

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFORME DE TESIS**

**“RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA  
UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS PÚBLICAS”**

**PARA OPTAR:**

**TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Moisés Andrés Martín ARCE QUINTANA**

**TACNA – PERU**

**2019**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA****FACULTAD DE INGENIERIA****ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL****Tesis****“RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE  
AREQUIPA UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS  
PÚBLICAS”**

Tesis sustentada y aprobada el 04 del 12 del 2019; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE:**



**MTRO. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE**

**SECRETARIO:**



**MAG. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ**

**VOCAL:**



**MAG. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO**

**ASESOR:**



**ING. CESAR JULIO CRUZ ESPINOZA**

## DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo **MOISÉS ANDRÉS MARTÍN ARCE QUINTANA** en calidad de bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con **DNI 70616377**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:  
"RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS PÚBLICAS", la misma que presento para optar el título de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.



---

BACH. MOISES ANDRES MARTIN ARCE QUINTANA

DNI 70616377

Tacna, 4 de diciembre del 2019

## DEDICATORIA

A mis hijos Ignazio y Maximiliano, quienes son mi motivación para superarme día a día, para alcanzar siempre las metas que me propongo y poder ser un ejemplo para su crecimiento espiritual y profesional.

A mis padres Rosa y Moisés y a mis hermanos Daniela y Juan Carlos, por estar presentes durante toda mi formación, aconsejándome y orientándome a nunca rendirme y siempre seguir adelante para alcanzar mis objetivos.

**Moisés Andrés Martín Arce Quintana**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por la salud que tengo y haberme iluminado a escoger esta hermosa carrera.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; por formarme con reglas y algunas libertades y por motivarme siempre a alcanzar mis anhelos.

A Paula, por su apoyo incondicional y ayuda durante la ejecución de esta investigación.

A mi asesor el Ing. Cesar Julio Cruz Espinoza por ayudarme durante la asesoría, apoyándome y aconsejándome en la realización de la presente investigación.

A la Universidad Privada de Tacna por las facilidades para utilizar el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos y a su personal por asesorarme durante la realización de los diferentes ensayos.

A la Villa Médica de la Ciudad de Arequipa por las facilidades brindadas para poder realizar esta investigación buscando una solución a un problema constante.

**Moisés Andrés Martín Arce Quintana**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	14
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	14
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	16
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA</b> .....	17
<b>1.4 OBJETIVOS</b> .....	18
<b>1.5 HIPÓTESIS</b> .....	19
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	20
<b>2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO</b> .....	20
<b>2.1.1 LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA</b> .....	20
<b>2.1.2 CONCRETO PERMEABLE</b> .....	21
<b>2.2 BASES TEÓRICAS</b> .....	22
<b>2.2.1 PRECIPITACIONES PLUVIALES</b> .....	22
<b>2.2.2 CONCRETO PERMEABLE O POROSO</b> .....	24
<b>2.2.3 PAVIMENTO</b> .....	29
<b>2.2.4 SISTEMA DE DRENAJE</b> .....	32
<b>2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS</b> .....	33
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO</b> .....	35
<b>3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> .....	35
<b>3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	35
<b>3.1.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> .....	35
<b>3.2 POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO</b> .....	35
<b>3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b> .....	36
<b>3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	36
<b>3.4.1 SELECCIÓN DE MATERIAL</b> .....	36
<b>3.4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> .....	37
<b>3.4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN</b> .....	38
<b>3.4.4 HUMEDAD NATURAL</b> .....	41
<b>3.4.5 PESO UNITARIO</b> .....	43
<b>3.4.6 PERMEABILIDAD</b> .....	45
<b>3.4.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b> .....	47
<b>3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	49
<b>3.5.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> .....	50
<b>3.5.2 HUMEDAD NATURAL</b> .....	51

3.5.3 ABSORCIÓN .....	51
3.5.4 PESO ESPECÍFICO .....	51
3.5.5 PESOS UNITARIOS.....	52
3.5.6 CÁLCULO PARA DISEÑO DE MEZCLA .....	52
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	58
4.2 PERMEABILIDAD.....	59
4.3 DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJE .....	59
4.3.1 CÁLCULO DE DIÁMETRO DE TUBERIA.....	60
4.3.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL SISTEMA DE DRENAJE .....	62
4.4 ANÁLISIS DE COSTOS DEL CONCRETO PERMEABLE .....	63
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Cuadro de áreas distribuidas en la Villa Médica .....	17
<b>Tabla 2:</b> Información de los últimos 05 años de la Estación “La Pampilla” .....	21
<b>Tabla 3:</b> Tipos de cemento y sus características .....	25
<b>Tabla 4:</b> Operacionalización de variables .....	36
<b>Tabla 5:</b> Resultados de análisis granulométrico del agregado grueso .....	50
<b>Tabla 6:</b> Curva granulométrica del agregado grueso .....	50
<b>Tabla 7:</b> Resultado del ensayo de humedad natural del agregado grueso .....	51
<b>Tabla 8:</b> Resultado del ensayo de absorción del agregado grueso .....	51
<b>Tabla 9:</b> Resultado del ensayo de peso específico del agregado grueso .....	52
<b>Tabla 10:</b> Resultado de ensayo de pesos unitarios del agregado grueso .....	52
<b>Tabla 11:</b> Tabla resumen de la característica de los materiales .....	52
<b>Tabla 12:</b> Contenido típicos de materiales por metro cúbico .....	53
<b>Tabla 13:</b> Propiedades típicas del concreto poroso .....	53
<b>Tabla 14:</b> Simbología de las fórmulas a emplear .....	54
<b>Tabla 15:</b> Resumen del cálculo de cantidad de materiales para 1 metro cúbico .....	56
<b>Tabla 16:</b> Peso de materiales para realizar 01 testigo cilíndrico de concreto .....	57
<b>Tabla 17:</b> Peso de materiales para realizar 01 losa de concreto de 40cm x 40cm x 10cm .....	57
<b>Tabla 18:</b> Resistencia a la compresión a los 7 días .....	58
<b>Tabla 19:</b> Resistencia a la compresión a los 14 días .....	58
<b>Tabla 20:</b> Resistencia a la compresión a los 28 días .....	59
<b>Tabla 21:</b> Resultados de permeabilidad .....	59
<b>Tabla 22:</b> Coeficientes de escorrentía para zonas urbanas .....	61
<b>Tabla 23:</b> Velocidad máxima para colectores de agua pluvial .....	62
<b>Tabla 24:</b> Costo para elaboración de 1 m <sup>3</sup> de concreto permeable .....	63
<b>Tabla 25:</b> Costo total de pavimento de asfalto .....	64
<b>Tabla 26:</b> Costo total de pavimento de concreto hidráulico .....	64
<b>Tabla 27:</b> Costo total de pavimento de concreto permeable .....	65



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Inundación de las avenidas de la ciudad de Arequipa.....	14
Figura 2: Deslizamiento de tierra a causa de lluvias en la ciudad de Arequipa. ....	15
Figura 3: Vista de los departamentos de la Villa Médica. ....	15
Figura 4: Estacionamiento afectado por aniego en el año 2018 (fuente: Villa Médica).....	16
Figura 5: Volumen de precipitación pluvial (Fuente: Senamhi DZ-7).....	20
Figura 6: Funcionamiento del concreto permeable (fuente: Toxement).....	24
Figura 7: Composición de capas del pavimento rígido.....	30
Figura 8: Composición de capas del pavimento flexible.....	31
Figura 9: Dimensiones de anillo de infiltración (fuente: ASTM C-1701).....	46
Figura 10: Presentación de piedra chancada de ¾” de la cantera La Poderosa (fuente: elaboración propia). ....	49
Figura 11: Corte transversal del sistema de drenaje (fuente: elaboración propia). ..	62
Figura 12: Corte longitudinal del sistema de drenaje (fuente: elaboración propia). .	63
Figura 13: Resistencia alcanzada a los 7 días (fuente: elaboración propia). ....	66
Figura 14: Resistencia alcanzada a los 14 días (fuente: elaboración propia). ....	67
Figura 15: Resistencia alcanzada a los 28 días (fuente: elaboración propia). ....	67
Figura 16: Propuesta de ubicación de 1ra cisterna (fuente: elaboración propia). ....	68
Figura 17: Propuesta de ubicación de 2da cisterna (fuente: elaboración propia). ...	69
Figura 18: Propuesta de ubicación de 3ra cisterna (fuente: elaboración propia). ....	69
Figura 19: Comparación costos de tipo de pavimento por metro lineal por calzada en soles (fuente: Agneth Guizado y Curi Grados, 2017). ....	70

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO N° 1: PLANIMETRIA.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO N° 2: ZONAS CRÍTICAS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO N° 3: SISTEMA DE DRENAJE .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO N° 4: PANEL FOTOGRÁFICO.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO N° 5: CERTIFICADOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO N° 6: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....</b>	<b>94</b>

## RESUMEN

El negativo impacto ambiental que se dan en las ciudades y zonas urbanas, está muy relacionado al desarrollo y crecimiento de las mismas. Este efecto negativo termina dañando con el pasar de los años a la misma población, generando así que las temperaturas se eleven, se reduzca el volumen de agua.

Es debido a la presencia de elementos impermeables, que se interfiere en el ciclo hídrico evitando así que se recarguen los mantos acuíferos y provocando la escorrentía superficial. Este tipo de problemas es muy común en las ciudades no auto-sostenible.

En esta investigación se busca utilizar el concreto permeable como solución a fin de reducir la escorrentía superficial en la Villa Médica de la ciudad de Arequipa, promoviendo así el uso de nuevas tecnologías que son aplicadas en ciudades que cuentan con un sistema de construcción sostenible, creando una relación de progreso y cuidado del medio ambiente.

Con la presente investigación se busca proponer el almacenamiento de las aguas de lluvia, a fin de poder brindarles un correcto uso, reduciendo así el consumo típico de agua a fin de optimizarlo para trabajos específicos y promover esta idea a lo largo del territorio nacional que presente la misma problemática que la Villa Médica de la ciudad de Arequipa.

**Palabras clave:** Concreto permeable, pavimento, resistencia a la compresión uniaxial, infiltración, sistema de drenaje.

## ABSTRACT

The negative environmental impact that occur in cities and urban areas is closely related to their development and growth. This negative effect ends up damaging the same population over the years, thus generating temperatures to rise, the volume of water is reduced.

It is due to the presence of impermeable elements, which interferes with the water cycle, thus preventing the aquifer layers from recharging and causing surface runoff. This type of problem is very common in non-self-sustainable cities.

This research seeks to use pervious concrete as a solution to reduce surface runoff in the Medical Village of the city of Arequipa, thus promoting the use of new technologies that are applied in cities that have a sustainable construction system, creating a relationship of progress and care of the environment.

This research seeks to propose the storage of rainwater, in order to provide them with proper use, thus reducing the typical consumption of water in order to optimize it for specific jobs and promote this idea throughout the national territory present the same problem as the Medical Village of the city of Arequipa.

**Keywords:** Pervious concrete, pavements, uniaxial compressive strength, infiltration, drainage system.

## INTRODUCCIÓN

Generalmente las construcciones a lo largo del territorio nacional, no cuentan con un correcto manejo de la escorrentía superficial tanto en las vías de tránsito como en zonas de estacionamiento. Esta deficiencia genera efectos negativos debido a que permite que el agua quede empozada o empieza a discurrir por las vías de tránsito, siendo los efectos negativos la posibilidad de ser focos infecciosos.

Como el concreto permeable se está dando como una alternativa factible al concreto tradicional en los países donde son frecuentes las precipitaciones pluviales en gran volumen para poder tener un mejor manejo de las aguas provenientes de las lluvias y reutilizarla en diferentes ámbitos ya sea como recarga de acuíferos naturales o almacenándolas en reservorios, se propone utilizarlo en la Villa Médica de la ciudad de Arequipa, debido a que ésta ha presentado problemas a través de los años debido a que no se cuenta con un correcto sistema de drenaje.

