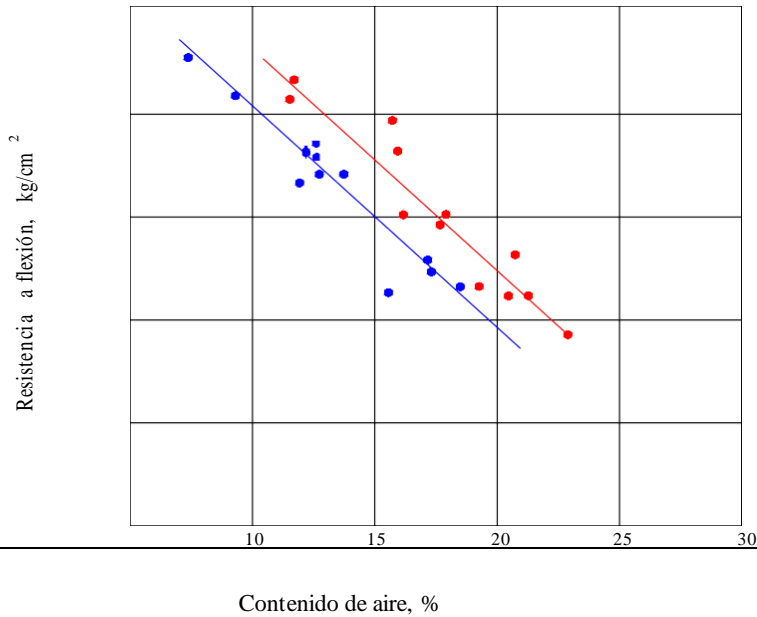


Figura 9: Relación entre la resistencia a flexión y el contenido de aire con agregados de 3/8" y 3/4"

Fuente: Meininger (1988).

La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40.0 kg/cm². Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la proporción agregado-cemento. Sin embargo, la típica aplicación constructiva del concreto permeable no requiere la medida de resistencia a la flexión para el diseño. (Mendoza 2009)

Muestra la relación entre las resistencias a compresión y a flexión del concreto permeable para una serie de pruebas de laboratorio. (Mendoza 2009)

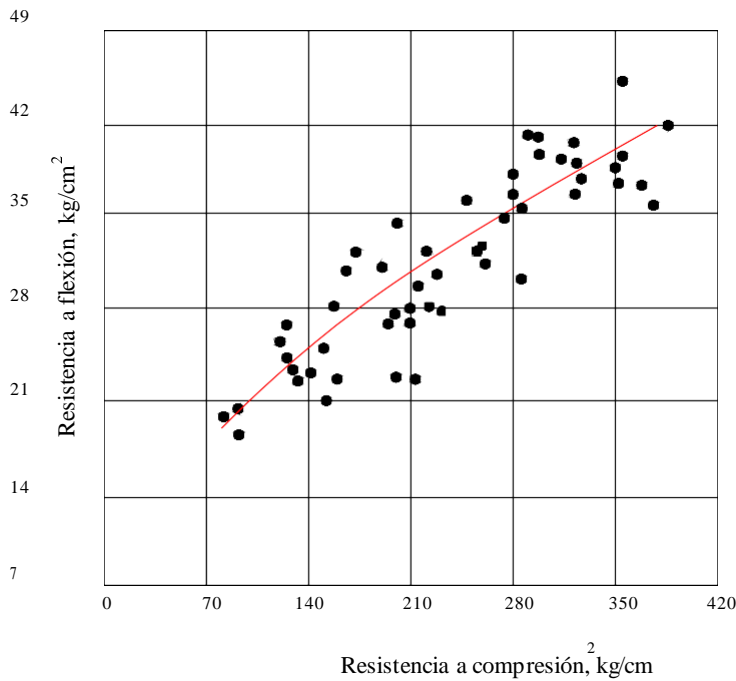


Figura 10: Relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión para el concreto permeable

Fuente: Meininger (1988).

Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad que permite la filtración de un fluido, a través de los espacios interconectados en el concreto. (Mendoza 2009)

El sistema de vacíos presente en la estructura del concreto es el que le da esta propiedad.

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. Un concreto, cuanto más poroso sea, será más permeable y tendrá una posibilidad de absorción capilar más importante. Por lo tanto, la capacidad de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de huecos de aire. Las pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de huecos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa (Meininger, 1988).

Puesto que la capacidad de filtración se incrementa a medida que se incrementa el contenido de huecos de aire y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión, el reto en el proporcionamiento de una mezcla de concreto permeable consiste en lograr un equilibrio entre la capacidad de filtración aceptable y una resistencia a la compresión también aceptable. (Mendoza 2009)

Además, la capacidad de filtración del concreto permeable depende de la selección de los materiales, así como de las proporciones a utilizar, preparación del concreto, proceso de colocación y su posterior curado. (Mendoza 2009)

La capacidad de filtración del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 120 a 320 L /m²/min (0.2 a 0.54 cm/s). Para que se pueda asegurar el flujo del agua se recomienda al menos 15% de contenido de vacíos (Meininger 1988)



Figura 11: Capacidad de filtración del concreto permeable en un estacionamiento

Fuente: Meininger (1988)

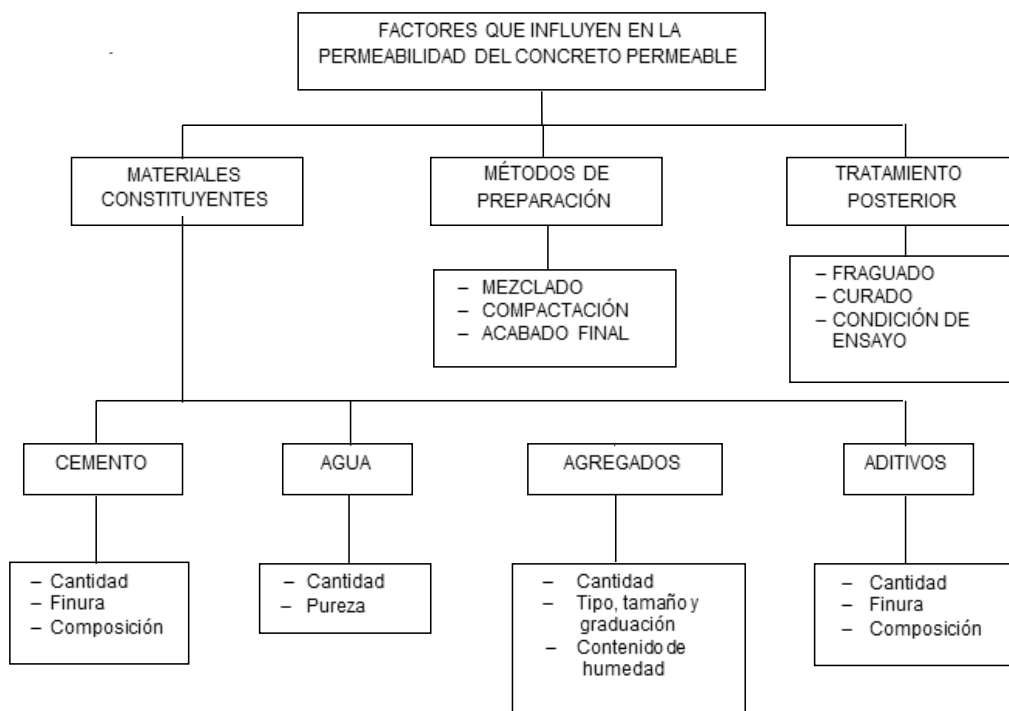


Figura 12: Factores que influyen en la permeabilidad del concreto

Fuente: Meininger (1988)

Para evaluar la capacidad de filtración del concreto permeable, el método normalmente utilizado en la mayor parte de los países del mundo, es el medir su permeabilidad mediante la utilización de permeámetros. Uno de los más utilizados y normalizado en varios países, es el permeámetro LCS (Leachate Collection System), que mide el tiempo que tarda en descender el nivel de agua entre dos marcas, evacuando el agua a través un pequeño orificio.

A pesar de que el permeámetro LCS permite obtener resultados adecuados de permeabilidad para comparar distintos estados de permeabilidad de un pavimento, no es muy representativo de la forma real en que se presentan las lluvias. (Mendoza 2009)

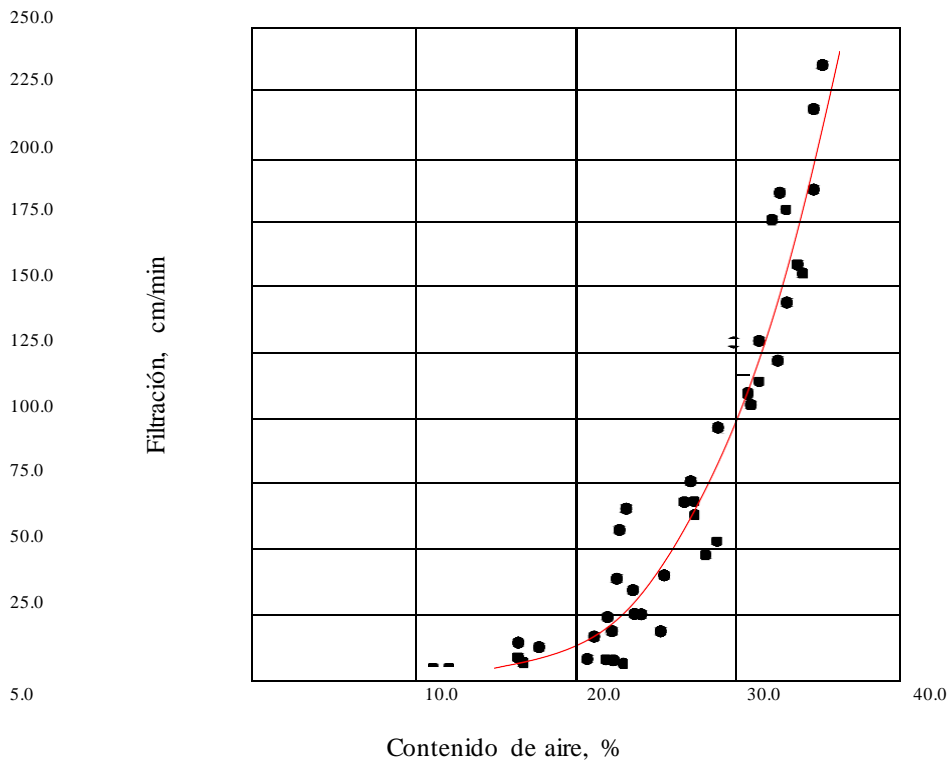


Figura 13: Relación entre la filtración y el contenido de aire para el concreto permeable.

Fuente: Meininger (1988)

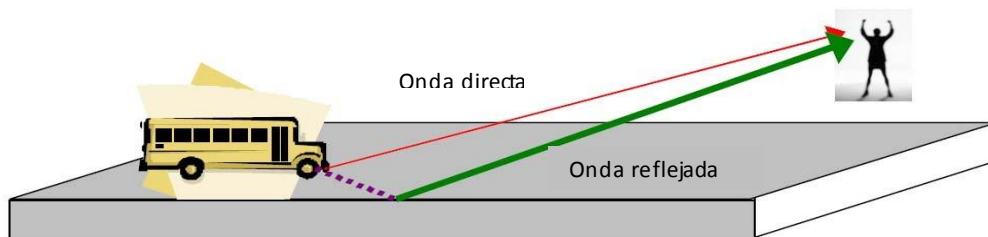
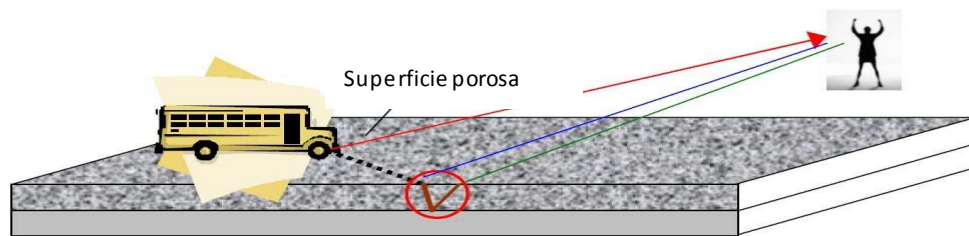
Además, la experiencia ha mostrado que sus mediciones no son muy sensibles al estado del pavimento después de una limpieza, pudiendo los efectos parecer muy pequeños, nulos e incluso negativos; por ello se hizo necesario desarrollar sistemas de medición complementarios. Uno de estos dispositivos es el permeámetro de Zarauz, que a diferencia del LCS deja caer el agua al pavimento desde una cierta altura, filtrándose libremente sobre este, lo cual representa de mejor forma la realidad. (Mendoza 2009)

Con este método se toman dos tipos de medidas: tiempo total de la desaparición del agua de la superficie y la máxima distancia recorrida por el agua antes de su penetración (De Solminihac et al., 2002).

Absorción acústica

La estructura abierta del concreto permeable debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en el material, permite que sea altamente efectivo en la absorción acústica. El material puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por la interacción de las llantas y el pavimento de concreto. La reducción de ruido ocurre debido a la combinación de la menor generación de éste y el incremento en la absorción del sonido. Los pavimentos permeables alteran la generación del ruido, minimizando el bombeo del aire entre la superficie de la llanta y la superficie de la carretera. Además, los poros absorben el sonido a través de la fricción interna entre las moléculas de aire en movimiento y las paredes de los poros (ACI 522, 2006). (Mendoza 2009)

a) Reflexión del sonido en una superficie de concreto asfáltico.



b) reflexión del sonido en una superficie de concreto permeable.

Figura 14: Reflexión del sonido debido al movimiento de vehículos
Fuente: Schaefer et al., 2006)

La estructura abierta del pavimento permeable disminuye el nivel de intensidad del ruido, debido a que los pavimentos porosos absorben el sonido (Mendoza 2009)

Para evaluar las características de la absorción del sonido por el concreto permeable, debe emplearse un tubo de impedancia. Los especímenes cilíndricos con un diámetro de 95 mm pueden ser acomodados en el tubo de impedancia. La muestra se coloca en el interior de una camisa delgada cilíndrica de teflón, dentro de la cual se coloca ajustadamente. La muestra se coloca contra un respaldo rígido en un extremo del tubo de impedancia, que está equipado con una fuente de sonido. Se genera una onda acústica plana por la fuente de sonido y se propaga a lo largo del eje del tubo. Los micrófonos colocados a lo largo del tubo se usan para detectar la presión de la onda de sonido transmitida a la muestra y la porción de la onda que es reflejada (ASTM E 1050). El coeficiente de reflexión de la presión R es la relación de la presión de la onda reflejada con la de la onda de entrada, a una frecuencia particular. (Mendoza 2009)

El coeficiente de absorción α es una medida de la capacidad de un material para absorber el sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 1.0 indica un material puramente absorbente, mientras que un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflexivo. El concreto normal, por ejemplo, generalmente tiene un coeficiente de absorción del orden de 0.3 a 0.5 (Neithalath et al., 2005). El concreto permeable generalmente tiene un coeficiente de absorción que varía desde 0.1 (para mezclas que se desempeñan pobremente) hasta casi 1 (para mezclas con un volumen de poros y tamaños óptimos).

El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas de sonido que golpean con fuerza, y por eso, es importante seleccionar un grosor apropiado del concreto permeable a fin de minimizar los sonidos de la frecuencia deseada, generalmente de 800 a 1200 Hz, siendo este el rango más objetable para el oído humano (ACI 522, 2006)

Durabilidad

La durabilidad del concreto se puede definir como la capacidad del concreto para resistir a la acción del medio ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los efectos físicos que influyen adversamente en la durabilidad del concreto permeable incluyen exposición a temperaturas extremas y a químicos tales como sulfatos y ácidos. No se ha llevado a cabo ninguna investigación sobre la resistencia del concreto permeable a los sulfatos o ácidos. La durabilidad del concreto permeable bajo condiciones de congelación y deshielo tampoco está documentada (ACI 522, 2006).

Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto (Kosmatka et al., 2004).

Resistencia a la congelación y deshielo

Se espera que el concreto permeable empleado en pavimentos tenga una vida larga y poco mantenimiento. El concreto debe tener una buena durabilidad para resistir a condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo potencialmente más destructivo es la congelación y deshielo (hielo-deshielo) mientras el concreto está húmedo, principalmente en la presencia de descongelantes. (Mendoza 2009)

El deterioro es causado por la congelación del agua y su posterior expansión en la pasta, agregado o ambos.

La resistencia a la congelación y deshielo del concreto permeable en el campo depende del nivel de saturación de los vacíos en el concreto en el tiempo muy frío. En el campo, parece que las características de rápido drenado del concreto permeable evita la saturación. Pocos pavimentos de concreto permeable han sido construidos en áreas más frías que las de Carolina del Norte o el área de Puget Sound y estos han estado en servicio por más de 10 años. (Mendoza 2009)

Cuando el agua se congela, se expande en aproximadamente 9%. Los cristales de hielo expandidos desplazan el agua. A bajos contenidos de agua, no se desarrolla presión hidrostática. Sin embargo, si los microporos en el aglomerante de concreto están saturados o casi saturados cuando empieza la congelación, entonces se acumula una presión hidrostática a medida que progresa la congelación (ACI 522, 2006).

Una porción de concreto permeable sin aire incluido y completamente saturado tuvo pobre resistencia a congelación y deshielo cuando se probó en el laboratorio, de acuerdo con el procedimiento A de ASTM C 666 (Neithalath et al., 2005), pero este método no es recomendable para evaluar la resistencia a la congelación y deshielo del concreto permeable, ya que no simula el desempeño en campo. Actualmente, no existe ningún método estándar para evaluar la resistencia a congelación y deshielo del concreto permeable. Un factor importante es la capacidad para drenar cualquier cantidad de agua que entra en su estructura en las condiciones de clima anticipadas. (Mendoza 2009)

Para que el concreto permeable mejore su resistencia a la congelación y deshielo, se recomienda lo siguiente:

- Utilizar una capa de 20 a 60 cm de grueso de una base de agregado sin finos debajo del concreto permeable.
- Incorporar un aditivo inclusor de aire en la mezcla de concreto permeable.
- Colocar un tubo de PVC en la base del agregado para capturar toda el agua y permitir que drene hacia fuera por debajo del pavimento.

El concreto permeable no es recomendado en ambientes de congelación y deshielo en donde el nivel freático se eleva a un nivel menor que 90 cm de la subrasante.

El concreto permeable que está parcialmente saturado debe tener suficientes huecos para el desplazamiento del agua, y así obtener una buena resistencia a la congelación y deshielo.

Resistencia a los sulfatos

Muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir un concreto permeable o convencional que no fue adecuadamente diseñado. Los sulfatos (por ejemplo sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio) pueden atacar un concreto pues reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento hidratada. Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta de cemento, resultando en desintegración del concreto (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia). El sulfato de calcio ataca el aluminato de calcio hidratado y forma etringita. El sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio y aluminato de calcio hidratado, formando etringita y yeso. El sulfato de magnesio ataca, de manera similar, al sulfato de sodio y forma etringita, yeso y también brucita (hidróxido de magnesio). La brucita se forma en primer lugar en la superficie del concreto, consume el hidróxido de calcio, baja el pH en la solución de los poros y entonces descompone el silicato de calcio hidratado (Kosmatka et al., 2004).

Los agentes agresivos químicos en el suelo o en el agua, como son ácidos y sulfatos, son una preocupación para el concreto convencional e igual para el concreto permeable, y los mecanismos de ataque son similares. Sin embargo, la estructura abierta del concreto permeable puede que haga más susceptible al ataque sobre una gran área. El concreto permeable puede ser usado en áreas de alto contenido de sulfatos y agua contaminada siempre y cuando el concreto esté aislado de estos. (Mendoza 2009)

La colocación de concreto permeable sobre una capa de 15 cm con tamaño máximo de agregado de 25 mm proporciona una base para el pavimento, almacenamiento de las aguas de lluvia, y aislamiento para el concreto permeable.

Resistencia a la abrasión

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto permeable necesita tener alta resistencia a la abrasión.

Resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión está relacionada directamente con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión (Kosmatka et al., 2004).

Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y del curado, se requiere de una baja relación agua-cemento y un adecuado curado para mejorar la resistencia a la abrasión. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento usado también tienen gran influencia sobre la resistencia a la abrasión. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado más blando y una superficie acabada con llana de metal resiste mejor al desgaste que una superficie que no ha sido alisada. (Mendoza 2009)

Debido a la textura más áspera de la superficie y estructura abierta del concreto permeable, la abrasión y desintegración de las partículas de agregados puede ser un problema, particularmente en regiones donde se usa quitanieves para limpiar pavimentos. Esta es una razón del porqué el concreto permeable no es adecuado para ser usado en autopistas. Sin embargo, existen evidencias que indican que los pavimentos de concreto permeable permiten que la nieve se derrita más rápido, requiriendo menos remoción de ésta (Tennis et al., 2004).

La mayoría de los pavimentos de concreto permeable tendrán menor cantidad de agregados sobre la superficie a las pocas semanas de haber abierto el tráfico. Estas partículas son desprendidas inicialmente de la superficie y son desalojadas hacia fuera por el tráfico pesado. Después de pocas semanas, la desintegración de la superficie se reduce considerablemente y la superficie del pavimento vuelve a ser más estable. Una compactación y técnicas de curado adecuadas pueden reducir la ocurrencia de la desintegración de la superficie. (Mendoza 2009)

Diseño de concreto permeable

Las proporciones de mezcla fueron realizadas de acuerdo a la tabla y en experiencias anteriores con el concreto permeable que se encontraron en todas las tesis revisadas y estudiadas detalladamente, para lo que se plantearon las tres proporciones.

Tabla 3. *Proporciones de concreto permeable*

Rangos típicos* de proporciones de materiales en el concreto permeable**	
Materiales cementantes	270 – 415 kg/m ³ (450 – 700 lb/yd ³)
Agregados	1190 – 1480 kg/m ³ (2000 – 2500 lb/yd ³)
Relación agua/ cemento (w/c)	0.27 – 0.30:1***
Relación agregado/cemento	4 – 4.5:1***
Relación agregado fino/cemento	0 – 1:1****

Fuente: ACI 211.3R (1998)

Se trató de que se diferenciaron en la cantidad de agregado para conocer su resistencia y permeabilidad, de manera que se pueda conocer cómo debería ser una dosificación para que el concreto permeable para veredas de parques y alcance sus propiedades mecánicas óptimas.

Teórico

Los cálculos para determinar la cantidad de material para cada mezcla se realizó de la siguiente manera:

Cemento: agregado fino: agregado grueso: agua

- 1: 0,385: 4.8: 0,35
- 1: 0,59: 4,4: 0,35
- 1: 0,3: 4,15: 0,35

Dosificación

Tomamos tres proporciones de mezcla para poder comprobar la cantidad necesario de agregados, agua y cemento. Y así obtener un concreto óptimo que cumpla la resistencia y la permeabilidad adecuada del concreto permeable.

Se planteó un peso específico del concreto permeable de 1 700 kilogramos por metro cúbico, para lo que la cantidad de material a utilizar por cada mezcla se calculó de la siguiente manera

Mezcla 1:

1: 0,385: 4,8: 0,35

$$\begin{array}{r} \text{Cemento: } 1 \times \frac{1\,700}{1 + 0,385 + 4,8 + 0,35} = \frac{1\,700}{6,535} = 260.13 \text{ kg} / \text{m}^3 \end{array}$$

$$\text{Agregado fino: } 0,37 \times 260.13 = 96.25 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agregado g: } 4,87 \times 260.13 = 1230,16 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agua: } 0,49 \times 260.13 = 125,44 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Mezcla 2:

1:0,59: 4,4: 0,35

$$\begin{array}{r} \frac{1\,700}{1 + 0,59 + 4,4 + 0,35} = \frac{1\,700}{6,34} = 268.14 \end{array}$$

$$\text{Cemento: } 1 \times 268.14 = 268.14 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agregado fino: } 0,37 \times 268.14 = 99.21 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agregado g: } 4,87 \times 268.14 = 1305.84 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agua: } 0,49 \times 268.14 = 131.38 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Mezcla 3:

1:0,3: 4,15: 0,35

$$\frac{1\ 700}{1 + 0,3 + 4,15 + 0,35} \quad \frac{1\ 700}{5,8} = 293.1$$

Cemento: $1 \times 293.1 = 293.10 \text{ kg /n}^3$

Agregado fino: $0,37 \times 293.1 = 108.44 \text{ /n}^3$

Agregado g: $4,87 \times 293.1 = 1427.4 \text{ kg /n}^3$

Agua: $0,49 \times 293.1 = 143.62 \text{ kg /n}^3$

Peso unitario

El peso unitario se realizó conforme a la Norma ASTM C 1688, para lo cual se utilizó un cilindro con un peso de 3,63 kilogramos y volumen de siete litros. Se llenaron dos capas por ensayo, compactando el concreto con un martillo proctor estándar (cinco libras) con 20 golpes por capa. Los resultados fueron los siguientes:



Figura 15. Peso unitario del concreto permeable fresco

Fuente: (rodas 2012)

Mezcla 1:

Tara: 3,63 kg

Peso Bruto: 13,02 kg

Volumen de tara: 7 litros (0,007 m³)

$$P.U. = 13.02 - 3.63 / 0.007 = 1341,43 \text{ kg/m}^3$$

Mezcla 2:

Tara: 3,63 kg

Peso Bruto: 13.41 kg

Volumen de tara: 7 litros (0,007 m³)

$$P.U. = 13.41 - 3.63 / 0.007 = 1397.14 \text{ kg/m}^3$$

Mezcla 3

Tara: 3,63 kg

Peso Bruto: 12.61 kg

Volumen de tara: 7 litros (0,007 m³)

$$P.U. = 12.61 - 3.63 / 0.007 = 1282.86 \text{ kg/m}^3$$

Porcentaje de vacíos

Según la Norma ASTM C 1688, el porcentaje de vacíos se puede obtener mediante el peso unitario del concreto

Mezcla 1:

Peso unitario teórico: 1700 kg/m³

Peso unitario real: 1341.43 kg/m³

$$P.V. = \frac{1700}{1341.43} \times 100 = 21.09\%$$

Mezcla 2:

Peso unitario teórico: 1700 kg/m³

Peso unitario real: 1397.14 kg/m³

$$P.V. = \frac{1700}{1397.14} \times 100 = 17.81\%$$

Mezcla 3:

Peso unitario teórico: 1700 kg/m³

Peso unitario real: 1282.86 kg/m³

$$P.V. = \frac{1700}{1282.86} \times 100 = 24.53\%$$

Compresión

Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado a una edad de 28 días; se le conoce con el símbolo f_c . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas en cilindros que miden 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura.