Esta investigación hace una comparación entre los beneficios del concreto permeable con respecto al concreto hidráulico tradicional y al pavimento flexible, presentándolo así como una interesante propuesta de solución, cumpliendo los requisitos de resistencia mínimos requeridos por la normativa peruana y permitiendo la filtración del agua de lluvia a través de su estructura.

Con los resultados obtenidos se busca fomentar la investigación en el concreto permeable o poroso a fin de mejorar la relación de resistencia-permeabilidad para poder trabajarlo de manera más óptima en diferentes condiciones y presentarlo en gran escala para las ciudades que se encuentran afectadas por las precipitaciones pluviales a fin de almacenar esas aguas y reutilizarlas.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La presencia de agua empozada proveniente de las precipitaciones pluviales en las vías de estacionamiento y tránsito peatonal en la Villa Médica de la ciudad de Arequipa, genera malestar e incomodidad al momento de utilizarlas, siendo que al no tener un correcto sistema de drenaje, las vías tienden a presentar escurrimiento superficial reduciendo así la capacidad de fricción y desgaste del pavimento convirtiéndose esto en una causante de riesgos y accidentes tanto en el ámbito vehicular como para la salud de los habitantes de la Villa Médica.

Estudios demuestran que aproximadamente solo el 20% de las calles de la ciudad de Arequipa cuentan con un sistema de drenaje pluvial, siendo esto una gran preocupación debido a que cerca de sus 1 316 000 habitantes (INEI 2017) se encuentran expuestos a los problemas que traen consigo las constantes precipitaciones pluviales que se dan en la temporada de verano durante los meses de Enero y Febrero. Si bien el costo de la implementación de sistemas de drenaje en la ciudad de Arequipa asciende a millones de soles solo para la construcción, este costo no contempla el gasto periódico de mantenimiento que debería hacerse en los sistemas de drenaje para que no lleguen a saturarse ni colapsar durante la temporada de lluvias.



Figura 1: Inundación de las avenidas de la ciudad de Arequipa.



Figura 2: Deslizamiento de tierra a causa de lluvias en la ciudad de Arequipa.

Siendo una problemática constante a través de los años y que no se le da una correcta solución de carácter preventivo a fin de minimizar los daños y pérdidas que se pueden dar debido a estos acontecimientos meteorológicos.

La Villa Médica no se encuentra exenta de los daños ocasionados por las precipitaciones pluviales que se originan entre los meses de Enero a Marzo, siendo Febrero el mes que presenta el mayor volumen de precipitación pluvial, pues se ha visto afectada de manera directa e indirectamente generando así inundaciones dentro de sus ambientes, siendo los más afectados la zona de estacionamientos ubicados entre las torres I y II. Estas inundaciones se deben al volumen de agua de lluvia caída sumado con la diferencia de niveles que se presentan en las zonas de estacionamientos, haciendo que el agua se empoce generando malestar a sus habitantes.



Figura 3: Vista de los departamentos de la Villa Médica.

Entre los registros de daños ocasionados por las precipitaciones pluviales se encuentra el colapso de un muro perimétrico colindante con los condominios Alegra en el año 2018, el cual debido a las constantes lluvias y al movimiento de tierras del

condominio Alegra, el muro se debilito generando el ingreso de agua a la Villa Médica inundando la zona de estacionamientos entre las torres IV y V.



Figura 4: Estacionamiento afectado por aniego en el año 2018 (fuente: Villa Médica).

Aunque en los últimos años el aspecto del cuidado ambiental ha tomado gran importancia en el rubro de la construcción, todos los sistemas de drenaje que se trabajan en las vías afectan al ciclo natural del agua, evitando así que el agua se almacene ya que mediante los sistemas de drenaje son destinados a las alcantarillas evitando así que su utilización sea correcta y es tratada como agua residual, desaprovechando la oportunidad de almacenarla para posibles usos a futuro como por ejemplo para el riego de áreas verdes en parques o en áreas comunes en residenciales y condominios.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### Interrogante general

- ¿Es el concreto permeable una solución viable para mejorar los problemas de drenaje de las aguas de lluvia en las vías de tránsito de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa?

### Interrogantes específicas

- ¿El concreto permeable cumple con los requisitos mínimos de resistencia establecidos en la normativa vigente para su utilización en las vías públicas?



- ¿La capacidad de permeabilidad del concreto poroso permite tener las vías públicas secas en corto tiempo reduciendo así los daños y malestares causados por las precipitaciones pluviales y las escorrentías superficiales?
- ¿Se puede diseñar un sistema de drenaje y calcular el volumen de almacenamiento de aguas pluviales utilizando el concreto permeable para su posterior reutilización?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La Villa Médica es un conjunto habitacional que se encuentra en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, cuenta con una extensión total de 41,844.00 m<sup>2</sup>, cuenta con 06 torres de 14 pisos cada una, las cuales tienen la capacidad de albergar 300 familias en total (Villa Médica Arequipa, 2019).

Cuenta con un área de 8,253.00 m<sup>2</sup> destinada a vías peatonales y estacionamientos de los habitantes teniendo así un porcentaje de 19.72% del área total del terreno, tiene áreas de esparcimiento y recreación que ocupan el 69.18% del terreno distribuido entre sus canchas de futbol, fulbito, básquet, tenis, frontón, vóley y áreas verdes con una extensión total de 28,949.00 m<sup>2</sup>, las cuales requieren un consumo aproximado de 60,000 m<sup>3</sup> de agua al año para el mantenimiento de dichas áreas, considerando que el consumo de agua para mantenimiento se reduce durante los meses de enero a marzo por la temporada de lluvias, el consumo promedio de agua equivaldría a 5,000 m<sup>3</sup> al mes.

**Tabla 1:** Cuadro de áreas distribuidas en la Villa Médica

<b>CUADRO DE ÁREAS</b>		
ÁREA DEL TERRENO	41,844.00 m <sup>2</sup>	100%
<b>ÁREAS</b>		
VÍAS Y ESTACIONAMIENTOS	8,253.00 m <sup>2</sup>	19.72%
RECREACIÓN	28,949.00 m <sup>2</sup>	69.18%
EQUIPAMIENTO	1,810.00 m <sup>2</sup>	4.33%
VIVIENDA	2,832.00 m <sup>2</sup>	6.77%

Fuente: Villa Médica de Arequipa.

Con la finalidad de cuidar el medio ambiente y a la vez mantener un correcto funcionamiento del sistema de drenaje de las vías públicas, es que se busca

indagar sobre el concreto permeable para presentarlo como solución a los problemas que presenta la Villa Médica de la ciudad de Arequipa debido a las precipitaciones pluviales que llegan a la ciudad durante los meses de Enero, Febrero y Marzo, así como también los problemas que se generan debido a la falta sistemas de drenaje y de mantenimiento de los mismos.

Esta investigación ayudará a fomentar el uso de nuevos sistemas de trabajo así como también incentivará buscar más soluciones a los problemas causados por las precipitaciones pluviales a fin de reducir los posibles accidentes y daños que se pueden presentar debido a la presencia de agua en la superficie de las vías públicas tanto peatonal como vehicular dándole así un impacto tecnológico al ser requerido utilizar sistemas no convenciones.

Esta investigación busca causar un impacto social debido a que podrá reducir el malestar en la población de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa que se presenta durante la temporada de lluvias cuando las calles se encuentran con agua empozada pudiendo así convertirse en focos infecciosos, dañando la salud de los residentes.

Es por eso que se busca proponer un sistema que permita el almacenamiento de las aguas pluviales en las zonas de estacionamientos y accesos de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa permitiendo así tener vías públicas secas, seguras y con la posibilidad de reutilizar el agua para el riego de áreas verdes y conservación del recurso hídrico.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Proponer una alternativa de solución a los problemas de inundación y escorrentía superficial en los estacionamientos de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa durante las temporadas de lluvia.

### **Objetivos específicos**

- Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto permeable.
- Evaluación del estado del concreto permeable sometido a las precipitaciones pluviales.

- Diseño del sistema de drenaje para el agua proveniente de lluvias a fin de reducir la escorrentía superficial y el agua empozada dentro de la Villa Médica.

## **1.5 HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

- El concreto permeable permite reducir la escorrentía superficial de las vías públicas de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa debido al porcentaje de vacíos que presenta en su estructura.

### **Hipótesis específicas**

- Las resistencias que alcanza el concreto permeable a diferentes edades lo presenta como una alternativa viable para su uso en vías públicas cumpliendo así los requisitos mínimos indicados en la normativa.
- El porcentaje de vacíos que presenta el concreto permeable en su estructura, permite la infiltración del agua proveniente de lluvia que se empoza en diferentes zonas de la vía pública de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa.
- Con un diseño de sistema de drenaje se puede conducir el agua que filtra a través del concreto permeable hacia futuros reservorios a fin de reutilizar el agua de lluvia en el riego de áreas verdes de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

#### 2.1.1 LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

La ciudad de Arequipa se encuentra afectada por fuertes precipitaciones pluviales a lo largo de su historia, las cuales traen consigo serias destrucciones materiales y en muchas ocasiones ha terminado cobrando vidas humanas debido a la pobre cultura de prevención y los escasos sistemas de drenaje a lo largo de la ciudad.

Como lo indican los registros históricos de Senamhi, durante los últimos 5 años en la ciudad de Arequipa los valores máximos alcanzados en precipitaciones pluviales se ha dado en los meses de Enero y Febrero, logrando alcanzar en el año 2015 un valor de 103.4 mm (103.4 litros/m<sup>2</sup>) en el mes de Febrero y en el año 2017 el valor de 103.3 mm (103.3 litros/m<sup>2</sup>) en el mes de Enero (Senamhi 2019).

La figura 5 muestra el volumen de agua que se ha precipitado en la ciudad en los últimos 5 años, demostrando así que el mes en el que más veces llega a alcanzar los picos altos es el mes de Febrero. Aunque se aprecia una gran caída en el volumen de lluvias en el año 2018 con respecto al año anterior, el año 2019 volvió a alcanzar el valor promedio de los 50 mm (50 litros/m<sup>2</sup>).

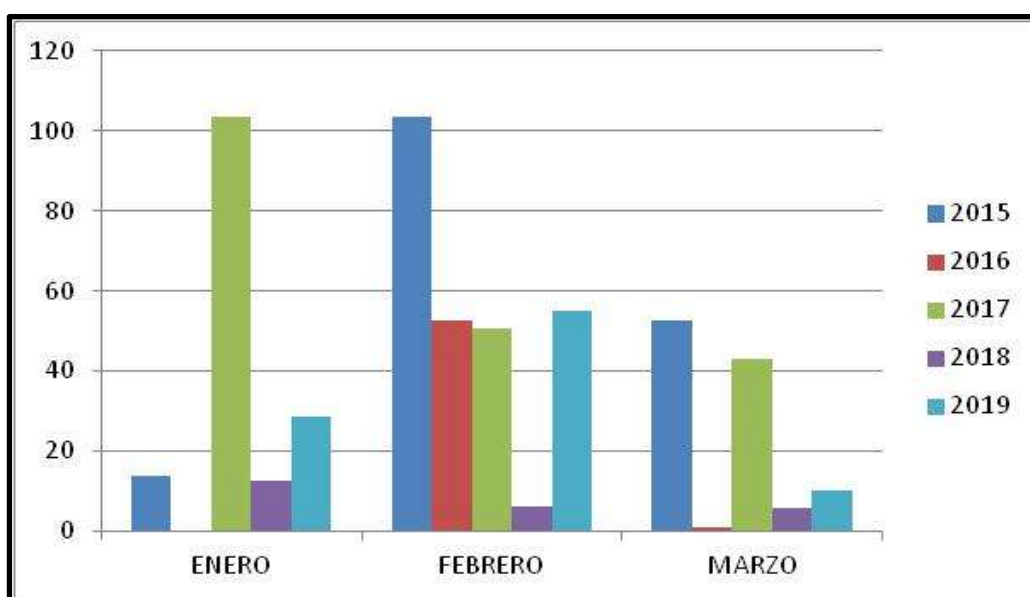




Figura 5: Volumen de precipitación pluvial (Fuente: Senamhi DZ-7).