Para determinar la resistencia a compresión del concreto permeable, se tomaron 3 cilindros con diferentes tipos de proporciones para obtener un valor confiable. Se ensayaron dichos cilindros de 28 días por ser considerados los que dan resultados más significativos.



Figura 16. Cilindros de concreto permeable para ensayo a compresión

Fuente: (Nelson Huayllacayan 2017)

Tabla 4. Resistencia a la compresión

Diseño de Mezcla	Edad	Proporción	Resistencia a la compresión
1	28	1 : 0385 : 4.8 : 0.35	60.82 kg/cm ²
2	28	1 : 0.59 : 4.4 : 0.35	85.94 kg/cm ²
3	28	1 : 0.3 : 4.15 : 0.35	50.13 kg/cm ²

Fuente: (Nelson Huayllacayan 2017)

Permeabilidad

La permeabilidad se determinó de acuerdo la Norma ASTM C 1701. Se fabricaron bloques, para cada diseño de mezcla para poder determinar el cambio de infiltración según la cantidad de agregados en el concreto permeable. La tasa de infiltración deberá ser como mínimo 0,20 centímetros por segundo (285 pulgadas por hora). Se utilizó un anillo de pvc (4") con diámetro de 10.770 centímetros y altura de 5 centímetros 1/2LT de agua, (debido a que 3.5 lt se infiltraban en menos de 30 segundos) por cada bloque.

Tabla 5. *Resultado de infiltración*

Diseño de Mezcla	Edad	Proporción	infiltración
1	28	1 : 0385 : 4.8 : 0.35	12.6 mm/s
2	28	1 : 0.59 : 4.4 : 0.35	9.9 mm/s
3	28	1 : 0.3 : 4.15 : 0.35	11.38 mm/s

Fuente: (Nelson Huayllacayan 2017)

Tabla 6. *Resumen de resultados, pruebas a 28 días*

Mezcla	1	2	3
Proporciones	1 : 0385 : 4.8 : 0.35	1 : 0.59 : 4.4 : 0.35	1 : 0.3 : 4.15 : 0.35
Peso unitario kg/m ³	1341,43 kg/m ³	1397.14 kg/m ³	1282.86 kg/m ³
Porcentaje de vacío	21.09%	17.81%	24.53%
Resistencia a la compresión kg/cm ²	60.82 kg/cm ²	85.94 kg/cm ²	50.13 kg/cm ²
Permeabilidad mm/s	12.6 mm/s	9.9 mm/s	11.38 mm/s

Fuente: (Nelson Huayllacayan 2017)

2.3. Definición de términos Básicos

- ❖ **Aditivos:** Los aditivos son productos que se adicionan en pequeña proporción al concreto durante el mezclado en porcentajes entre 0.1% y 5% (según el producto o el efecto deseado) de la masa o peso del cemento, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo en una forma susceptible de ser prevista y controlada.
- ❖ **Agregados:** Se entiende por agregados a una colección de partículas de diversos tamaños que se pueden encontrar en la naturaleza, ya sea en forma de finos, arenas y gravas o como resultado de la trituración de rocas.
- ❖ **Peso unitario:** es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y húmeda es que se efectúa el ensayo, expresada en kg/m³
- ❖ **Densidad:** La densidad del suelo es definida como la relación entre la masa y el volumen
- ❖ **Permeable:** La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atravesase sin alterar su estructura interna
- ❖ **Slump:** es el ensayo que se realiza al hormigón en su estado fresco, para medir su consistencia ("fluidez" del hormigón).
- ❖ **Fuerza de compresión:** Un cuerpo está sometido a un esfuerzo de compresión cuando se le aplican dos fuerzas con la misma dirección y sentidos contrarios provocando un abombamiento en su parte central y reduciendo su longitud inicial
- ❖ **Fuerza de tracción:** Decimos que un elemento está sometido a un esfuerzo de tracción cuando sobre él actúan fuerzas que tienden a estirarlo.
- ❖ **Fuerza de flexión:** Un elemento estará sometido a flexión cuando actúen sobre él cargas que tiendan a doblarlo. En un esfuerzo de flexión se dan los esfuerzos de tracción y compresión a la vez, pues cuando el cuerpo se hunde, una parte sube hacia fuera (tracción), mientras que otra se hunde hacia dentro (compresión).

- ❖ **Asentamiento:** El asentamiento es una propiedad que no define la calidad del concreto poroso a diferencia del concreto convencional, sin embargo sirve para adquirir conocimiento acerca de la manejabilidad de la mezcla. Los valores que se usaron en la investigación estaban dentro de los rangos convencionales
- ❖ **Tiempo de fraguado:** Debido a la consistencia de la mezcla del concreto poroso el tiempo de fraguado se reduce, por lo que se debe tener en cuenta la inclusión de aditivos que permitan la adecuada colocación
- ❖ **Porosidad:** Es equivalente al porcentaje de vacíos o fracción de huecos dentro de la estructura de concreto, según investigaciones anteriores se establece que dicho porcentaje debe estar en el rango del 15% al 25% para denominar la estructura porosa.
- ❖ **Permeabilidad:** Es la capacidad que tiene el concreto poroso de permitir el flujo de agua atravesar su interior con la característica de no alterar su estructura. Esta propiedad se puede alterar si no se tienen en cuenta los métodos de colocación para el concreto poroso.
- ❖ **Vereda:** Una vereda puede ser un camino estrecho formado por el tránsito de personas y animales.
- ❖ **Cemento:** Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire.
- ❖ **Cono de abrams:** es un instrumento metálico que se utiliza en el ensayo que se le realiza al hormigón en su estado fresco para medir su consistencia ("fluidez" o "plasticidad" del hormigón fresco).
- ❖ **Mixer:** es un aparato o máquina empleada para la elaboración del hormigón o concreto. Su principal función es la de suplantar el amasado manual de los diferentes elementos que componen el hormigón: cemento, áridos y agua. Los áridos empleados en la elaboración del hormigón suelen ser gruesos y de elevado peso por lo que la mecanización de este proceso supone una gran descarga de trabajo en la construcción.

III.MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. Hipótesis de la Investigación

3.1.1. Hipótesis General

H₁: La influencia del concreto permeable para veredas de parques está determinada por la cantidad de agregados.

3.1.2. Hipótesis Específicas

H₁: Los agregados usados en el concreto permeable para veredas de los parques logran una mejor permeabilidad.

H₂: La composición de los agregados influye en la permeabilidad en veredas para parques.

3.2. Variables en estudio.

Variable independiente: concreto permeable

Variable dependiente: veredas de parques

3.2.1. Definición Conceptual

- Concreto permeable

Pérez (2009) nos dice que el concreto permeable o concreto poroso, es definido como un concreto con revenimiento cero con alto grado de porosidad, y con una relación de vacíos alta; consiste de cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, agua y aditivos. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que varían en tamaño de 2 a 8 mm, lo cual permite que el agua pase fácilmente a través de ellos.

Pérez (2009) nos dice que: el concreto permeable se usa principalmente para pavimentar superficies de uso vehicular y peatonal, en donde se requiera tener áreas permeables que permita que el agua de lluvia se infiltre libremente al subsuelo, con lo cual es posible además la reducción o eliminación de los drenajes pluviales.

Torres (2010) nos dice que el concreto permeable es un concreto especial que se caracteriza por su alta porosidad que permite el paso del agua a través de su estructura. Esta característica se debe a su alto contenido de vacíos interconectados en el orden de 15% a 35% dependiendo de los materiales y de su aplicación.

Torre (2010) nos dice que el concreto permeable se compone principalmente de cemento portland normal, de un tamaño de agregado grueso uniforme y de agua. Esta combinación forma una aglomeración de agregados gruesos rodeada por una fina capa de pasta de cemento endurecido en sus puntos de contacto.

- **Veredas de Parques**

La vereda es un camino angosto que suele crearse a partir del tránsito de los peatones. Conjunto de procedimientos que están basados en especificaciones técnicas y aplicaciones de fórmulas normadas que ayudan a obtener en este caso un concreto poroso.

Un parque llamado también jardín público, parque municipal o parque público es un parque ubicado en un núcleo urbano, de acceso público a sus visitantes y en general debe su diseño y mantenimiento a los poderes públicos, en general, municipales. Regularmente, este tipo de parques incluyen en su mobiliario juegos, senderos, amplias zonas verdes, baños públicos, etc, dependiendo del presupuesto y las características naturales; aun así, pueden llegar a recibir millones de visitas anualmente

Los parques son elementos importantes en la traza urbana por los potenciales beneficios ambientales, sociales y económicos que pueden producir. Por tales motivos es importante reconocer que la planeación de los parques debería ser materia de estudio e investigación en las escuelas de urbanismo y planificación urbana.

Igual de importante es reconocer que estos espacios deben contemplar el uso recreativo que le dan muchos grupos sociales ya que el objetivo de los parques es proporcionar un servicio recreativo que vaya de acuerdo a las necesidades y gustos de los posibles usuarios.

Otro tipo de parques incluyen las vías verdes (o parques lineales) y los parques de bolsillo, que fueron creados debido a la ausencia de zonas recreacionales disponibles y al encarecimiento del suelo, particularmente entre los rascacielos del centro de cada ciudad

Se denomina vereda a la capa de concreto simple, que nos proporcionará una superficie de apoyo rígida, uniforme y nivelada, para enseguida poner el material de recubrimiento de piso. Los materiales que componen un firme son: Arena, Cemento, Grava, Agua Sistema constructivo Antes de colar el concreto hay que confirmar que la compactación del terreno sea la indicada.

Cinta horizontal de materiales duros (piedra, asfalto y concreto los más recurrentes, sobre elevada de pocos centímetros respecto al nivel de la calle, la vereda determina una ampliación de los perímetros de los parques que envuelve.

3.2.2. Definición Operacional.

Tabla 7: Definición de variables

DEFINICIÓN DE VARIABLES		
VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES	UNIDADES
concreto permeable	cantidad de agua	Kilogramos m3
	cantidad de arena	m3
	cantidad de piedra cantidad de cemento	m3 bls
VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES	UNIDADES
veredas de parques	resistencia de compresión	kg/cm2

Fuente: propio

3.3 Tipo y Nivel de la investigación

Pertenece al tipo de investigación Experimental, porque permitirá explicar y establecer la relación de la variable independiente y la variable dependiente.

Según Hernández (2001), son más estructuradas que los otros tipos de investigación, y que abarca en su propósito la exploración, la descripción y correlación con lo cual permite generar un sentido de entendimiento más completo.

3.4 Diseño de la investigación para contrastar la hipótesis

Pertenece al diseño experimental factorial porque se realizará combinación de dos o más diseños simples o factoriales, esto quiere decir que se manipulará simultáneamente dos a más variables independientes, llamados factores en el mismo experimento.

3.5 Población y Muestra

3.5.1 Población

En esta investigación la población objeto de estudio estará conformado por veredas de parques ubicado en la ciudad de Lima

3.5.2 Muestra

Es un subconjunto de elementos que de acuerdo a ciertas características pertenecen a ese conjunto definido población. La muestra estará conformada por los departamentos donde se realizará el diseño de concreto permeable para veredas

$$n = \frac{\sigma^2 x Z^2}{e^2}$$

Dónde:

σ = Desviación estándar

$$Z = 1.96$$

$$e = 0,1$$

Y corregida con:

Donde: n' = Muestra N = Población

$$n' = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}}$$

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Instrumentos

Se utilizara la evaluación visual y toma de datos a través de Fichas Técnicas como instrumento de recolección de datos en la muestra según el muestreo establecido. La evaluación de la condición incluyo los siguientes aspectos equipos:

- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de la vereda
- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

a. Técnica

Ensayo de materiales

Tabla 8. *Ensayos Agregado Grueso*

Granulometría Agregado Grueso					
Tamiz No.	Tamiz No.(mm)	Peso		%Retenido Acumulado	Pasa %
		Retenido [gr]	% Retenido		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	302.50	5.50	5.50	94.50
3/8"	9.51	1727.00	31.40	36.90	63.10
No.4	4.76	2758.80	50.16	87.06	12.94
No.8	2.38	511.50	9.30	96.36	3.64
FONDO		200.20	3.64	100.00	0.00
TOTAL		5500.00	100.00	-	-

Fuente: Moujir, Castañeda (2014)

Tabla 9. Clasificación general del agregado según su tamaño

Tamaño de las partículas en mm (Pulg)	Denominación Más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0,002 - 0,074 (No. 200)	Limo		
Entre 0,074 - 4,76 (No. 200) - (No. 4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76 - 19,1 (No. 4) - (3/4")	Gravilla	Agregado Grueso	
Entre 19,1 - 50.8 (3/4") - (2")	Grava		
Entre 50,8 - 152,4 (2") - (6")	Piedra		
Superior a 152,4 (6")	Rajon, Piedra bola		

Fuente: Moujir, Castañeda (2014)

3.7 Validación de instrumento

RESUMEN DEL 1ER DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE

<u>PASO 1:</u> proporciones de diseño		1: 0.385: 4.8: 0.35	
<u>PASO 2:</u> peso unitario	P.U	1341.43	KG/M3
<u>PASO 3:</u> porcentaje de vacío	V vacío	21.09	%
<u>PASO 4:</u> Resistencia a la compresión	Fc	60.82	kg/cm2
<u>PASO 5:</u> Permeabilidad	μ_0	12.6	mm/s

Mezcla	1
Proporciones	1 : 0385 : 4.8 : 0.35
Peso unitario kg/m3	1341,43 kg/m3
Porcentaje de vacío	21.09%
Resistencia a la compresión kg/cm ²	60.82 kg/cm2
Permeabilidad mm/s	12.6 mm/s

RESUMEN DEL 2DO DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE

PASO 1: proporciones de diseño

1: 0.59: 4.4: 0.35

PASO 2: peso unitario

P.U

1397.14

KG/M3

PASO 3: porcentaje de vacío

V vacío

17.81

%

PASO 4: Resistencia a la compresión

Fc

85.94

kg/cm2

PASO 5: Permeabilidad

μ_0

9.9

mm/s

diseño de

Mezcla	2
Proporciones	1 : 0.59 : 4.4 : 0.35
Peso unitario kg/m ³	1397.14 kg/m ³
Porcentaje de vacío	17.81%
Resistencia a la compresión kg/cm ²	85.94 kg/cm ²
Permeabilidad mm/s	9.9 mm/s

Resumen del 2do
concreto permeable

RESUMEN DEL 3ER DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE

<u>PASO 1:</u> proporciones de diseño		1: 0.3: 4.15: 0.35	
<u>PASO 2:</u> peso unitario	P.U	1282.86	KG/M3
<u>PASO 3:</u> porcentaje de vacío	V vacío	24.53	%
<u>PASO 4:</u> Resistencia a la compresión	Fc	50.13	kg/cm2
<u>PASO 5:</u> Permeabilidad	μ_0	11.38	mm/s

Resumen del 3er diseño del concreto permeable

Mezcla	3
Proporciones	1 : 0.3 : 4.15 : 0.35
Peso unitario kg/m ³	1282.86 kg/m ³
Porcentaje de vacío	24.53%
Resistencia a la compresión kg/cm ²	50.13 kg/cm ²
Permeabilidad mm/s	11.38 mm/s

Una vez obtenido el diseño de mezclas se procedió a realizar el vaciado del concreto permeable en los moldes, siendo necesario la realización de ensayos en estado fresco del concreto permeable.

Con la finalidad de controlar el contenido de vacíos de diseño y la trabajabilidad de la mezcla de concreto.

Para tener la certeza de que el concreto vaciado cumpla con las características de diseño.

3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se realizará un análisis estadístico con el apoyo del software STATGRAPHICS 16.1 con el cual se realizará el procesamiento y análisis de datos

IV. RESULTADOS

4.1. Comparación de Dos Muestras - 0.385 & RESISTENCIA

Muestra 1: 0.385 (M3)

Muestra 2: RESISTENCIA (FC/CM2)

Muestra 1: 18 valores en el rango de 0.3 a 0.59

Muestra 2: 18 valores en el rango de 50.13 a 85.94

El StatAdvisor

Este procedimiento está diseñado para comprar dos muestras de datos. Calculará varias estadísticas y gráficas para cada muestra, y ejecutará varias pruebas para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras.

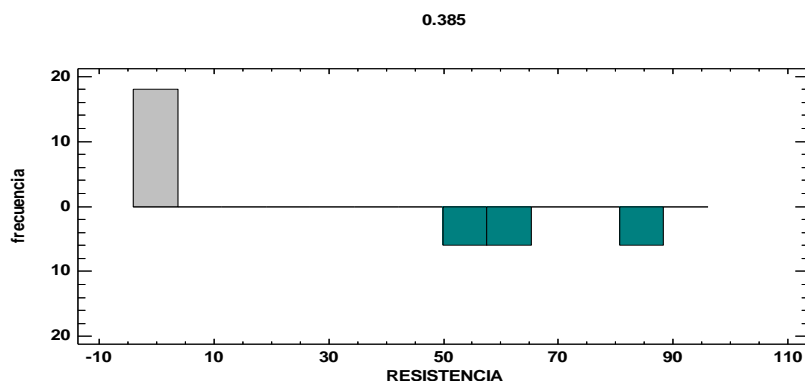


Figura 17: comparación de 2 muestras frecuencia-resistencia

Tabla 10. *Resumen Estadístico 2 muestras*

	0.385	RESISTENCIA
Recuento	18	18
Promedio	0.425	65.63
Desviación Estándar	0.125	15.445
Coefficiente de Variación	29.47 12%	23.5334%
Mínimo	0.3	50.13
Máximo	0.59	85.94
Rango	0.29	35.81
Sesgo Estandarizado	0.866 223	0.847937
Curtosis Estandarizada	- 1.380 23	-1.38023

El StatAdvisor

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

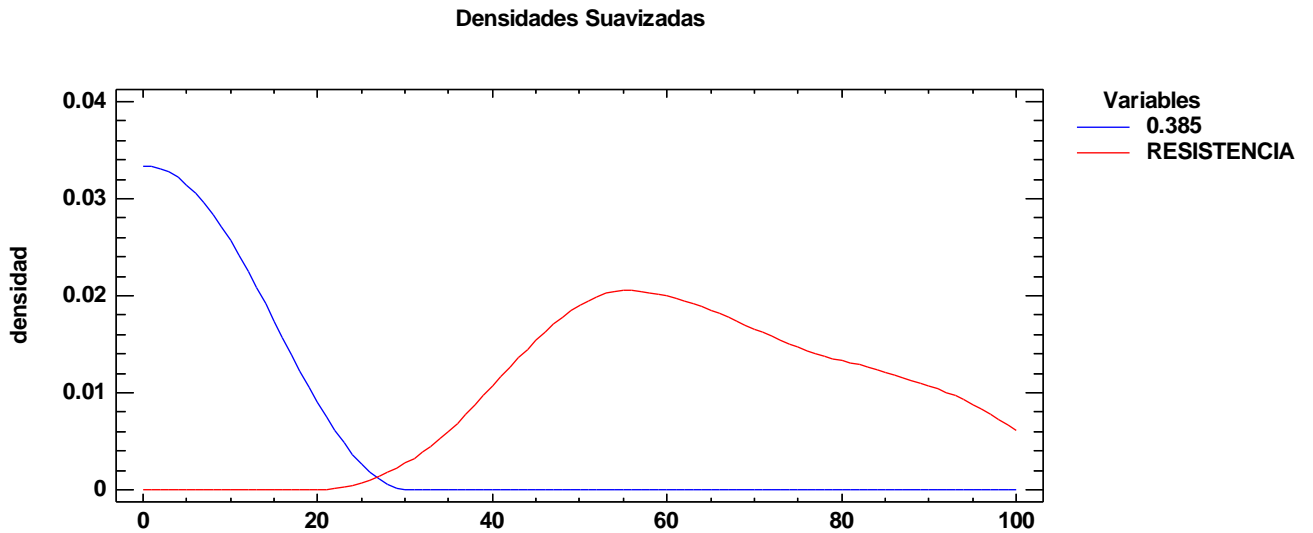


Figura 18: comparación de medias

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de 0.385: 0.425 +/- 0.0622868 [0.362713, 0.487287]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de RESISTENCIA: 65.63 +/- 7.68061 [57.9494, 73.3106]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

Suponiendo varianzas iguales: -65.205 +/- 7.39846 [-72.6035, -57.8065]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

Suponiendo varianzas iguales: t = -17.9109 valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -72.6035 hasta -57.8065. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

NOTA: estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, la suposición es cuestionable puesto que los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar sugieren que pueden existir diferencias significativas entre ellas. Pueden verse los resultados de esta prueba seleccionando

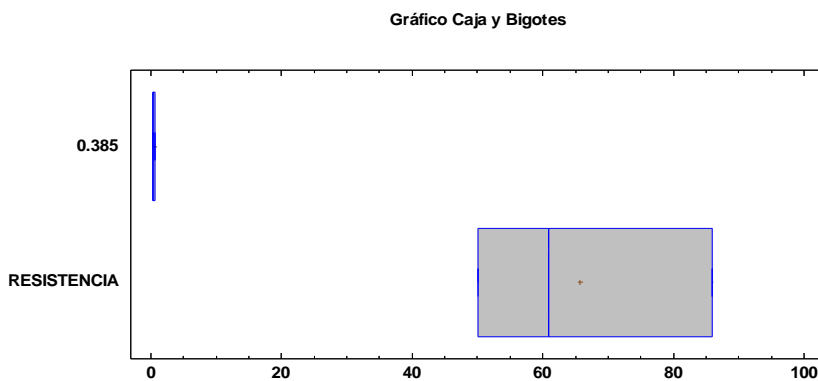


Figura 19: gráfico caja y bigote

Tabla 11. Comparación de Desviaciones Estándar

	0.385	RESISTENCIA
Desviación Estándar	0.125	15.445
Varianza	0.015	238.547
	6882	
Gl	17	17

Razón de Varianzas= 0.0000657659

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de 0.385: [0.0939881, 0.187772]

Desviación Estándar de RESISTENCIA: [11.5897, 23.1542]

Razones de Varianzas: [0.000024601, 0.000175812]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 0.0000657659 valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.000024601 hasta 0.000175812. Puesto que el intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un 95.0% .

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar una hipótesis específica acerca de las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1.0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

NOTA IMPORTANTE: las pruebas-F y los intervalos de confianza mostrados aquí dependen de que las muestras hayan provenido de distribuciones normales. Para probar esta suposición, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares y verifique los valores de sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada.