La tabla 3 muestra los datos obtenidos para realizar el diagrama de barras de la tabla 01, estos datos han sido recolectados por la estación la Pampilla, la cual se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa y es la que se encarga de recolectar los datos dentro de la provincia de Arequipa.

**Tabla 2:** Información de los últimos 05 años de la Estación “La Pampilla”

												
“Año de la lucha contra la corrupción e impunidad”												
<b>ESTACION :</b> CO-LA PAMPILLA				<b>LAT.:</b> 16° 24` 49.66"				<b>DPTO.:</b> AREQUIPA				
<b>PARAMETRO :</b> PREC.TOTAL MENSUAL (mm.)				<b>LONG. :</b> 71° 32` 4,31"				<b>PROV.:</b> AREQUIPA				
<b>CODIGO :</b> 110839				<b>ALT. :</b> 2326 msnm.				<b>DIST. :</b> AREQUIPA				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	13.7	103.4	52.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	0.0	52.8	1.0	8.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2017	103.3	50.6	43.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	14.0
2018	12.8	6.2	5.8	0.2	0.0	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	28.7	54.8	10.1									
Información preparada para Moises Andres Martin Arce Quintana BASE DE DATOS DZ-7/MELR <span style="float: right;">13/05/2019</span>												

Fuente: Senamhi DZ-7.

Es debido a estos altos volúmenes de agua de lluvia acumulada que afecta a la ciudad de Arequipa durante los meses de verano y a la ausencia de sistemas de drenaje que funcionen óptimamente que el suelo puede llegar a erosionar y a ceder, pudiendo producir así deslizamiento de volúmenes de tierra aumentando los daños tanto materiales como pérdidas en la vida humana.

### 2.1.2 CONCRETO PERMEABLE

El concreto permeable ha sido utilizado en sus inicios en construcción de edificios en Europa debido a su costo menor de elaboración, los usaron los países para reconstruirse después de la 2da Guerra Mundial ya que no contaban con los recursos necesarios por el déficit económico en el que se encontraban.

Este concreto fue utilizado en mayor volumen en los países como Francia, Holanda, Alemania, Escocia, España, Australia, Bélgica, Hungría y Rusia.

Los primeros usos del concreto permeable como pavimento datan de los años setenta en Japón ya que debido a las precipitaciones que oscilan en 1500 mm al

año, hicieron que se investigue más a fondo para reducir la escorrentía superficial, la utilización de este concreto poroso ha sido fundamentalmente para funciones de drenaje (Guizado y Curi, 2017).

La utilización del concreto permeable tanto en edificaciones como en vías de tránsito en el continente sudamericano ocupa un porcentaje muy bajo en comparación con el concreto tradicional ya que América no tuvo una escasez de materiales como lo que vivió Europa y es por eso que solo se conocen algunas investigaciones realizadas por universidades (Moujir y Castañeda, 2014).

En Guatemala se tiene registro del uso del concreto permeable en pasos peatonales y en muros de jardines ecológicos ayudando así a la infiltración del agua. (Gonzales Cabrera, 2015).

El único registro de utilización en el Perú del concreto permeable fue para el revestimiento de tuberías en una planta de tratamiento de Huachipa en el año 2011. (Guizado y Curi, 2017).

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 PRECIPITACIONES PLUVIALES**

Las precipitaciones pluviales son todas aquellas manifestaciones de agua meteorológica, las cuales se pueden presentar en forma de lluvia, llovizna, granizo, nieve, etc.

Estas precipitaciones pluviales al caer en la superficie pueden terminar generando incomodidad y problemas a la población dependiendo de la intensidad de la misma.

#### **2.2.1.1 MEDICIÓN**

Para la medición de las precipitaciones pluviales se pueden utilizar dos instrumentos:

##### **2.2.1.1.1 PLUVIÓGRAFO**

Es la representación gráfica de la evolución en el tiempo de las precipitaciones pluviales, la cual se va registrando ya puede ser digitalmente o con tinta en un papel.

### **2.2.1.1.2 PLUVIÓMETRO**

Es la medición de las precipitaciones pluviales en un recipiente, la cual se va almacenando hasta alcanzar una altura en mm, esta altura representa el volumen de precipitación pluvial considerando que la unidad de medida es el mm.

La unidad de litro/m<sup>2</sup> es equivalente al mm, debido a que es la representación de 1 litro de agua repartido por una superficie de 1m<sup>2</sup> originando así un espesor de 1 mm de lámina de agua.

### **2.2.1.2 IMPORTANCIA DE ESTUDIO**

El estudio de las precipitaciones pluviales es básico dentro de los estudios hidrológicos de una región, para poder determinar los recursos hídricos ya que es la fuente principal de entrada de agua a las cuencas regionales.

En la ingeniería cumple la función importante en la previsión de avenidas, estudios de erosión y diseño de obras públicas a fin de poder mitigar los desastres causados por dichas precipitaciones.

### **2.2.1.3 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL**

La escorrentía superficial se entiende como toda aquella agua que no es absorbida por el suelo posterior a un evento meteorológico y por efectos de gravedad discurren a través de las diferentes vías de tránsito. Es un problema por el cual diferentes ciudades alrededor del mundo luchan porque las áreas son densamente pobladas y pueden presentar graves problemas cuando no se cuenta con la infraestructura adecuada para contener dichas precipitaciones.

Por lo general una combinación de velocidad y volumen puede causar inundación o erosión, que desencadena en problemas medioambientales en los ríos y cales cuando estos presentan muchos contaminantes.

Debido a que el suelo es un excelente filtro natural para los residuos de las precipitaciones pluviales, ya en la ciudad sin grandes áreas verdes y con una superficie elevada de superficies duras (pavimentos rígidos, pavimentos flexibles, edificios, etc.) estas pueden generar grandes volúmenes de escorrentía superficial.

Las ciudades que logran recolectar y tratar las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales ayudan a las comunidades a volverse ciudades

sustentables sobre todo en época de escasez de agua. Esta agua puede utilizarse para riego o para enfriamiento en plantas industriales y en reúso no potable.

### 2.2.2 CONCRETO PERMEABLE O POROSO

El concreto permeable o poroso es un concreto especial el cual presenta un gran valor de porosidad que permite el paso de agua a través de su estructura a fin de reducir la contaminación y la escorrentía superficial de agua pudiendo dar así la facilidad de almacenarla para su posible reutilización.

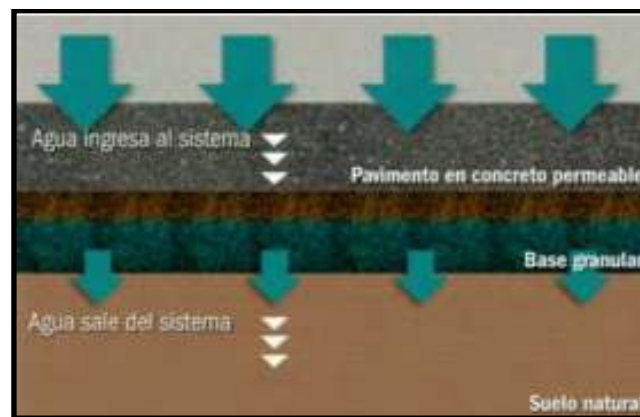


Figura 6: Funcionamiento del concreto permeable (fuente: Toxement).

El contenido de vacíos que presenta el concreto permeable o poros puede variar entre 18% a 35% pero pudiendo alcanzar la resistencia a la compresión típica de 2,8 MPa a 28 MPa teniendo un equivalente de 400 a 4000 psi.

#### 2.2.2.1 COMPOSICIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE

El concreto permeable tiene la principal característica de que en su composición no presenta agregados finos permitiendo así que exista un espacio vacío entre las partículas de las piedras del agregado grueso.

##### 2.2.2.1.1 CEMENTO

El cemento es el conglomerante que al entrar en contacto con el agua permite generar una pasta que al fraguar tiende a ganar resistencia con el pasar de los días.

Cuando el porcentaje de cemento en la mezcla se encuentra entre 6% y 15%, permite tener un comportamiento de la pasta en cuanto a la trabajabilidad.



La resistencia mecánica del concreto depende del tipo de cemento a utilizar, existiendo actualmente 5 tipos de cemento:

**Tabla 3:** Tipos de cemento y sus características

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Tipo I	Para uso general
Tipo II	Para uso general donde existen ataque de sulfatos moderado
Tipo III	Alcanza alta resistencia a edades tempranas
Tipo IV	Bajo calor de hidratación
Tipo V	Resistencia contra un alto ataque de sulfatos

Fuente: Cementos Yura.

#### **2.2.2.1.2 AGREGADO GRUESO**

El agregado grueso consiste en grava o una combinación de gravas cuyas partículas son mayores a 5 mm.

El agregado tiene una participación entre el 65% y el 70% del total de la mezcla del concreto.

El agregado tiene influencia importante en la manejabilidad del concreto durante su estado fresco y afecta en mayor medida a la resistencia a través de la relación agregado/pasta de cemento.

#### **2.2.2.1.3 AGUA**

El agua cumple dos funciones con respecto al concreto, el primer caso es como ingrediente para la elaboración de la pasta de concreto y el segundo caso para utilizarlo al momento del curado de concreto.

Durante la elaboración de la pasta de concreto, suele estar representado entre el 10% y el 25% del volumen total de la mezcla de concreto.

La normativa indica que el agua que se utiliza tanto en la mezcla y el curado del concreto debe encontrarse limpia, en caso contrario trae consigo comportamientos adversos a la mezcla como reducción del tiempo de fraguado, eflorescencia, corrosión, menor durabilidad, inestabilidad volumétrica, etc.

### **2.2.2.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE**

(Ficha técnica Argos, versión 4. Enero 2017) El concreto permeable o poroso cuenta con propiedades dependiendo del estado en el que se encuentre:

#### **2.2.2.2.1 CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO**

- Trabajabilidad
- Exudación y asentamiento
- Revenimiento
- Peso unitario
- Porosidad
- Consolidación

#### **2.2.2.2.2 CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO ENDURECIDO**

- Permeabilidad
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la abrasión
- Durabilidad

### **2.2.2.3 BENEFICIOS DEL CONCRETO PERMEABLE**

El uso de concreto permeable trae consigo beneficios medioambientales y son utilizados en las ciudades que son autosustentables (Ficha técnica Argos, versión 4. Enero 2017).

#### **2.2.2.3.1 BENEFICIOS HIDRÁULICOS**

- Permite el desarrollo urbano recreando el ciclo del agua sin saturar el sistema de alcantarillado.
- Reduce la necesidad de estructuras como cunetas, sumideros para el manejo de agua por escorrentía superficial.

#### **2.2.2.3.2 BENEFICIOS ARQUITECTÓNICOS**

- Impacto visual diferente a otro tipo de concretos por su textura y variedad de colores.

#### **2.2.2.3.3 BENEFICIOS SOSTENIBLES**

- Mitiga el efecto de la isla de calor
- Con un adecuado sistema hidráulico se puede recolectar y reutilizar agua de lluvia.
- Permite la alimentación de acuíferos naturales.
- Reducción de escorrentía
- Disminución de temperatura
- Limpieza del agua de lluvia

#### **2.2.2.4 USO DE CONCRETO PERMEABLE**

El uso de concreto permeable en otros países se viene dando en zonas de:

- Estacionamientos
- Ciclovías
- Rodaduras de tráfico liviano
- Senderos peatonales
- Canchas deportivas
- Parques
- Invernaderos

#### **2.2.2.5 COLOCACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE**

El procedimiento de colocado de concreto es muy importante debido a que conducen a un correcto desempeño del concreto permeable, siendo para esto necesario contar con mano de obra experimentada en este rubro.

Se debe considerar que la base donde será colocado el concreto permeable debe tener la cantidad de agua adecuada, debido a que esta capa puede absorber el agua de la mezcla, produciendo así que el fraguado sea más rápido y reduciendo la resistencia del pavimento.

Previo a la colocación del concreto permeable será necesario revisar los niveles así como también el encofrado, se compactará la base para poder tener un espesor uniforme.

El concreto debe de ser depositado tan cerca de su posición final como sea la manera más práctica, normalmente se utiliza el camión mezclador junto con una canaleta haciendo así la colocación del concreto en la base o subrasante.

Para este tipo de concreto no se recomienda utilizar el sistema de bombeo debido a que son normalmente ásperas. Después de la colocación del concreto, este debe de ser acomodado con un rastrillo o una herramienta manual similar a fin de esparcir la mezcla por toda el área (Hernández Rivera, 2017).

Después de colocado, este concreto debe ser apisonado manualmente a fin de asegurar que se mantenga una integridad estructural.

#### **2.2.2.6 CURADO DEL CONCRETO PERMEABLE**

Hernández Rivera (2017) define que el objetivo fundamental del curado del concreto es facilitar el desarrollo de la hidratación del cemento y reducir así las contracciones que se producen por efectos ambientales las cuales se demuestran en la aparición de fisuras a lo largo del concreto ya endurecido.

El curado del concreto debe de realizarse inmediatamente después de compactar el concreto y realizar las juntas transversales, pues un error en el curado en los primeros 7 días puede significar reducir la durabilidad en un 60% según lo indica la normativa ACI 522.

Debido a los poros que contiene el concreto permeable, utilizar los métodos de curado tradicionales como esparcir agua no producirá un correcto curado del mismo ya que el agua será filtrada a través de la estructura del concreto.

El procedimiento más adecuado para el curado del concreto permeable consiste en cubrir la superficie con un material de polietileno claro no menor a 0.15mm de espesor.

#### **2.2.2.7 MANTENIMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE**

Debido a la que es un concreto de carácter especial, el mantenimiento debe de ser riguroso con el fin de evitar la colmatación y conservar sus beneficios.

Este mantenimiento consiste en eliminar cualquier tipo de planta, tierra o cualquier material que pueda quedar entre los poros reduciendo la penetración de agua a través de la estructura.

#### **2.2.2.8 NORMATIVA DEL CONCRETO PERMEABLE**

Patiño (2013) indica que para el año 2006 la ASTM crea el subcomité C09.49, el cual fue encargado de investigar y desarrollar normativas de concreto permeable.

La norma ACI 522.1-08 surge en el año 2008 bajo la denominación de “Specification for Pervious Concrete Pavement”, normativa en la cual se adoptan normas del ASTM para controlar la calidad de los pavimentos de concreto permeable.

Para el año 2010, el ACI actualiza la normativa ACI 522R-08, en la cual se observan los avances en las prácticas de fabricación e instalación de concreto permeable y considerando nuevas recomendaciones, la normativa pasaría a ser ACI 522R-10.

#### **2.2.3 PAVIMENTO**

Se considera pavimento a toda capa o base que constituye el suelo de una construcción o de una superficie no natural.

En la ingeniería, el pavimento es una capa constituida que se coloca sobre un terreno nivelado o natural a fin de aumentar su resistencia y darle uso para la circulación de personas y vehículos.

##### **2.2.3.1 TIPOS DE PAVIMENTOS**

Existen dos tipos de pavimentos los cuales son:

###### **2.2.3.1.1 PAVIMENTO FLEXIBLE**

También conocidos como pavimentos asfálticos, estos son los hechos con concreto asfáltico mezcla en caliente, concreto asfáltico mezcla en frío, micro-pavimentos, etc.

###### **2.2.3.1.2 PAVIMENTO RÍGIDO**

Es aquel que se hace con concreto hidráulico en cualquiera de sus formas como losas de concreto, suelo-cemento, concreto compactado con rodillo, etc.

### 2.2.3.2 COMPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

Los pavimentos dependiendo del tipo cuentan con capas por debajo de la superficie.

La composición del pavimento rígido es la siguiente:

- Superficie de rodadura
- Capa de sub-base
- Capa de sub-rasante

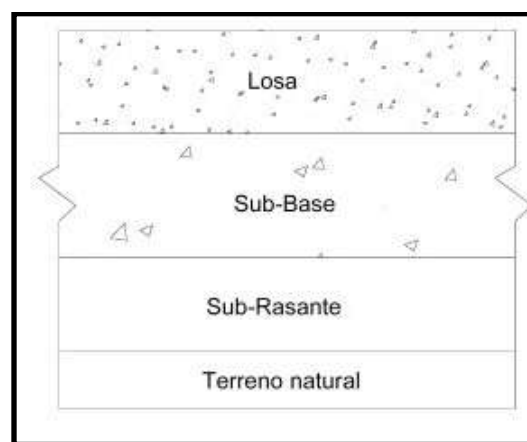


Figura 7: Composición de capas del pavimento rígido

La composición del pavimento flexible es la siguiente:

- Superficie de rodadura
- Capa de base
- Capa de sub-base
- Capa de sub-rasante

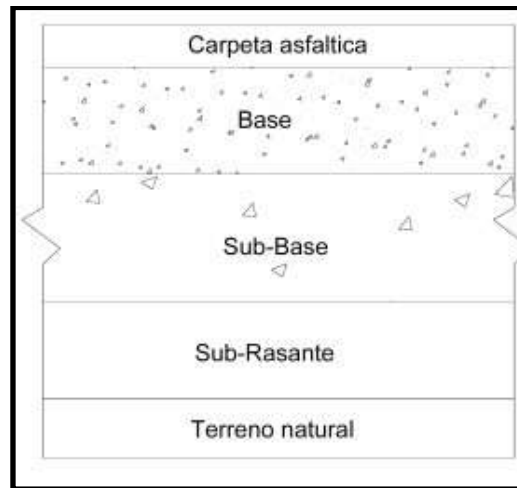


Figura 8: Composición de capas del pavimento flexible

### 2.2.3.3 NORMATIVA DE LOS PAVIMENTOS

En el Perú la normativa que rige las condiciones, características, diseño y tipos de pavimentos es la norma CE.010 PAVIMENTOS URBANOS del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

### 2.2.3.4 VENTAJAS DEL PAVIMENTO DE CONCRETO

El uso de los pavimentos de concreto presenta ventajas las cuales se pueden describir en 3 tipos de áreas:

#### 2.2.3.4.1 VENTAJAS TÉCNICAS

- Mayor visibilidad
- Mayor seguridad para los usuarios
- Menores distancias de frenado
- Menores problemas por intervenciones durante mantenimiento
- Mayor durabilidad
- Equipos para la construcción de fácil adquisición

#### 2.2.3.4.2 VENTAJAS AMBIENTALES

- Reducción en el consumo de combustible

- Reducción hasta en 30% de infraestructura de iluminación
- Menores materiales de desecho
- Reducción de efecto de la isla de calor
- Material 100% reciclable

#### **2.2.3.4.3 VENTAJAS FINANCIERAS**

- Menor costo de mantenimiento
- Menores costos iniciales de construcción

#### **2.2.4 SISTEMA DE DRENAJE**

Los sistemas de drenaje permiten la circulación de las aguas estancadas en el terreno, las cuales se acumulan en las depresiones topográficas en el subsuelo. Cuando se acumulan abundantemente estas aguas, se causan graves problemas en la agricultura, carreteras y áreas urbanizadas.

##### **2.2.4.1 ORIGEN**

El origen de las aguas puede ser:

- Escurrimiento superficial
- Subida de la capa freática
- Precipitación pluvial acumulada en el área

##### **2.2.4.2 TIPOS DE SISTEMA DE DRENAJE**

###### **2.2.4.2.1 DRENAJE PLUVIAL**

Es el sistema que facilita el traslado del agua de lluvia para que ésta pueda ser aprovechada. Otros de sus propósitos, quizás el más importante, es evitar que las ciudades se inunden.

###### **2.2.4.2.2 DRENAJE GEOLÓGICO**

Es una red de transporte superficial del agua y de los sedimentos que suele permeabilizar las capas superiores de un terreno y después constituye arroyos.



### 2.2.4.2.3 DRENAJE SUBTERRÁNEO

En la agricultura, es la práctica de bajar el nivel freático del agua subterránea en campos agrícolas mediante un sistema de drenaje con el objetivo de promover la producción de los cultivos.

### 2.2.4.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE

El sistema de drenaje está formado por una red de canales cuya misión es recoger y conducir las aguas a otro lugar. Este sistema suele ser usado en ríos y en valles donde los drenajes naturales son de baja calidad.

Las redes de canales deben limpiarse, eliminando fango y maleza para que el curso del agua no se modifique. Cuando los terrenos a drenar están en cotas superiores a la obra donde se requiere llevar el agua, la propia declividad del terreno puede funcionar junto a la fuerza de la gravedad.

Es importante tener en cuenta que un sistema de drenaje deficiente pone a una ciudad en riesgo como lo ocurrido en la ciudad de Nueva Orleans en el año 2005 después del huracán Katrina, pues la inundación que siguió a dicha catástrofe tomó muchos meses en ser resuelta.

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Concreto permeable:** Material compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua (ACI 522R-10).

**Pavimento rígido:** Son aquellos formados por una losa de concreto Portland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante.

**Permeabilidad:** Capacidad que tienen los materiales para permitir que un flujo lo atraviese sin dañar su estructura interna.

**Porosidad:** Se define como la relación entre el volumen total de un cuerpo y el volumen de vacíos que este contiene.

**Prevención:** Se define como prevención a la acción de preparar con anticipación lo necesario a fin de prever un daño.

**Resistencia a la compresión:** Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.

**Riesgo:** Posibilidad de que se produzca un contratiempo o una desgracia, de que alguien o algo sufra perjuicio o daño.

**Sistema de drenaje:** Sistema que tiene por función principal permitir retirar agua acumulada que pueda causar inconvenientes ya sea en áreas agrícolas o urbanas.

**Vía pública:** Espacio de dominio común destinado para el tránsito de peatones o vehículos.

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación será de carácter descriptivo debido a que se someterá el concreto permeable a una representación de precipitaciones pluviales para poder describir su comportamiento y en respuesta a eso se elaborará un diseño para almacenar el agua que pueda filtrar por el concreto permeable.

#### **3.1.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de la siguiente investigación es de carácter comprensivo debido a que busca proponer una alternativa de solución a los problemas de inundación que se presentan en los parques, estacionamientos, plazas y alamedas de la ciudad de Arequipa durante las épocas de lluvia.

### **3.2 POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO**

Para la elaboración de la investigación se tomó como muestra dos representaciones de una losa elaborada con concreto permeable las cuales tendrán las dimensiones de 0.40 m x 0.40 m x 0.10 m, dándonos un volumen total de 0.016 m<sup>3</sup>, una de las muestras será sometida a ensayos de permeabilidad, mientras que la otra se utilizó para la esquematización del sistema de almacenamiento de las aguas pluviales.

La muestra utilizada para la esquematización del sistema de almacenamiento sirvió para demostrar la realidad in situ de cuál es el comportamiento del concreto permeable y como mediante este concreto es posible almacenar el agua proveniente de las lluvias para poder reutilizarlas así como también se pudo observar las características de la superficie durante la presencia de las precipitaciones pluviales.

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 4:** Operacionalización de variables

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>
Resistencia a la compresión	Carga de ruptura entre el área de sección que resisten la carga	kg/cm <sup>2</sup>	"f <sub>c</sub> "
Permeabilidad	Cantidad de agua drenada por unidad de tiempo	cm <sup>2</sup> /h	"I"
Precipitación pluvial	Cantidad de litros caídos por área de superficie	L/m <sup>2</sup>	"mm"

Fuente: elaboración propia.

### 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.4.1 SELECCIÓN DE MATERIAL

La selección de material tiene un carácter muy importante debido a que la selección de muestras individuales será el equivalente representativo de todo el material con el cual se trabajará los ensayos correspondientes en el laboratorio a fin de determinar las propiedades físico-mecánicas.