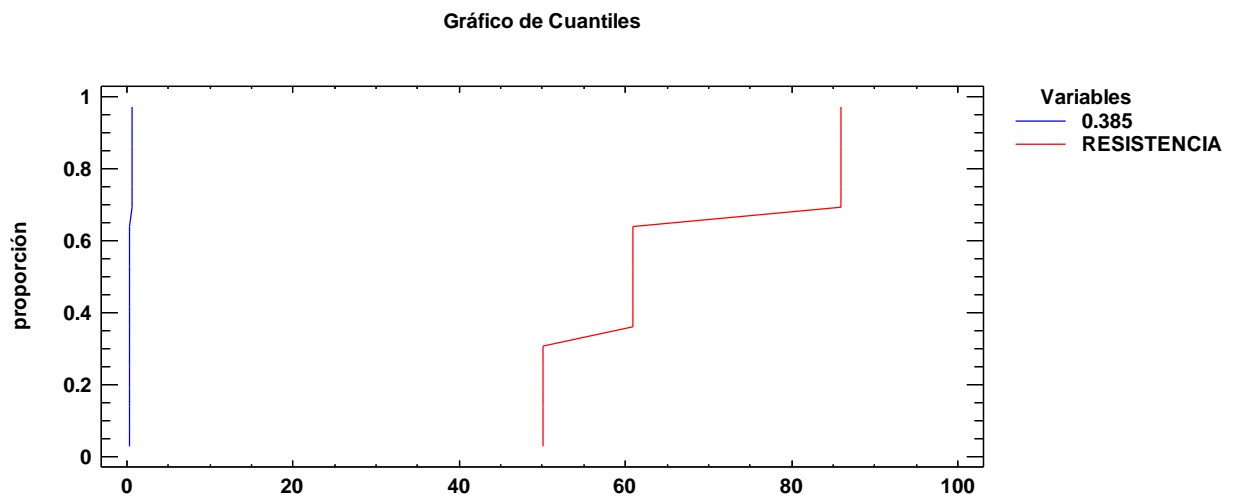


Figura 20: gráfico de cuantiles

4.2 Comparación de Medianas

Mediana de muestra 1: 0.385

Mediana de muestra 2: 60.82

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Hipótesis Nula: mediana1 = mediana2

Hipótesis Alt.: mediana1 \neq mediana2

Rango Promedio de muestra 1: 9.5

Rango Promedio de muestra 2: 27.5

W = 324.0 valor-P = 2.22165E-7

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta la prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras. Esta prueba se construye combinando las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando los rankeos promedio de las dos muestras en los datos combinados. Debido a que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel de confianza del 95.0%.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Estadístico DN estimado = 1.0

Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 3.0

Valor P aproximado = 3.046E-8

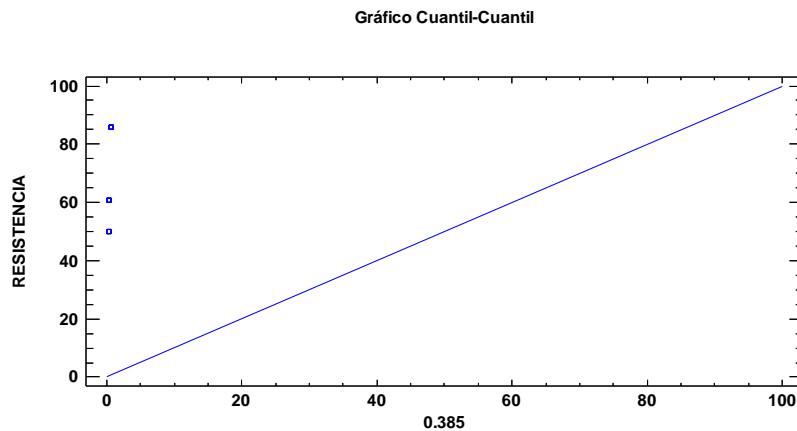


Figura 21: gráfico cuantil-cuantil

El StatAdvisor

Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 1.0, que puede verse gráficamente seleccionando Gráfica de Cuantiles de la lista de Opciones Gráficas. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95.0%.

4.3 Comparación de Varias Muestras (PIEDRA)

Muestra 1: CEMENTO (BLS)

Muestra 2: ARENA (M3)

Muestra 3: PIEDRA (M3)

Muestra 4: AGUA (M3)

Selección de la Variable: PIEDRA

Muestra 1: 18 valores en el rango de 1.0 a 1.0

Muestra 2: 18 valores en el rango de 0.3 a 0.59

Muestra 3: 18 valores en el rango de 4.15 a 4.8

Muestra 4: 18 valores en el rango de 0.35 a 0.35

El StatAdvisor

Este procedimiento compara los datos en 4 columnas del archivo de datos actual. Realiza varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Figura 22: dispersión según muestra

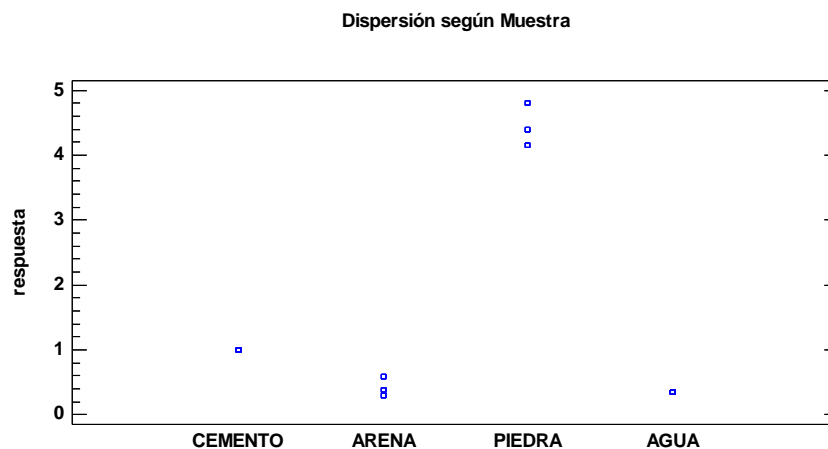


Tabla 12. Resumen Estadístico de varias muestras

	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
CEMENTO	18	1.0	0	0%	1.0	1.0
ARENA	18	0.425	0.125253	29.4712%	0.3	0.59
PIEDRA	18	4.45	0.275468	6.19028%	4.15	4.8
AGUA	18	0.35	0	0%	0.35	0.35
Total	72	1.55625	1.70781	109.739%	0.3	4.8

	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
CEMENTO	0		
ARENA	0.29	0.866223	-1.38023
PIEDRA	0.65	0.518185	-1.38023
AGUA	0	1.89366	-1.96299
Total	4.5	3.88719	-1.05572

El StatAdvisor

Esta tabla muestra varios estadísticos para cada una de las 4 columnas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las columnas, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Seleccione Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

ADVERTENCIA: Hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de varianza assume que las desviaciones estándar de todos los niveles es igual. Seleccione Verificación de Varianza de la lista de Opciones Tabulares para ejecutar una prueba estadística formal para la diferencia entre las sigmas. Tal vez quisiera considerar transformar los datos para eliminar cualquier dependencia de la desviación estándar sobre la media.

Tabla 13: ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	205.523	3	68.5078	2992.57	0.0000
Intra grupos	1.5567	68	0.0228926		
Total (Corr.)	207.08	71			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2992.57, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Figura 23: medidas de confianza

Figura 23: medidas de confianza

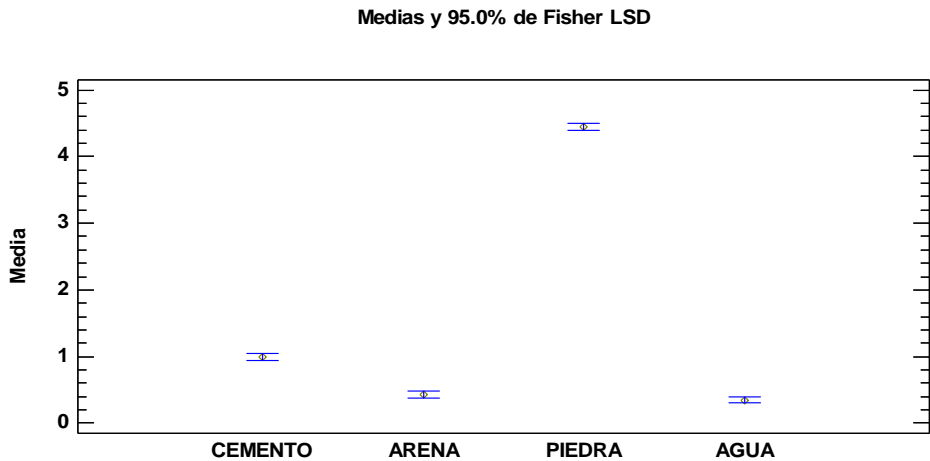


Figura 23: medidas de confianza

Tabla 14: Medias con intervalos de confianza del 95.0%

			<i>Error Est.</i>		
	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
CEMENTO	18	1.0	0.0356625	0.94968	1.05032
ARENA	18	0.425	0.0356625	0.37468	0.47532
PIEDRA	18	4.45	0.0356625	4.39968	4.50032
AGUA	18	0.35	0.0356625	0.29968	0.40032
Total	72	1.55625			

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media.

Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfica de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

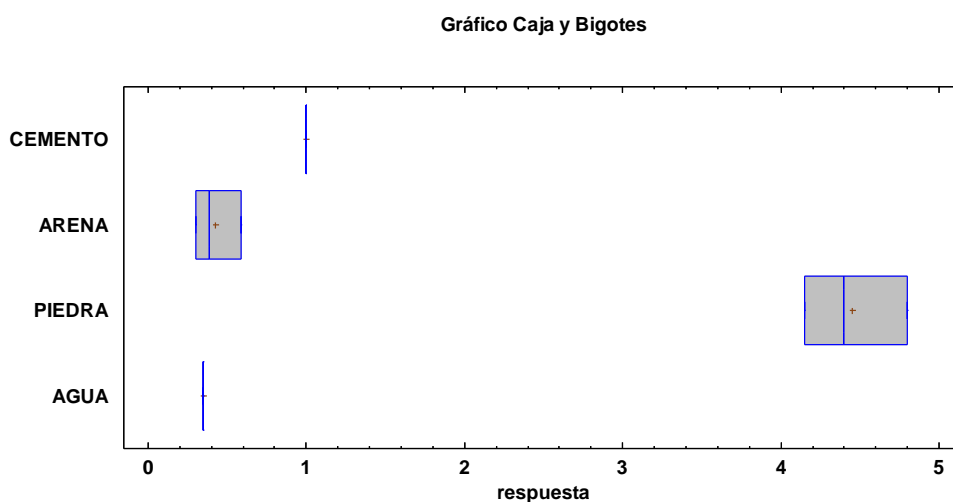


Figura 24: gráfico caja y bigotes varios muestras

Pruebas de Múltiple Rangos

Tabla 15. Método: 95.0 porcentaje LSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
AGUA	18	0.35	X
ARENA	18	0.425	X
CEMENTO	18	1.0	X
PIEDRA	18	4.45	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
CEMENTO - ARENA	*	0.575	0.10064
CEMENTO - PIEDRA	*	-3.45	0.10064
CEMENTO - AGUA	*	0.65	0.10064
ARENA - PIEDRA	*	-4.025	0.10064
ARENA - AGUA		0.075	0.10064
PIEDRA - AGUA	*	4.1	0.10064

* indica una diferencia significativa.

El StatAdvisor

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

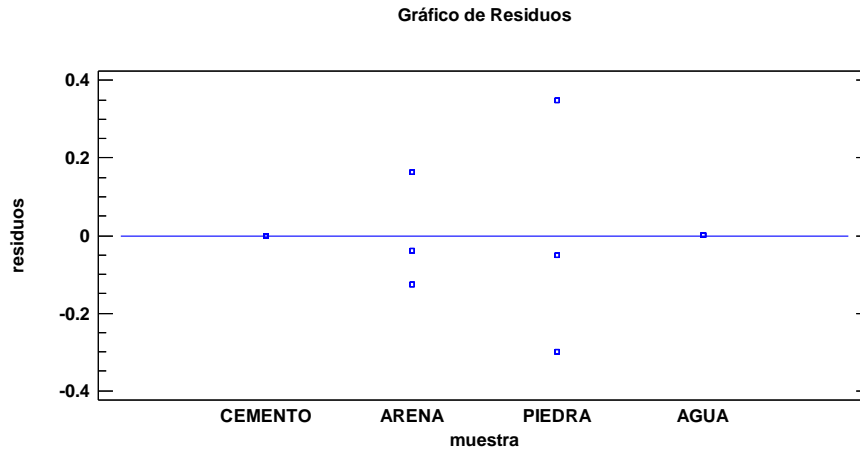


Figura 25: gráfico de residuos

Tabla 16: Verificación de Varianza

	Prueba	Valor-P
Levene's	42.1471	0

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
CEMENTO / ARENA	0	0.125253	0	0.0000
CEMENTO / PIEDRA	0	0.275468	0	0.0000
CEMENTO / AGUA	0	0	0	0.0000
ARENA / PIEDRA	0.125253	0.275468	0.206744	0.0022
ARENA / AGUA	0.125253	0	1.20207E30	0.0000
PIEDRA / AGUA	0.275468	0	5.81429E30	0.0000

El StatAdvisor

Los estadísticos mostrados en esta tabla evalúan la hipótesis nula de que las desviaciones estándar dentro de cada una de las 4 columnas son iguales. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza. Esto viola uno de los supuestos importantes subyacentes en el análisis de varianza e invalidará la mayoría de las pruebas estadísticas comunes.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 6, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

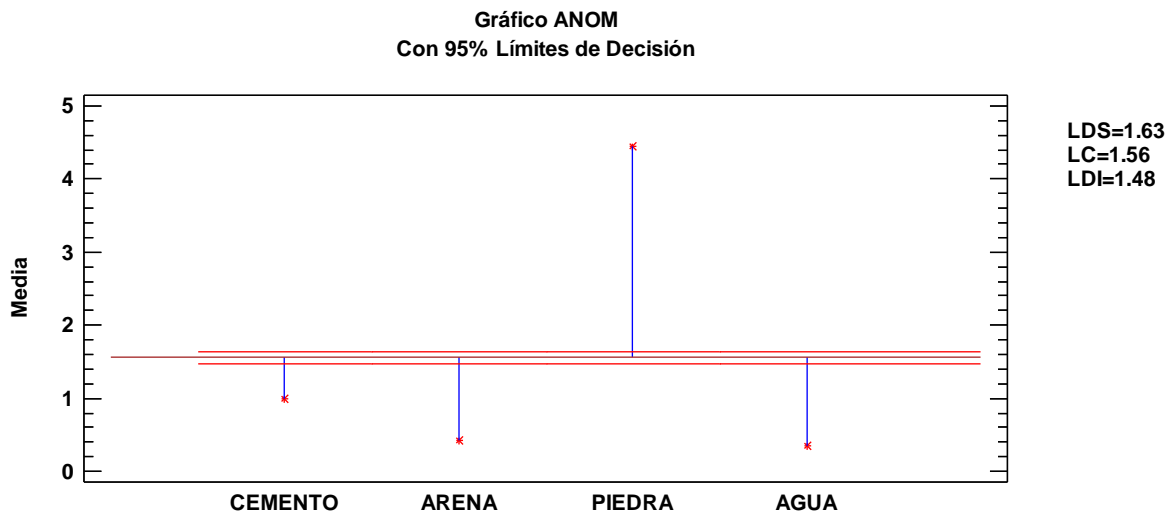


Figura 26: gráfico ANOM

Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis

	<i>Tamaño de Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
CEMENTO	18	45.5
ARENA	18	21.5
PIEDRA	18	63.5
AGUA	18	15.5

Estadístico = 62.8273 Valor-P = 0

El StatAdvisor

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 4 columnas es la misma. Primero se combinan los datos de todas las columnas y se ordenan de menor a mayor. Después, se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada columna. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medianas son significativamente diferentes de otras, seleccione Gráfico de Caja y Bigotes, de la lista de Opciones Gráficas, y seleccione la opción de muesca de mediana.

Gráfico de Medianas con Intervalos del 95.0% de Confianza

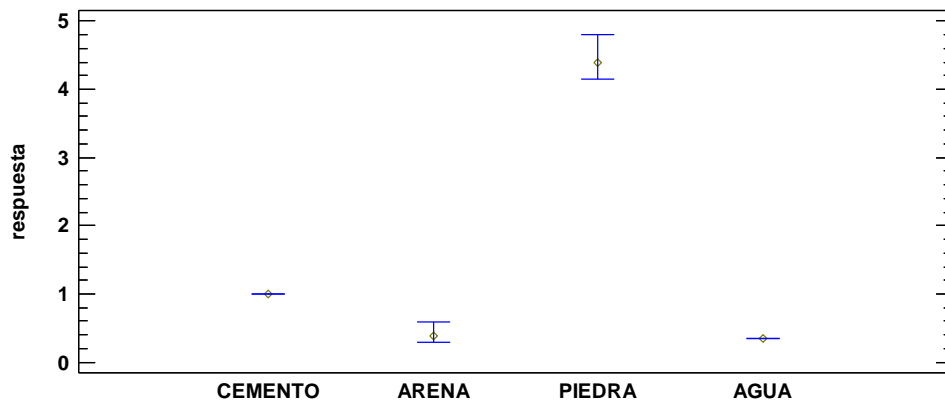


Figura 27: gráfico de medias con intervalo de 95%

4.4. Prueba de la Mediana de Mood

Total n = 72

Gran mediana = 0.795

Tabla 18: Prueba de la mediana de mood

Muestra	Tamaño de Muestra	n<=	n>	Mediana	LC inferior 95.0%	LC superior 95.0%
CEMENTO	18	0	18	1.0	1.0	1.0
ARENA	18	18	0	0.385	0.3	0.59
PIEDRA	18	0	18	4.4	4.15	4.8
AGUA	18	18	0	0.35	0.35	0.35

Estadístico = 72.0 Valor-P = 0

El StatAdvisor

La prueba de medianas de Mood evalúa la hipótesis de que las medianas de todas las 4 muestras son iguales. Lo hace contando el número de observaciones en cada muestra, a cada lado de la mediana global, la cual es igual a 0.795. Puesto que el valor-P para la prueba de chi-cuadrada es menor que 0.05, las medianas de las muestras son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95.0%. También se incluyen (si están disponibles) los intervalos del 95.0% de confianza para mediana, basados en los estadísticos de orden de cada muestra

Gráfico de Cuantiles

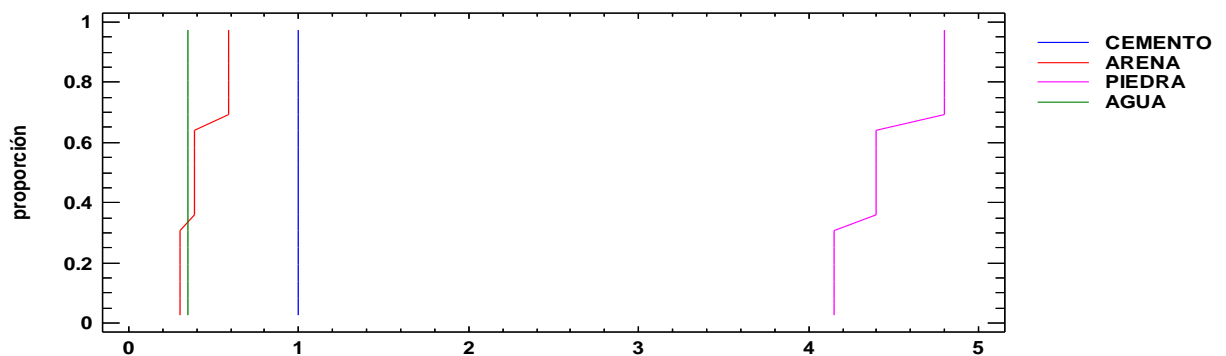


Figura 28: gráfico de cuantiles de varias muestras

4.5. Atributos de la Superficie de Respuesta

Clase de diseño: Superficie de Respuesta

Nombre del Diseño: Diseño compuesto central: 2⁴ + estrella

Características del diseño: Rotable

Nombre del archivo: <Sin Título>

Diseño Base

Número de factores experimentales: 4

Número de bloques: 1

Número de respuestas: 1

Número de corridas: 26, incluyendo 2 puntos centrales por bloque

Grados de libertad para el error: 11

Aleatorizar: Sí

Tabla 19. *Atributo de superficie respuesta*

<i>Factores</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Unidades</i>	<i>Continuo</i>
CEMENTO	1	1.01	BLS	Sí
ARENA	0.3	0.59	M3	Sí
PIEDRA	4.15	4.8	M3	Sí
AGUA	0.35	0.35	M3	Sí

<i>Respuestas</i>	<i>Unidades</i>
RESISTENCIA A LA COMPRESION	FC/CM2

El StatAdvisor

Ha creado un diseño Diseño compuesto central: 2^4 + estr el cual estudiará los efectos de 4 factores en 26 corridas. El diseño deberá ser ejecutado en un solo bloque. El orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado. Esto aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

Analizar Experimento - RESISTENCIA A LA COMPRESION

Nombre del archivo: <Sin Título>

Tabla 20. *Efectos estimados para resistencia a la compresión (fc/cm2)*

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	73.38	10.595	
A:CEMENTO	2.09333	6.11703	1.0
B:ARENA	-5.65667	6.11703	1.0
C:PIEDRA	5.65667	6.11703	1.0
D:AGUA	-2.09333	6.11703	1.0
AA	5.31125	7.17285	1.48077
AB	8.485	7.4918	1.0
AC	3.14	7.4918	1.0
AD	-18.3725	7.4918	1.0
BB	-3.64125	7.17285	1.48077
BC	0.4675	7.4918	1.0
BD	-3.14	7.4918	1.0
CC	-9.92125	7.17285	1.48077
CD	-3.14	7.4918	1.0
DD	-7.24875	7.17285	1.48077

Errores estándar basados en el error total con 11 g.l.

El StatAdvisor

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.48077. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

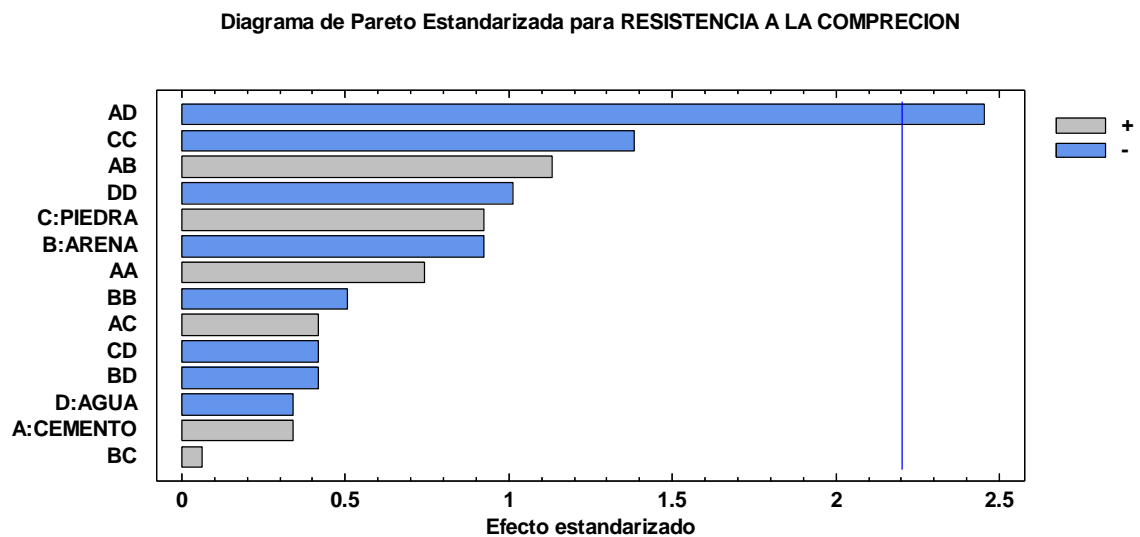


Figura 29: diagrama estandarizada para la resistencia a la compresión

Tabla 21. *Análisis de varianza para resistencia a la compresión*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:CEMENTO	26.2923	1	26.2923	0.12	0.7386
B:ARENA	191.987	1	191.987	0.86	0.3749
C:PIEDRA	191.987	1	191.987	0.86	0.3749
D:AGUA	26.2923	1	26.2923	0.12	0.7386
AA	123.095	1	123.095	0.55	0.4745
AB	287.981	1	287.981	1.28	0.2815
AC	39.4384	1	39.4384	0.18	0.6832
AD	1350.2	1	1350.2	6.01	0.0321
BB	57.8562	1	57.8562	0.26	0.6217
BC	0.874225	1	0.874225	0.00	0.9514
BD	39.4384	1	39.4384	0.18	0.6832
CC	429.518	1	429.518	1.91	0.1940
CD	39.4384	1	39.4384	0.18	0.6832
DD	229.285	1	229.285	1.02	0.3339
Error total	2469.59	11	224.508		
Total (corr.)	5833.45	25			

R-cuadrada = 57.665 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 3.78408 por ciento

Error estándar del est. = 14.9836

Error absoluto medio = 7.39359

Estadístico Durbin-Watson = 2.35003 (P=0.7231)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.209757

El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de RESISTENCIA A LA COMPRESION en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 57.665% de la variabilidad en RESISTENCIA A LA COMPRESION. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 3.78408%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 14.9836. El error medio absoluto (MAE) de 7.39359 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

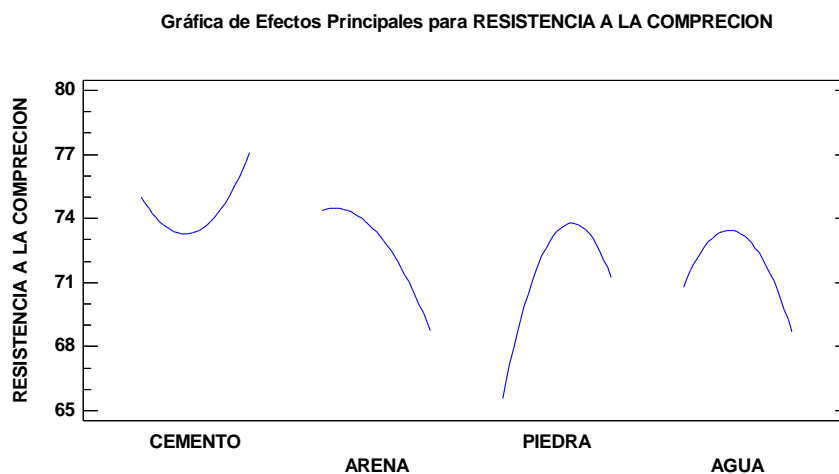


Figura 30: efectos principales para la resistencia a la compresión

Tabla 22. Coef. De regresión para resistencia a la compresión

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	111262.
A:CEMENTO	-218393.
B:ARENA	-5834.79
C:PIEDRA	-539.326
D:AGUA	10737.6
AA	106225.
AB	5851.72
AC	966.154
AD	-10498.6
BB	-86.5933
BC	4.96021
BD	-61.8719
CC	-46.9645
CD	-27.6044
DD	-118.347

El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos.