##### 3.4.1.1 MATERIALES

- Balanza
- Pala de borde recto
- Lona
- Taras
- Agregado grueso

##### 3.4.1.2 PROCEDIMIENTO

Se coloca toda la muestra sobre una superficie limpia hasta obtener una pirámide cónica. Se aplana la punta de la pirámide hasta que todo este de forma uniforme.

Se divide el material en cuatro partes iguales (cuarteo) y se toman dos muestras controladas y se separan del material para repetir el procedimiento.

El material eliminado se deposita en la lona y el material seleccionado se coloca en tara para desarrollar los ensayos correspondientes.

### **3.4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

La normativa que da las especificaciones con respecto al ensayo de análisis granulométrico es la norma ASTM C-136.

#### **3.4.2.1 ALCANCE**

Este método de ensayo cubre la determinación por tamizado de la distribución por tamaño de partículas de agregados tanto fino como grueso.

#### **3.4.2.2 RESUMEN DEL ENSAYO**

Una muestra de ensayo de agregado seco de masa conocida se separa a través de una serie de mallas de aberturas progresivas para la determinación de la distribución por tamaño de las partículas.

#### **3.4.2.3 SIGNIFICADO Y USO**

Este método de ensayos se utiliza para determinar la graduación de materiales propuestos para su uso como agregados. Los datos pueden ser útiles para desarrollar relaciones concernientes a la porosidad y al acomodo de partículas.

#### **3.4.2.4 EQUIPO**

- Balanza
- Tamices

#### **3.4.2.5 PROCEDIMIENTO**

Se deben seleccionar los tamices con las aberturas adecuadas para la obtención de la información requerida por las especificaciones que cubren el material que va a ser ensayado. Se deben acomodar los tamices en tamaño de abertura de forma decreciente, de arriba hacia abajo y colocar la muestra en el tamiz superior.

Se procede a agitar los tamices manualmente o mediante un agitador mecánico por un periodo necesario para que las partículas vayan a quedar atrapadas por cada tamiz.

Se debe limitar la cantidad de material a colocar en el tamiz a fin de que todas las partículas tengan contacto con las aberturas del tamiz.

Se debe de determinar la masa de cada tamiz en una balanza, la masa total de los materiales atrapados en cada tamiz debe ser próxima o parecida a la masa inicial colocada en el tamiz, permitiendo una variación no mayor a 0.3%.

#### **3.4.2.6 CÁLCULOS**

Se debe calcular los porcentajes que pasan, los porcentajes retenidos totales o los porcentajes de las varias fracciones por tamaño.

Cuando se ensaya el espécimen en porciones reducidas individualmente, se deben sumar las masas de las porciones reducidas retenidas en cada tamiz.

Se debe calcular el módulo de finura, cuando sea requerido, sumando los porcentajes totales de material de la muestra que sean más grueso que los siguientes tamices: N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8", 1 1/2" y mayores, dividiendo esta suma entre 100.

#### **3.4.2.7 INFORME**

Dependiendo de la forma de las especificaciones para el uso del material bajo ensayo, el informe debe incluir lo siguiente:

- Porcentaje total de material que pasa cada tamiz.
- Porcentaje total de material retenido en cada tamiz.
- Porcentaje de material retenido entre tamices consecutivos.

Deben figurar los porcentajes al número entero más cercano, excepto si el porcentaje que pasa la malla N°200 es menor al 10%, en cuyo caso debe reportarse al 0,1% más cercano.

Se informará el módulo de finura, cuando se requiera, al 0,01 más cercano.

#### **3.4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN**

La normativa que da las especificaciones con respecto al ensayo de gravedad específica y absorción es la normativa ASTM C-127

### **3.4.3.1 ALCANCE**

Este método cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa y la absorción.

### **3.4.3.2 RESUMEN DEL MÉTODO**

Una muestra de agregado grueso es sumergida en agua durante aproximadamente 24 horas a fin de poder llenar los poros. Después se retira del agua, se seca superficialmente y se determina la masa. El volumen de la muestra se determina por método de desplazamiento de agua. Finalmente la muestra se seca en el horno y se determina su masa.

### **3.4.3.3 IMPORTANCIA Y USO**

La densidad relativa o gravedad específica es la relación de masa de un agregado con respecto a la masa de un volumen de agua. También es expresado como la relación de densidad de las partículas de agregado con respecto a la densidad del agua.

La densidad relativa es usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregado como por ejemplo el concreto asfáltico, concreto hidráulico y etc.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios internos de los poros de las partículas, comparados con la condición seca, cuando es considerado que el agregado a estado en contacto con agua lo suficiente para el potencial máximo de absorción.

### **3.4.3.4 EQUIPO**

- Balanza
- Contenedor de muestra
- Tanque de agua
- Horno

### 3.4.3.5 PROCEDIMIENTO

Secar la muestra en el horno hasta obtener una masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , dejar enfriar la muestra al aire, enseguida sumergir el agregado en agua durante un periodo de 24 horas.

Retirar la muestra del agua y envolverla en un trapo absorbente hasta que superficialmente se encuentre seca. Tener cuidado de que el agua en los poros se evapore durante el proceso de secado superficial. Determinar la masa de la muestra en la condición saturada superficialmente seca. Determinar su masa.

Después de determinar la masa en aire, inmediatamente coloque la muestra en condición saturada superficialmente seca en el contenedor y determine su masa.

Seque la muestra en el horno hasta obtener una masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , dejar enfriar las muestras al aire y determine su masa.

### 3.4.3.6 CÁLCULOS

#### 3.4.3.6.1 DENSIDAD RELATIVA

Gravedad específica

$$\text{Densidad relativa} = A/(B - C)$$

Donde:

- A: masa de la muestra ensayada secada al horno (gr.)
- B: masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr.)
- C: masa aparente en agua de la muestra saturada (gr.)
- Gravedad específica saturada y superficialmente seca

$$\text{Densidad relativa (saturada superficialmente seca)} = B/(B - C)$$

- Gravedad específica aparente

$$\text{Densidad relativa aparente} = A/(A - C)$$



### **3.4.3.6.2 ABSORCIÓN**

$$\text{Absorción \%} = [(B - A)/A] * 100$$

### **3.4.3.7 REPORTE**

El reporte de los resultados de la densidad relativa tiene que tener una aproximación de 0.01 e indicar el tipo de densidad relativa (gravedad específica, saturada superficialmente seca o aparente).

El reporte de los resultados de absorción debe tener una aproximación de 0.1%.

### **3.4.4 HUMEDAD NATURAL**

La normativa que da las especificaciones con respecto al ensayo de humedad natural es la normativa ASTM D-2216

#### **3.4.4.1 ALCANCE**

Este ensayo ayuda a determinar en el laboratorio el contenido de humedad por masa en el suelo y rocas, considerando que la reducción de masa por secado a temperatura estándar de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , es la pérdida de agua.

#### **3.4.4.2 RESUMEN DEL MÉTODO DE PRUEBA**

Un espécimen de prueba es secada en un horno a temperatura estándar de  $110 + 5^\circ\text{C}$  hasta que obtenga un peso constante. La pérdida de peso durante el secado se considera como agua.

#### **3.4.4.3 IMPORTANCIA Y USO**

Para muchos materiales, el contenido de agua es una de las propiedades más usadas para establecer una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades.

El contenido de humedad en un material es usado para expresar la relación de vacíos de aire, agua y sólidos presentes en un volumen determinado.

#### **3.4.4.4 EQUIPO**

- Horno secador capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  por toda la cámara de secado.

- Balanzas con la capacidad de precisión de 0.01 gr.
- Contenedores de especímenes hechos de materiales resistentes a la corrosión y al cambio de masa bajo repetitivos calentamientos.
- Equipos de manipulación como antes, agarraderas o tenazas para manipular contenedores calientes.

#### 3.4.4.5 PROCEDIMIENTO

Determinar y anotar el peso del recipiente de la muestra limpio y seco.

Colocar la muestra en el contenedor, determinar la masa del recipiente y del material.

Colocar el recipiente con el material en el horno de secado hasta que la masa sea constante (aproximadamente entre 12 a 16 horas).

Retirar el recipiente del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente para poder manipular.

Determinar el peso del contenedor y del material.

#### 3.4.4.6 CÁLCULOS

Para calcular el contenido de humedad se procede con la siguiente ecuación:

$$w = \left[ \frac{M_{ews} - M_{es}}{M_{es} - M_e} \right] * 100 = \frac{M_w}{M_s} * 100$$

Donde:

- $w =$  contenido de humedad %
- $M_{ews} =$  peso del recipiente y el espécimen húmedo (gr.)
- $M_{es} =$  peso del recipiente y el peso del espécimen secado (gr.)
- $M_e =$  peso del recipiente (gr.)
- $M_w =$  peso del agua ( $M_w = M_{ews} - M_{es}$ )(gr.)
- $M_s =$  peso de las partículas sólidas ( $M_s = M_{es} - M_e$ )(gr.)

#### **3.4.4.7 REPORTE**

El reporte debe de indicar lo siguiente:

Muestras identificadas por código, como número de muestra, número de prueba, número de recipiente, etc.

Indicar si la temperatura de secado es diferente a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Indicar si fue excluido algún tipo de material del espécimen de la prueba.

#### **3.4.4.8 PRECISIÓN**

Los resultados de dos pruebas realizadas por el mismo operador con el mismo equipo no deberán considerarse sospechosas a menos que difieran más de 7.8% de su media.

#### **3.4.5 PESO UNITARIO**

La normativa que da las especificaciones con respecto al ensayo de gravedad específica y absorción es la normativa ASTM C-29.

##### **3.4.5.1 ALCANCE**

Este ensayo permite determinar la densidad aparente o peso unitario de un agregado tanto en condición compactada como suelta, este método se aplica a los agregados que no excedan en tamaño máximo nominal de 5".

##### **3.4.5.2 SIGNIFICADO**

Este método se emplea para determinar la densidad aparente para seleccionar la dosificación para la mezcla de concreto.

##### **3.4.5.3 INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS**

- Balanza
- Pisón
- Recipiente de medida
- Pala

### 3.4.5.4 PROCEDIMIENTO

A continuación se detallarán los procedimientos para los ensayos de peso unitario compactado (P.U.C) y peso unitario suelto (P.U.S).

#### 3.4.5.4.1 PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C)

Llenar un tercio del recipiente, dar 25 golpes de pisón distribuidos en forma pareja sobre la superficie, llenar el segundo tercio del recipiente y nuevamente dar 25 golpes. Finalmente llene el recipiente hasta rebalsar, apisonar y nivelar con los dedos o una regla de manera que las partículas más grandes de los agregados gruesos rellenen equilibradamente los espacios más grandes que aparezcan en la superficie.

Determinar la masa del recipiente con su contenido y la masa del recipiente solo, e informe los valores aproximados al 0.05 kg.

#### 3.4.5.4.2 PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S)

Llenar con una pala el recipiente hasta rebalsar, nivelar la superficie de los agregados con los dedos o una regla de manera que las proyecciones de las piezas grandes de los agregados gruesos rellenen equilibradamente los espacios más grandes que aparecen bajo la superficie del recipiente.

Determinar la masa del recipiente con su contenido y la masa del recipiente solo, e informe los valores aproximados al 0.05 kg.

### 3.4.5.5 CÁLCULOS

La densidad aparente se calcula mediante las siguientes ecuaciones

$$M = (G - T)/V$$

$$M = (G - T) * F$$

Donde:

- M = densidad aparente de los agregados (kg/m<sup>3</sup>).
- G = masa de los agregados más el recipiente (kg).
- T = masa del recipiente (kg).
- V = volumen del recipiente (m<sup>3</sup>).

- F = factor para el recipiente (m<sup>3</sup>).

#### **3.4.5.6 INFORME**

El informe de los resultados para la densidad aparente o peso unitario aproximado tiene que tener los valores de:

- Densidad aparente compactada
- Densidad aparente suelta

#### **3.4.6 PERMEABILIDAD**

La normativa que da las especificaciones con respecto al ensayo de humedad natural es la normativa ASTM C -1701.