La ecuación del modelo ajustado es

$$\begin{aligned}
 \text{RESISTENCIA A LA COMPRESION} = & 111262. - 218393.*\text{CEMENTO} - \\
 & 5834.79*\text{ARENA} - 539.326*\text{PIEDRA} + 10737.6*\text{AGUA} + 106225.*\text{CEMENTO}^2 + \\
 & 5851.72*\text{CEMENTO}*\text{ARENA} + 966.154*\text{CEMENTO}*\text{PIEDRA} - \\
 & 10498.6*\text{CEMENTO}*\text{AGUA} - 86.5933*\text{ARENA}^2 + 4.96021*\text{ARENA}*\text{PIEDRA} - \\
 & 61.8719*\text{ARENA}*\text{AGUA} - 46.9645*\text{PIEDRA}^2 - 27.6044*\text{PIEDRA}*\text{AGUA} - \\
 & 118.347*\text{AGUA}^2
 \end{aligned}$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

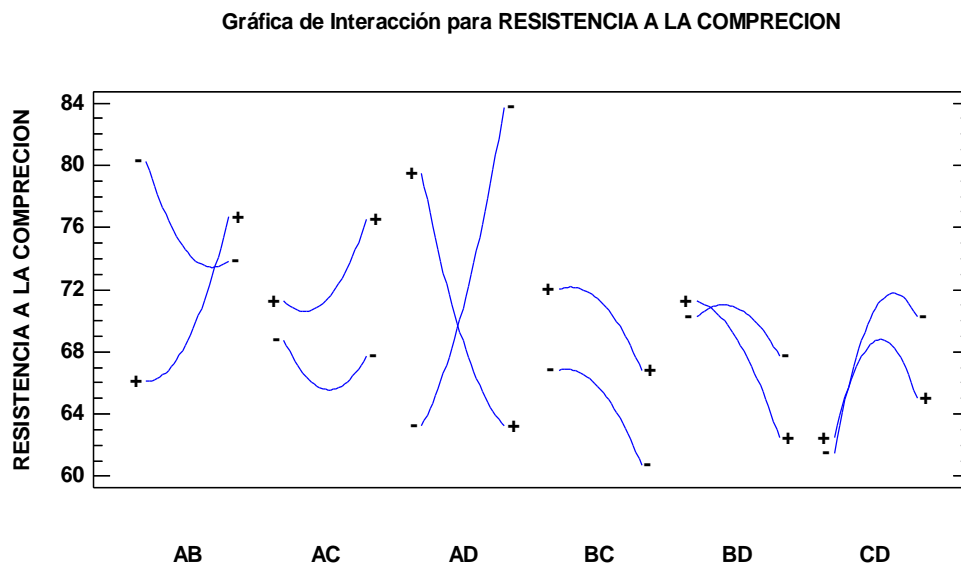


Figura 31: gráfico de interacción

Tabla 23. Matriz de Correlación para los Efectos Estimados

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1)	promedio	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.7385	0.0000	0.0000
(2)	A. Cemento	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

(3)	B:ARENA	0.0000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
(4)	C:PIEDRA	0.0000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
(5)	D:AGUA	0.0000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.0000	0.0000	0.0000
(6)	AA	- 0.7385	0.000 0	0.000	0.000	0.000	1.0000	0.0000	0.0000
(7)	AB	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.0000	0.0000
(8)	AC	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	1.0000
(9)	AD	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
(10)	BB	- 0.7385	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.4545	0.0000	0.0000
(11)	BC	0.0000	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.0000	0.0000	0.0000
(12)	BD	0.0000	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.0000	0.0000	0.0000

(13)	CC	- 0.7385	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.4545	0.0000	0.0000
(14)	CD	0.0000	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.0000	0.0000	0.0000
(15)	DD	- 0.7385	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.4545	0.0000	0.0000

El StatAdvisor

La matriz de correlación muestra el grado de confusión entre los efectos. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1's en la diagonal y 0's fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, hay 6 pares de efectos con interacción distinta de cero. No obstante, como ninguna es mayor o igual que 0.5, probablemente será capaz de interpretar los resultados sin mucha dificultad.

Gráfica de Probabilidad Normal para RESISTENCIA A LA COMPRESION

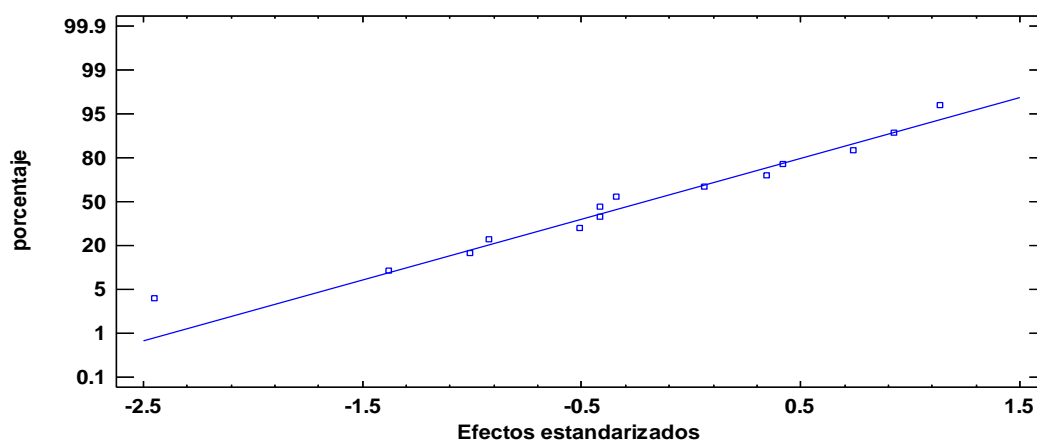


Figura 32: gráfico de probabilidad para la resistencia a la compresión

Tabla 24. Resultados estimados para resistencia a la compresión

	<i>Observados</i>	<i>Ajustados</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
<i>Fila</i>	<i>Valores</i>	<i>Valores</i>	<i>para Media</i>	<i>para Media</i>
1	60.82	64.5392	39.3512	89.7271
2	85.94	81.9092	56.7212	107.097
3	50.13	47.8808	22.6929	73.0688
4	60.82	59.1942	34.0062	84.3821
5	85.94	86.0958	60.9079	111.284
6	50.13	54.005	28.8171	79.1929
7	60.82	59.35	34.1621	84.5379
8	85.94	71.7542	46.5662	96.9421
9	50.13	54.005	28.8171	79.1929
10	60.82	56.7892	31.6012	81.9771
11	85.94	64.0042	38.8162	89.1921
12	50.13	64.16	38.9721	89.3479
13	60.82	60.9758	35.7879	86.1638
14	85.94	86.0958	60.9079	111.284
15	50.13	68.1908	43.0029	93.3788
16	60.82	59.1942	34.0062	84.3821
17	85.94	79.66	54.4721	104.848
18	50.13	60.4408	35.2529	85.6288
19	60.82	53.2258	28.0379	78.4138
20	85.94	73.6917	48.5037	98.8796
21	50.13	47.8808	22.6929	73.0688
22	60.82	80.8183	55.6304	106.006
23	85.94	81.9092	56.7212	107.097
24	50.13	59.35	34.1621	84.5379
25	60.82	73.38	50.0605	96.6995
26	85.94	73.38	50.0605	96.6995

El StatAdvisor

Esta tabla contiene información acerca de los valores de RESISTENCIA A LA COMPRESION generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de RESISTENCIA A LA COMPRESION (si alguno)
- (2) el valor predicho de RESISTENCIA A LA COMPRESION usando el modelo ajustado
- (3) intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Cada ítem corresponde a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos. Para generar pronósticos para las combinaciones adicionales de los factores, agregue filas al final su archivo de datos. En cada nueva fila, introduzca valores para los factores experimentales pero deje vacía la celda para la respuesta. Cuando regrese a esta ventana, se habrán agregado pronósticos a la tabla para las nuevas filas pero el modelo no se verá afectado.

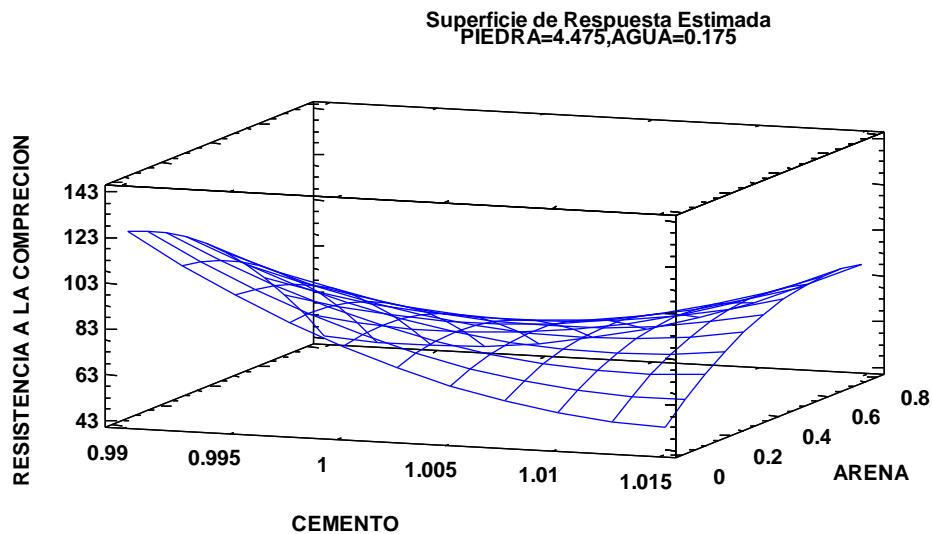


Figura 33: superficie repuesta

Tabla 25. Camino de máximo ascenso para resistencia a la compresión

				<i>Predicción para</i>
<i>CEMENTO</i>	<i>ARENA</i>	<i>PIEDRA</i>	<i>AGUA</i>	<i>RESISTENCIA A LA COMPRESION</i>
<i>(BLS)</i>	<i>(M3)</i>	<i>(M3)</i>	<i>(M3)</i>	<i>(FC/CM2)</i>
1.005	0.445	4.475	0.175	73.38
2.005	9.7948	11.6666	-18.1752	325551.
3.005	19.4222	19.0866	-36.4427	1.30381E6
4.005	29.0476	26.5059	-54.7105	2.93481E6
5.005	38.6722	33.925	-72.9783	5.21855E6
6.005	48.2965	41.3441	-91.2461	8.15503E6

El StatAdvisor

Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar RESISTENCIA A LA COMPRESION. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando CEMENTO en incrementos de 1.0 BLS. Puede especificarse la cantidad de cambio en cualquiera de los factores presionando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. STATGRAPHICS determinará entonces cuanto tendrán que cambiar los otros factores para mantenerse en el trayecto del máximo ascenso.

El programa también calcula la RESISTENCIA A LA COMPRESION estimada en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados si es que se corren esos ensayos.