##### **3.4.6.1 OBJETO**

Este ensayo cubre la determinación in situ de la tasa de infiltración de agua de un concreto permeable ya instalado.

##### **3.4.6.2 RESUMEN DEL MÉTODO**

Un anillo de infiltración se sella temporalmente sobre la superficie de un pavimento permeable. Después de pre-humedecer la ubicación del ensayo, una masa de agua predefinida se introduce en el anillo y se registra el tiempo que le toma al agua infiltrarse en el pavimento.

##### **3.4.6.3 SIGNIFICADO Y USO**

Los ensayos realizados en la misma ubicación a lo largo de un lapso de tiempo, se puede utilizar para detectar la reducción de la tasa de infiltración del concreto permeable, por lo tanto indicaría la necesidad de una rehabilitación.

Este ensayo no mide la influencia en campo de la tasa de infiltración debido al sello de vacíos cerca del fondo de la losa de concreto permeable. Una inspección visual de núcleos de concreto es la mejor opción para determinar el sello de vacíos cerca del fondo de la losa de concreto permeable.

#### 3.4.6.4 EQUIPO

- Anillo de infiltración cilíndrica y abierta en ambos extremos ( $300 \pm 10$  mm de diámetro y altura mínima de 50 mm), debe de ser impermeable, con rigidez suficiente para no variar su forma mientras se llena con agua.
- Balanza.
- Contenedor con capacidad de al menos 20 litros.
- Cronómetro de precisión de 0.1 s.
- Masilla de plomería
- Agua

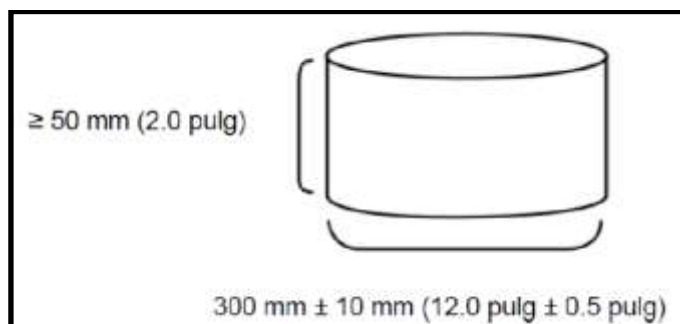


Figura 9: Dimensiones de anillo de infiltración (fuente: ASTM C-1701).

#### 3.4.6.5 PROCEDIMIENTO

Instalación del anillo de infiltración: se limpia la superficie del concreto mediante un barrido de basura, escombros y otros materiales no incrustados. Aplicar la masilla de plomería alrededor del borde inferior del anillo y colocar el anillo encima de la superficie del concreto que se va a ensayar. Presionar la masilla en la superficie y alrededor del borde inferior del anillo para crear un sello impermeable.

Pre-humectado: Verter el agua en el anillo a una velocidad suficiente para mantener el nivel entre las dos líneas marcadas. Utilizar un total de  $3.60 \pm 0.05$  kg de agua. Comenzar a cronometrar tan pronto como el agua impacta en la superficie del concreto. Terminar de cronometrar cuando no exista agua en la superficie permeable. Registrar la cantidad de tiempo transcurrido con una aproximación de 0.1 segundos.

Prueba: La prueba se inicia dentro de 2 minutos después de la finalización del pre-humectado. Si el tiempo transcurrido en la etapa de pre-humectación es menor a 30 segundos, utilizar un total de  $18 \pm 0.05$  kg de agua. Si el tiempo transcurrido en la etapa de pre-humectación es mayor igual a 30 segundos, utilizar un total de  $3,60 \pm 0.05$  kg de agua. Anotar el peso del agua. Verter el agua en el anillo a una velocidad suficiente para mantener el nivel del agua entre las dos líneas marcadas y hasta que se acabe la cantidad de agua utilizada. Detener el cronómetro cuando ya no se encuentre agua presente en la superficie permeable. Registrar la duración de prueba con un acercamiento al 0.1 segundo. Si la prueba se repite en el mismo lugar, la repetición no requeriría pre-humectación si es que se realiza dentro de los 5 minutos siguientes de la primera prueba. No repita la prueba más de dos veces en el mismo lugar en un día determinado.

#### 3.4.6.6 CÁLCULOS

$$I = \frac{K * M}{(D^2 * t)}$$

Donde:

- I = Grado de infiltración (mm/h).
- M = Masa de agua infiltrada (kg).
- D = Diámetro del anillo de infiltración (mm).
- t = Tiempo requerido para que la cantidad de agua se infiltre en el concreto (seg).
- K = 4 583 666 000 constante (mm<sup>3</sup>xseg)/(Kg/h).

#### 3.4.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La normativa que da las especificaciones con respecto al ensayo de resistencia a la compresión de testigos cilíndricos de concreto es la norma ASTM C39.

##### 3.4.7.1 ALCANCE

Este ensayo permite la determinación de la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) de los especímenes cilíndricos de concreto moldeados en laboratorio o en campo y obtenidos por medio de la extracción de núcleos.

### 3.4.7.2 RESUMEN DEL MÉTODO DE PRUEBA

Este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión uniaxial a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de carga especificada (0.25 + 0.05 MPa/s). La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.

### 3.4.7.3 IMPORTANCIA Y USO

Se deberá tener cuidado en la interpretación de los valores obtenidos debido a que estos dependerán de la forma y tamaño de probeta, edad, muestreo, proceso de mezclado, condiciones ambientales.

### 3.4.7.4 EQUIPO

- Máquina de compresión axial, la cual deberá estar calibrada y con mantenimiento periódico.
- Testigo cilíndrico de concreto los cuales tendrán las dimensiones de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro.

### 3.4.7.5 PROCEDIMIENTO

Se coloca 01 testigo en la máquina de compresión axial, esta deberá ser operada por un capacitado. La máquina empieza a ejercer presión que va en aumento sobre el testigo cilíndrico de concreto hasta que se produzca una falla y la máquina deje de ejercer la fuerza axial personal.

La resistencia a la compresión del concreto se determina como el valor promedio de al menos dos testigos cilíndricos de concreto sometidos a ensayo el mismo día, bajo las mismas condiciones.

### 3.4.7.6 FÓRMULAS

La fórmula para hallar la resistencia a la compresión es la siguiente:

$$f'c = \frac{C * \frac{1000}{9.81}}{A}$$

Donde:

- $f'c$  = Fuerza de resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>).



- C = Carga de compresión (KN).
- A = Área de contacto del testigo cilíndrico de concreto.

### 3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de datos de la investigación, se ha visto necesario realizar ensayos de laboratorio a fin de poder describir las características mecánicas que presenta el concreto permeable.

Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna y corresponden a:

- Análisis de agregados para diseño de mezcla
- Ensayo de humedad natural
- Ensayo de pesos específicos
- Ensayo de pesos unitarios
- Ensayo de rotura de testigos de concreto

Estos ensayos se realizaron utilizando piedra chancada de 3/4" proveniente de la cantera La Poderosa ubicada en la ciudad de Arequipa, la cual puede adquirirse por m<sup>3</sup> o comprando los costales de 40 kg los cuales son vendidos en tiendas como Maestro, Promart, Ace Home Center, etc. de la ciudad de Arequipa.



Figura 10: Presentación de piedra chancada de 3/4" de la cantera La Poderosa (fuente: elaboración propia).

### 3.5.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

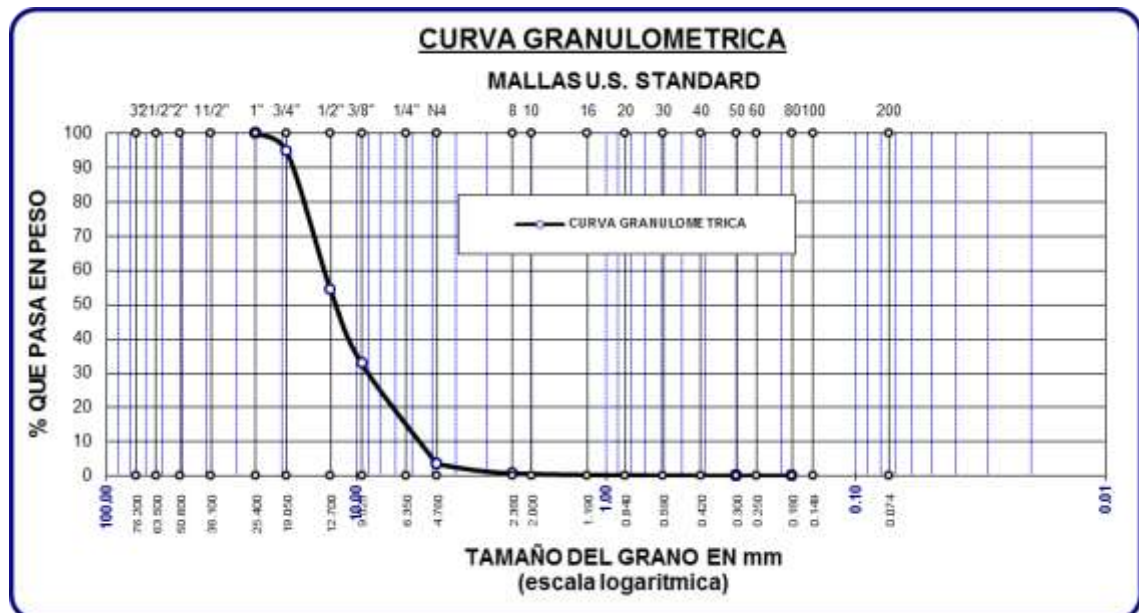
El análisis granulométrico se realizó como estipula la normativa ASTM C-136, con piedra chancada de 3/4" de la cantera La Poderosa.

**Tabla 5:** Resultados de análisis granulométrico del agregado grueso

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						<p><b>MUESTRA</b></p> <p>Piedra chancada de 3/4" de la cantera La Poderosa Arequipa</p> <p><b>OBSERVACIONES:</b> Las partículas del agregado son de perfil angular sub angular.</p> <p><b>Peso de la Muestra:</b> 5000.00 gr. <b>Tamaño Max. : 3/4"</b></p>
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>		
3/4"	19.050	257.00	5.14	5.14	<b>94.86</b>		
1/2"	12.700	2029.00	40.58	45.72	<b>54.28</b>		
3/8"	9.525	1074.00	21.48	67.20	<b>32.80</b>		
1/4"	6.350						
No4	4.760	1466.00	29.32	96.52	<b>3.48</b>		
No8	2.380	136.00	2.72	99.24	<b>0.76</b>		
No10	2.000						
No16	1.190						
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.420						
No 50	0.300						
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074						
<b>BASE</b>		<b>38.00</b>	<b>0.76</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>		
<b>TOTAL</b>		<b>5000.00</b>	<b>100.00</b>				
<b>% PERDIDA</b>							

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6:** Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2 HUMEDAD NATURAL

El ensayo de humedad natural se realizó como estipula la normativa ASTM D-2216.

**Tabla 7:** Resultado del ensayo de humedad natural del agregado grueso

<b>MUESTRAN°</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
Recipiente N°	gr.	1	2
Peso del recipiente	gr.	0.00	0.00
Peso del recipiente + la muestra húmeda	gr.	575.00	539.80
Peso del recipiente + la muestra seca	gr.	573.10	538.10
Peso del agua	gr.	1.90	1.30
Peso de la muestra seca neta	gr.	573.10	538.10
Porcentaje de humedad	%	0.33	0.32
Promedio	%	0.32	

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.3 ABSORCIÓN

El ensayo de absorción se realizó como estipula la normativa ASTM C-127

**Tabla 8:** Resultado del ensayo de absorción del agregado grueso

<b>MUESTRAN°</b>		<b>1</b>
Peso de la muestra (sss)	gr.	402.50
Peso de la muestra seca	gr.	399.00
Peso del agua	gr.	3.50
Porcentaje de absorción	%	0.88

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.4 PESO ESPECÍFICO

El ensayo de peso específico se realizó como estipula la normativa ASTM C-127

**Tabla 9:** Resultado del ensayo de peso específico del agregado grueso

DESCRIPCIÓN		GRAVA
Muestra N°		1
Peso de la muestra seca	gr.	400.10
Volumen inicial	gr.	500.00
Volumen final	gr.	650.00
Volumen desplazado	cc.	150.00
Peso específico	gr/cc.	2.667

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.5 PESOS UNITARIOS

El ensayo de pesos unitarios suelto y varillado se realizó tal como estipula la normativa ASTM C-29.

**Tabla 10:** Resultado de ensayo de pesos unitarios del agregado grueso

FRACCIÓN GRUESA		SUELTO			VARILLADO		
		1	2	3	1	2	3
Muestra N°							
Peso del molde + la muestra seca	gr.	17,831	17,512	17,620	18,904	18,916	18,872
Peso del molde	gr.	4,029	4,029	4,029	4,029	4,029	4,029
Peso de la muestra seca neta	gr.	13,802	13,483	13,591	14,875	14,887	14,843
Volumen del molde	cc.	9,025	9,025	9,025	9,025	9,025	9,025
Peso unitario	gr/cc.	1.529	1.494	1.506	1.648	1.650	1.645
Promedio	gr/cc.		1.510			1.647	

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.6 CÁLCULO PARA DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realizó bajo el método del ACI (American Concrete Institute) para que la muestra logre alcanzar una resistencia de 175 kg/cm<sup>2</sup>, para lo cual se trabajó con la siguiente tabla resumen:

**Tabla 11:** Tabla resumen de la característica de los materiales

CARACTERÍSTICAS	UND	GRAVA	CEMENTO
Tamaño máximo	-	3/4"	-
Contenido de humedad	%	0.32	-
Absorción	%	0.88	-
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	2.667	2.85
Peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.51	-
Peso unitario compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.647	-

Fuente: elaboración propia.

Como el porcentaje de vacíos está ligado directamente a la permeabilidad y a la resistencia del concreto, pues se ve afectado por el porcentaje de la pasta cementante y la fuerza con la que se llegue a compactar el concreto, es recomendable que el porcentaje de vacíos varíe entre el 15% y 30%, lo que permitirá tener un buen valor de permeabilidad.

El método ACI los valores más utilizados para el volumen de la pasta cementante sobre el volumen de mezcla total varía entre 10% y 30%, siendo los parámetros escogidos para la elaboración del diseño de mezcla.

Según estudios realizados sobre el concreto permeable, la relación agua/cemento óptima varía entre 0.26 y 0.45.

El cuadro a continuación explica el contenido típico de materiales en la mezcla para un volumen de 1 m<sup>3</sup>.

**Tabla 12:** Contenido típicos de materiales por metro cúbico

<b>CONTENIDOS TÍPICOS DE LOS MATERIALES EN LAS MEZCLAS</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>kg/cm<sup>3</sup></b>
Cemento	356
Agregado grueso	1543
Agua	95
Agua/cemento	0.27

Fuente: Toxement.

**Tabla 13:** Propiedades típicas del concreto poroso

<b>PROPIEDADES TÍPICAS DEL CONCRETO POROSO</b>	
<b>PROPIEDADES EN ESTADO PLÁSTICO</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
Densidad	1860-2000
Contenido de vacíos	15% - 30%
<b>PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO</b>	<b>Mpa</b>
Resistencia a la compresión a 7 días	10 - 14
Resistencia a la compresión a 28 días	12 - 20

Fuente: Toxement.

### 3.5.6.1 FÓRMULAS

Para determinar la masa total del agregado

$$W_t = W_{ts} = W_u * V_t$$

Para determinar la masa del agregado en estado natural

$$W_{en} = W_{ts} * \left(1 + \frac{\%w}{100}\right)$$

Para determinar el volumen de la pasta cementante

$$V_p = V_t * \frac{\%Vp}{100}$$

Para determinar la cantidad de cemento

$$C = \left( \frac{V_p}{\frac{1}{G_c} + a/c} \right) * M_w$$

Para determinar la cantidad de agua

$$Ag = C * (a/c) + W_{ts} * \left( \frac{\%Abs - \%w}{100} \right)$$

Donde:

**Tabla 14:** Simbología de las fórmulas a emplear

<b>SÍMBOLO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
$W_t$	Masa total del agregado
$W_u$	Masa unitaria del agregado
$V_t$	Volumen total
$W_{ts}$	Masa del agregado seco
$W_{en}$	Masa del agregado en estado natural
$\%w$	Humedad natural del agregado
$V_p$	Volumen de pasta cementante
$\%Vp$	Porcentaje de pasta cementante
$C$	Masa del cemento
$M_w$	Masa unitaria del agua
$G_c$	Gravedad específica del cemento
$Ag$	Masa del agua
$\%Abs$	Porcentaje de absorción del agregado

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.6.2 DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla se realiza para determinar la cantidad de materiales necesarios para un volumen de 1 metro cúbico de concreto, siendo los resultados los siguientes:

Masa total del agregado

$$W_t = W_{ts} = W_u * V_t$$

$$W_t = W_{ts} = 1647 \frac{kg}{m^3} * 1 m^3$$

$$W_t = W_{ts} = 1647 kg$$

Masa del agregado en estado natural

$$W_{en} = W_{ts} * \left(1 + \frac{\%w}{100}\right)$$

$$W_{en} = 1647 kg * \left(1 + \frac{0.32}{100}\right)$$

$$W_{en} = 1652.27 kg$$

Volumen de pasta cementante

$$V_p = V_t * \frac{\%V_p}{100}$$

$$V_p = 1 m^3 * \frac{20}{100}$$

$$V_p = 0.2 m^3$$

Cantidad de cemento

$$C = \left( \frac{V_p}{\frac{1}{G_c} + a/c} \right) * M_w$$

$$C = \left( \frac{0.2 m^3}{\frac{1}{2.85} + 0.3} \right) * 1000 kg/m^3$$

$$C = 307.28 kg$$

Cantidad de agua

$$Ag = C * (a/c) + W_{ts} * \left( \frac{\%Abs - \%w}{100} \right)$$

$$Ag = 307.28 \text{ kg} * 0.3 + 1647 \text{ kg} * \left( \frac{0.88 - 0.32}{100} \right)$$

$$Ag = 101.41 \text{ kg}$$

Resultados

**Tabla 15:** Resumen del cálculo de cantidad de materiales para 1 metro cúbico

<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UND</b>
Cemento	307.28	kg
Piedra chancada 3/4	1647	kg
Agua	101.41	Lt

Fuente: elaboración propia.

Para determinar la cantidad de materiales usados para la elaboración de testigos cilíndricos de concreto, es necesario determinar el volumen de un testigo cilíndrico en base a sus dimensiones (10cm x 20cm).

$$Volumen \text{ de testigo} = \frac{h * \pi * r^2}{4}$$

$$Volumen \text{ de testigo} = \frac{0.3 * \pi * 0.15^2}{4}$$

$$Volumen \text{ de testigo} = 0.0053 \text{ cm}^3$$

Considerando un porcentaje de desperdicios de 25% se puede decir que el volumen total del testigo de concreto es de:

$$Volumen \text{ de testigo} = 1.25 * 0.0053 \text{ cm}^3$$

$$Volumen \text{ de testigo} = 0.0066 \text{ cm}^3$$

Por lo que se puede indicar que el peso necesario para realizar 1 testigo de concreto de 0.0066 cm<sup>3</sup> incluyendo el 25% del volumen en desperdicios es de:



**Tabla 16:** Peso de materiales para realizar 01 testigo cilíndrico de concreto

MATERIAL	CANTIDAD	V=0.0066 cm <sup>3</sup>	UND
Cemento	307.28	2.03	kg
Piedra chancada 3/4	1647	10.87	kg
Agua	101.41	0.67	Lt

Fuente: elaboración propia.

Para el ensayo de permeabilidad es necesario elaborar una losa cuadrada de dimensiones recomendables mayores a 30 cm debido a que el anillo de infiltración tiene ese diámetro, por lo cual se elabora una de 40 cm y de espesor de 10 cm.

$$\text{Volumen de losa} = l * a * h$$

$$\text{Volumen de losa} = 0.40 * 0.40 * 0.10$$

$$\text{Volumen de losa} = 0.016 \text{ cm}^3$$

Considerando un porcentaje de desperdicios de 10% se puede decir que el volumen total del testigo de concreto es de:

$$\text{Volumen de losa} = 1.10 * 0.016 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen de losa} = 0.0176 \text{ cm}^3$$

Por lo que se puede indicar que el peso necesario para realizar 01 losa de concreto de 0.016 cm<sup>3</sup> incluyendo el 10% del volumen en desperdicios es de:

**Tabla 17:** Peso de materiales para realizar 01 losa de concreto de 40cm x 40cm x 10cm

MATERIAL	CANTIDAD	V=0.0176 cm <sup>3</sup>	UND
Cemento	307.28	5.41	kg
Piedra chancada 3/4	1647	28.99	kg
Agua	101.41	1.78	Lt

Fuente: elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión de los testigos cilíndricos de concreto se determinó como indica la norma en edades de 07, 14 y 28 días, siendo a los 07 días que debería alcanzar aproximadamente el 70% de la resistencia final.

La fuerza máxima que se obtiene depende del diseño de mezcla, del curado, edad del concreto. Conociendo que el concreto permeable puede soportar cargas axiales que van desde los 2.8 Mpa (28.5 kg/cm<sup>2</sup>) hasta los 28 Mpa (285.6 kg/cm<sup>2</sup>) esto se debe al alto porcentaje de vacíos presentes en su composición en comparación a un concreto tradicional.

### RESULTADOS

**Tabla 18:** Resistencia a la compresión a los 7 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO ASTM C39										
Nº de probeta	Descripción	F'c Esp kg/cm <sup>2</sup>	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Área cm <sup>2</sup>	Lectura KN	Lectura Kg-F	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	% Especificado
1	Testigo I	175	02/05/2019	09/05/2019	7	176.7	218.5	22280.7	126.07	72.04
2	Testigo II	175	02/05/2019	09/05/2019	7	176.7	220.1	22443.8	126.99	72.57
3	Testigo III	175	02/05/2019	09/05/2019	7	176.7	225.4	22984.3	130.05	74.31
4	Testigo IV	175	02/05/2019	09/05/2019	7	176.7	222.6	22698.7	128.43	73.39
5	Testigo V	175	02/05/2019	09/05/2019	7	176.7	219.7	22403.0	126.76	72.43

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 19:** Resistencia a la compresión a los 14 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO ASTM C39										
Nº de probeta	Descripción	F'c Esp kg/cm <sup>2</sup>	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Área cm <sup>2</sup>	Lectura KN	Lectura Kg-F	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	% Especificado
1	Testigo VI	175	02/05/2019	16/05/2019	14	176.7	269.5	27481.2	155.49	88.85
2	Testigo VII	175	02/05/2019	16/05/2019	14	176.7	261.4	26655.2	150.82	86.18
3	Testigo VIII	175	02/05/2019	16/05/2019	14	176.7	258.9	26400.3	149.38	85.36
4	Testigo IX	175	02/05/2019	16/05/2019	14	176.7	246.7	25156.2	142.34	81.34
5	Testigo X	175	02/05/2019	16/05/2019	14	176.7	250.3	25523.3	144.41	82.52

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 20:** Resistencia a la compresión a los 28 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO ASTM C39										
Nº de probeta	Descripción	F'c Esp kg/cm2	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Área cm2	Lectura KN	Lectura Kg-F	Resistencia kg/cm2	% Especificado
1	Testigo XI	175	02/05/2019	30/05/2019	28	176.7	312.5	31865.9	180.3	103.03
2	Testigo XII	175	02/05/2019	30/05/2019	28	176.7	319.0	32528.7	184.05	105.17
3	Testigo XIII	175	02/05/2019	30/05/2019	28	176.7	316.4	32263.6	182.55	104.31
4	Testigo XIV	175	02/05/2019	30/05/2019	28	176.7	305.8	31182.7	176.44	100.82
5	Testigo XV	175	02/05/2019	30/05/2019	28	176.7	325.1	33150.8	187.57	107.18

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2 PERMEABILIDAD

El ensayo de permeabilidad se realizó bajo el procedimiento de la norma ASTM C -1701, siendo los resultados los siguientes:

**Tabla 21:** Resultados de permeabilidad

Variables	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
K	(mm <sup>3</sup> *s)/(kg*h)	4583666000	4583666000
M	Kg	18	18
D	mm	300	300
t	seg	70	73
l	mm/h	13096.19	12557.99
<b>Promedio</b>	<b>mm/h</b>	<b>12827.09</b>	

Fuente: elaboración propia.