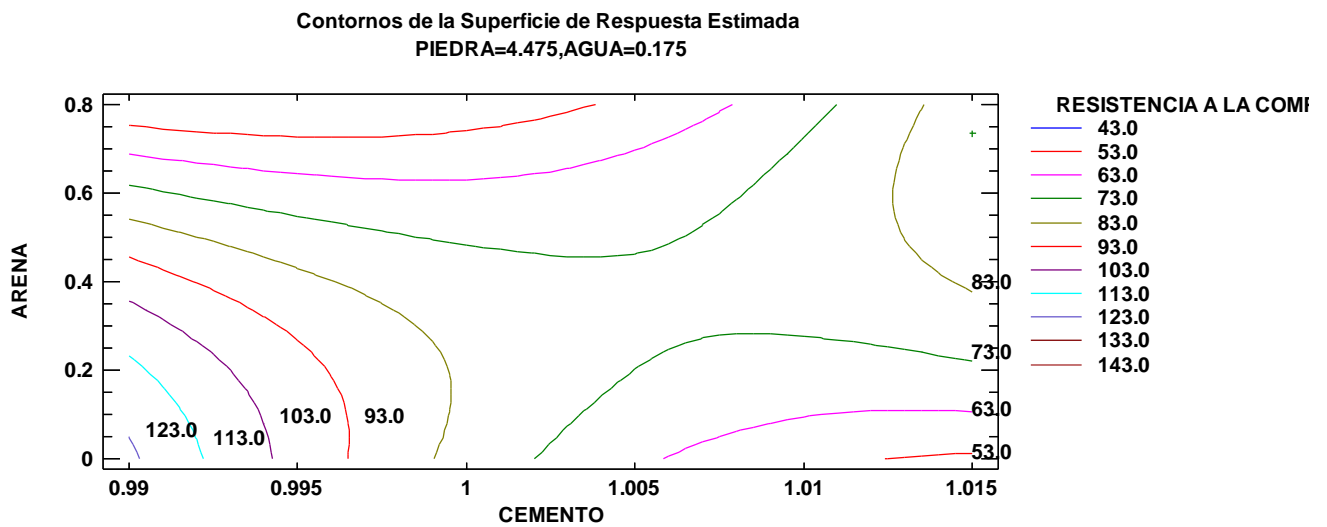


Figura 34: contornos superficie respuesta

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar RESISTENCIA A LA COMPRESION

Valor óptimo = 122.861

Tabla 26: Valores óptimos

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
CEMENTO	0.995	1.015	1.015
ARENA	0.155	0.735	0.735
PIEDRA	3.825	5.125	5.01226
AGUA	-0.175	0.525	-0.172379

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza RESISTENCIA A LA COMPRESION sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

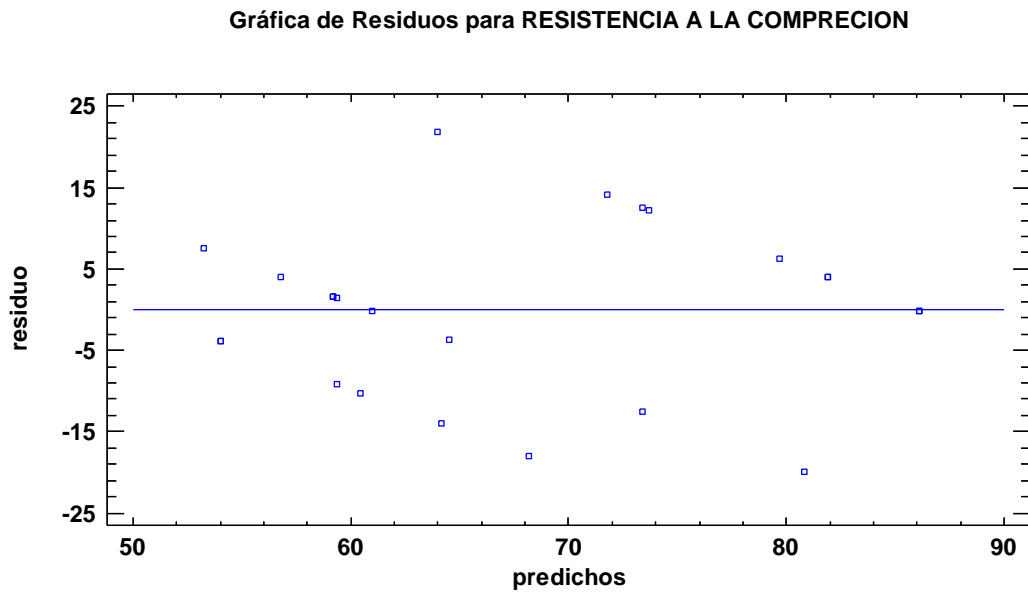


Figura 35: gráfico de residuos de varias muestras

4.6. CRONOGRAMA DEL TRABAJO DE TESIS

Tabla 27: Cronograma del trabajo de tesis

ACTIVIDAD	2016 – meses				2017-meses	
	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEBR.	MARZO
Elaboración del plan de investigación	X	X				
Presentación del Plan			X			
Elaboración y prueba de los instrumentos			X	X		
Recolección de los datos				X		
Análisis de las informaciones				X		
Elaboración del informe final					X	
Correcciones del informe final					X	
Sustentación						X

El cuadro representa todo el cronograma y tiempo realizado del proyecto de tesis desde el inicio hasta la culminación del curso

4.7. PRESUPUESTO

Tabla 28: Presupuesto del proyecto

Concepto	Uni	Cantid	P.U.	Importe
Cemento	Ton	0.350	2,050.0	717.50
Arena	m ³	0.062	150.00	9.30
Grava	m ³	0.554	150.00	83.10
Agua	m ³	0.123	3.00	0.37
Costo directo de 1 m ³ de concreto =				S\ 810.27

El costo estimado de las pruebas realizado durante el ensayo de las probetas que se llevaron al laboratorio para la prueba de resistencia a la compresión.

V. DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La mezcla 3, ya que contiene una menor cantidad de agregado fino (0,3) presentó un alto porcentaje de vacíos y una buena tasa de infiltración. A pesar de su baja resistencia a la compresión f_c/cm^2 , debido a la poca presencia de agregado fino (arena), sus valores son aceptables ya que se encuentran dentro de los límites establecidos (28 - 280 kilogramos por centímetro cuadrado para compresión), por lo que se considera ser la mezcla adecuada para lugares de tránsito peatonal. También la ventaja es que tiene un gran % de vacío, y así puede fluir con gran facilidad al suelo llegando a la napa freática o acuíferos cercanos

VI. CONCLUSIONES

La influencia del concreto permeable contribuye positivamente en las veredas de parque, los materiales se calculó de acuerdo a las tablas, reglamentos y tesis revisados, ya que la resistencia del concreto depende del % de vacío. A mayor % vacío la resistencia del concreto disminuye pero la infiltración aumenta y por tanto la fluidez del agua por las veredas será mucho más eficaz.

Los agregados usados para el concreto permeable fueron seleccionados cuidadosamente y la cantidad necesaria para lograr una proporción adecuada y así cumplir con el objetivo del proyecto, entre los materiales encontramos cemento, arena, piedra y agua. Los agregados debe cumplir las proporciones necesarios para así poder diseñar y cumplir con el objetivo el proyecto. El aditivo no se le considero en el concreto ya que cambia las propiedades del concreto, ya que su función del aditivo es aumentar la resistencia a la comprensión y flexión.

La composición de los agregados están dado por agregados finos, grueso cemento portland y agua, en algunos casos especiales en necesario el aditivo para así poder mejorar la resistencia del concreto pero en este caso se realiza sin los aditivos yaqué es para una vereda, los aditivos se usan para obras de gran envergadura como proyectos de carretas de grandes tramos. El agregado fino y grueso pasaron por varias pruebas de granulometría usando todos los tamices para así cumplir con los requerimientos necesarios y poder generar un concreto de alta resistencia y de gran permeabilidad.

VII. RECOMENDACIONES

- para elaborar un buen concreto permeable debemos calcular la cantidad necesaria de material, y tener la certificación de cada agregado y cemento utilizado para la elaboración del concreto. Y así poder tener un buen resultado para las veredas de los parques.
- Para realizar un buen concreto con alto grado de permeabilidad y resistencia, los agregados deben de estar en las mejores condiciones para su uso, los agregados deben cumplir con sus respectivos ensayos para obtener un óptimo concreto y así obtener una buena permeabilidad y llegar a la resistencia de compresión establecida (28- 280 kg/cm²)
- La composición de los agregados influye mucho en la permeabilidad ya que al estar en exceso interfiere con él % de vacío y por consecuencia se reduce los poros del concreto e interfiriendo con la fluidez del agua. Pero la ventaja al tener exceso de agregado fino es que la resistencia de compresión aumenta considerablemente

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azañedo Medina, Wiston H. - Chávez Juanito, Helard. - Muñoz Yaldivia, Richard G. (2007)“*DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO POROSO CON AGREGADOS DE LA CANTERALA VICTORIA, CEMENTO PÓRTLAND TIPO I CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO, YSU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA*”Universidad Nacional de Cajamarca

Barahona Aguiluz, Rene Alexis Martínez Guerrero, Marlon Vladimir Zelaya Zelaya, Steven Eduardo. 2013 “*COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE LAS CANTERAS, EL CARMEN, ARAMUACA Y LA PEDRERA, DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR*”Universidad De El Salvador

Castañeda Luis Felipe, Moujir Yail Felipe (2014) “*DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCRETO POROSO PARA PAVIMENTO*”Pontificia Universidad Javeriana Cali

Días Vilca Miguel Justiniano (2010) “*CORRELACIÓN ENTRE LA POROSIDAD Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO*”Universidad Ricardo Palma Lima-Perú

Escalaya Advíncula Mirian Rosanna (2006), “*DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO UTILIZANDO CONCEPTOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS*”, Universidad Nacional De Ingeniería.

López Orozco Juan Orlando (2004) *“POROSIDAD DEL CONCRETO”*

Universidad de San Carlos de Guatemala

Norma Técnica Guatemalteca (2016) “DETERMINACIÓN DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE COLOCADO” Norma ASTM C 1701.

Torres Flores Luis Enrique (2010) *“TECNOLOGÍA DEL CONCRETO PERMEABLE O ECOLÓGICO EN LA CONSTRUCCIÓN”* universidad nacional autónoma de México

IX. ANEXOS

- Matriz de Consistencia

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOS
<p>Planteamiento del problema</p> <p>Problema General: ¿De qué manera influye el concreto permeable en veredas de parques?</p> <p>Problemas Específicos: ¿Cómo influye los materiales utilizados en el concreto permeable en veredas de los parques? ¿Cuál es la composición de los materiales para la generación de concreto permeable en veredas de parques?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la influencia del concreto permeable en veredas de parques</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Calcular los materiales utilizados en el concreto permeable en veredas de los parques</p> <p>Determinar la composición de los materiales para la generación de concreto permeable en veredas de parques</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>La influencia del concreto permeable para veredas de parques está determinada por la cantidad de aditivos y agregados</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>Los aditivos usados en el concreto permeable para veredas de los parques logran una mejor permeabilidad</p> <p>La composición de los agregados influyen en la permeabilidad en veredas para parques</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>concreto permeable</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>veredas de parques</p>	<p>MÉTODO</p> <p>El método es inductivo-deductivo</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Experimental o Explicativo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Diseño Experimental-Factorial</p> <p>POBLACIÓN</p> <p>Distrito de lima metropolitana</p> <p>MUESTRA</p> <p>Veredas de parque</p> <p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</p> <p>Instrumento. regla nivel y teodolito para medir el ancho y la altura</p> <p>Ensayos Agregado Grueso</p> <p>Clasificación general del agregado según su tamaño</p> <p>Clasificación de los aditivos</p>

Molde para probeta



Cilindro para realizar el bloque de concreto y llevar al laboratorio

Agregado fino (arena)



Agregado fino para poder realizar en concreto permeable

Agregado grueso (piedra)



Agregado grueso que es material fundamental para el concreto permeable

Cemento portland



Cemento sol uno de los materiales fundamentales del proyecto donde debe cumplir la plasticidad necesaria

Preparando de la probeta



Preparado del cilindro con todos los materiales necesarios piedra, arena, cemento y agua

Dando los golpes para evitar los vacíos



Dando de 4 a 5 golpes al cilindro para q así no quede cangrejera en el cilindro de prueba

Preparado del bloque de permeabilidad



Bloque de concreto en forma rectangular para realizar la prueba de permeabilidad

Probeta de poco agregado



Molde de vereda de parque



Resultado del molde realizado para la prueba de compactación

Bloque para prueba de permeabilidad



Forma del bloque para la permeabilidad

RESULTADO: prueba de permeabilidad