Esto quiere decir que el bloque de concreto permeable tiene una capacidad de infiltración de 12827.08 mm de agua en una hora, lo que equivaldría a 3.56 mm por segundo.

#### 4.3 DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJE

Para el diseño de sistema de drenaje fue necesario determinar las áreas críticas que sufren la acumulación de aguas, las cuales debido a la escorrentía superficial y a la diferencia de niveles es que logran empozar en determinadas zonas. En el anexo N°02 se puede apreciar el plano de zonas críticas de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa.

Este sistema de drenaje ayudará a conducir las aguas pluviales para hacia su posición final para el almacenamiento correspondiente.

Debido a que se captará el agua de lluvia presente en las zonas de estacionamiento, la normativa OS.060 especifica los criterios generales de diseño para el drenaje pluvial urbano.

Los caudales para sistemas de drenaje urbano menor deben de ser calculados bajo el Método Racional y con un periodo de retorno de 2 a 10 años.

#### 4.3.1 CÁLCULO DE DIÁMETRO DE TUBERIA

Para poder determinar el diámetro de tubería es necesario determinar primero el caudal con el que se va a trabajar. Esta caudal se halla aplicando la siguiente fórmula que se encuentra en función al coeficiente de escorrentía, intensidad de lluvia y del área de drenaje.

$$Q = 0.278 * I * C * A$$

Donde:

Q = Caudal máximo m<sup>3</sup>/s

I = Intensidad de lluvia en mm/hora

A = Área de drenaje en km<sup>2</sup>

C = Coeficiente de escorrentía

Para determinar la intensidad de lluvia es necesario trabajar con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{615 * Tr^{0.18}}{(Tc + 5)^{0.655}}$$

$$Tc = 0.000323 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.355}}$$

Donde:

Tr = Periodo de retorno (años)

Tc = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud más larga (m)

S = Pendiente

Como la normativa indica que se debe de trabajar con una pendiente mayor a 0.5%, se trabajará con una pendiente de 2% a fin de optimizar la velocidad del fluido.

La longitud será de 66.20 metros, siendo este el tramo de mayor en el sistema del diseño propuesto.

Reemplazando los datos tenemos:

$$T_c = 0.000323 * \frac{(66.20)^{0.77}}{(0.02)^{0.355}}$$

$$T_c = 0.0327 \text{ min}$$

El periodo de retorno a trabajar será de 2 años, debido a que es recurrente el volumen de este tipo de precipitaciones.

$$I = \frac{615 * (2)^{0.18}}{(0.0327 + 5)^{0.655}}$$

$$I = 241.75 \text{ mm/h}$$

Una vez obtenido los datos de la intensidad de lluvia y conociendo los valores del coeficiente de escorrentía (0.75 según tabla 23) y el área de drenaje (8253 m<sup>2</sup>), se procede a calcular el caudal "Q".

**Tabla 22:** Coeficientes de escorrentía para zonas urbanas

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
ÁREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00

Fuente: Norma OS.060.

$$Q = 0.278 * 241.75 \text{ mm/h} * 0.75 * 0.008253 \text{ Km}^2$$

$$Q = 0.416 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la selección de la tubería se trabaja con la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

Donde:

D = diámetro de tubería (m)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

V = velocidad (m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.416}{\pi * 6}}$$

$$D = 0.297 \text{ m}$$

Se trabaja con una velocidad de 6 m/s debido a que la norma indica que es la velocidad máxima para tuberías de PVC. (Tabla 24).

**Tabla 23:** Velocidad máxima para colectores de agua pluvial

Material de la tubería	Velocidad del agua con fragmentos de arena y grava
Arcilla vitrificada	3,5
Policloruro de Vinilo (PVC, por sus siglas en inglés)	6,0
Concreto armado de:	
20,6 MPa (210 kg/cm <sup>2</sup> )	3,3
24,5 MPa (250 kg/cm <sup>2</sup> )	4,0
27,5 MPa (280 kg/cm <sup>2</sup> )	4,3
30,9 MPa (315 kg/cm <sup>2</sup> )	5,0
Concreto armado de > 27,5 MPa (280 kg/cm <sup>2</sup> ) curado al vapor	6,6
Hierro fundido dúctil	3,0
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	3,0
Poliétileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés)	6,0

Fuente: Norma OS.060.

Este resultado indica que una tubería que cubra el caudal requerido es de 30 cm (12" aproximadamente). Aunque la norma indica que el diámetro mínimo de la tubería tiene que ser de 45 cm, por lo que será con la que se trabajará.

#### 4.3.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL SISTEMA DE DRENAJE

A continuación se muestra la representación gráfica del sistema de drenaje realizando un corte transversal y un corte longitudinal.

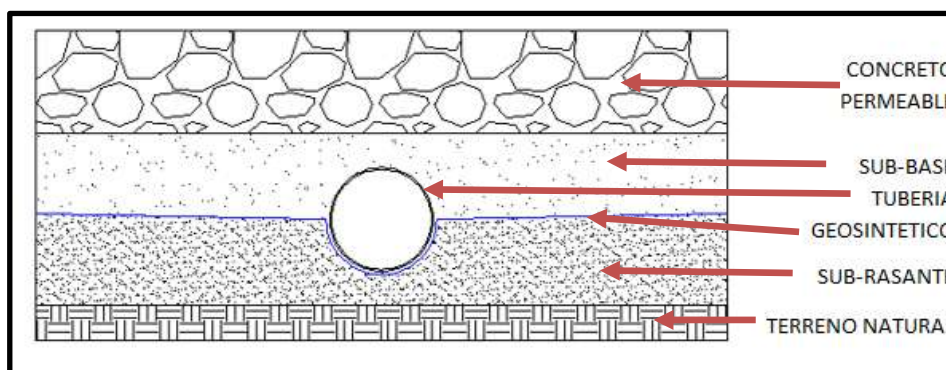


Figura 11: Corte transversal del sistema de drenaje (fuente: elaboración propia).

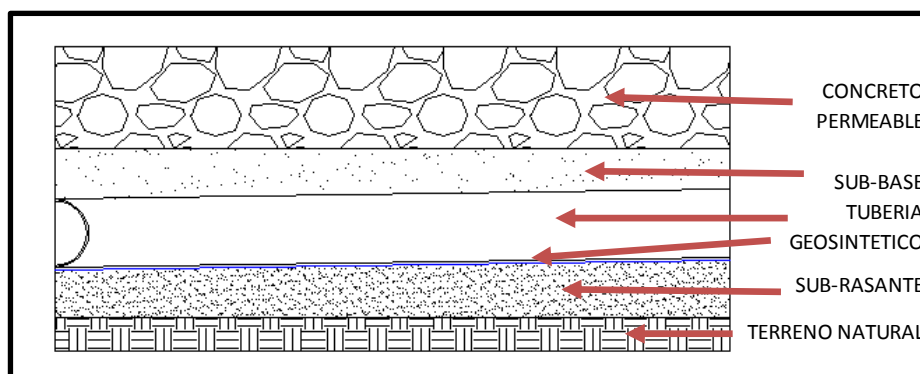


Figura 12: Corte longitudinal del sistema de drenaje (fuente: elaboración propia).

#### 4.4 ANÁLISIS DE COSTOS DEL CONCRETO PERMEABLE

Para el análisis del costo del concreto permeable es necesario determinar cada uno de los elementos participantes para la elaboración de 1 metro cúbico del mismo, estos se detallan a continuación:

**Tabla 24:** Costo para elaboración de 1 m<sup>3</sup> de concreto permeable

<b>Materiales</b>	<b>Und</b>	<b>Cantidad</b>	<b>C.U</b>	<b>Parcial</b>
Cemento Portland IP	Bolsa	7.23	S/. 21.00	S/. 151.83
Piedra chancada 3/4"	m <sup>3</sup>	0.65	S/. 73.00	S/. 47.45
Agua	Lt	0.10141	S/. 4.50	S/. 0.46
			<b>TOTAL</b>	<b>S/. 199.74</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, la elaboración del concreto permeable al ser una mezcla que no requiere el uso de agregado fino, el costo es menor a la del concreto tradicional.

A continuación, los siguientes cuadros representan los valores para la elaboración de 1 metro lineal de una vía de dos carriles y 3.60 metros de ancho, los costos reflejados están en base al año 2017 (Agneth Guizado Barrios y Elvis Curi Grados, 2017).

**Tabla 25:** Costo total de pavimento de asfalto

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>CANT</b>	<b>P.U (S/.)</b>	<b>COSTO (S/.)</b>
Corte a nivel de subrasante	M3	1.894	S/. 10.46	S/. 19.811
Eliminación de material excedente	M3	2.273	S/. 38.28	S/. 87.010
Nivelación y compactación de la subrasante	M2	3.600	S/. 3.47	S/. 12.492
Base granular	M2	3.600	S/. 13.73	S/. 49.428
Sub-base	M2	3.600	S/. 35.47	S/. 127.692
Carpeta asfáltica en caliente	M3	0.274	S/. 511.89	S/. 140.258
Riego de liga	M2	0	S/. 4.22	S/. 0.000
Imprimación	M2	3.600	S/. 4.42	S/. 15.912
<b>Total costo pavimento de asfalto x ml x calzada</b>				<b>S/. 452.604</b>

Fuente: Agneth Guizado y Curi Grados, 2017.

**Tabla 26:** Costo total de pavimento de concreto hidráulico

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>CANT</b>	<b>P.U (S/.)</b>	<b>COSTO (S/.)</b>
Corte a nivel de subrasante	M3	1.692	S/. 10.46	S/. 17.698
Eliminación de material excedente	M3	2.030	S/. 38.28	S/. 77.708
Nivelación y compactación de la subrasante	M2	3.600	S/. 3.47	S/. 12.492
Sub-base	M2	3.600	S/. 35.47	S/. 127.692
Concreto MR 34 f'c 175	M3	0.612	S/. 320.32	S/. 196.036
Pavimentado	M3	0.612	S/. 15.25	S/. 9.333
Alisado, acabado	M3	0.612	S/. 1.81	S/. 1.108
Curado	M2	3.600	S/. 2.56	S/. 9.216
Canastillas con Dowels y barras de amarre	M3	0.612	S/. 65.92	S/. 40.343
Corte de juntas	ML	1.300	S/. 7.05	S/. 9.165
Sellado de juntas 2.0x1.0 cm	ML	1.300	S/. 11.88	S/. 15.444
<b>Total costo pavimento de concreto hidráulico x ml x calzada</b>				<b>S/. 516.235</b>

Fuente: Agneth Guizado y Curi Grados, 2017.



**Tabla 27:** Costo total de pavimento de concreto permeable

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>CANT</b>	<b>P.U (S/.)</b>	<b>COSTO (S/.)</b>
Corte a nivel de subrasante	M3	1.692	S/. 10.46	S/. 17.698
Eliminación de material excedente	M3	2.030	S/. 38.28	S/. 77.708
Nivelación y compactación de la subrasante	M2	2.800	S/. 3.47	S/. 9.716
Sub-base	M2	2.800	S/. 28.40	S/. 79.520
Geotextil	M3	2.800	S/. 20.05	S/. 56.140
Concreto MR 34 f'c 175	M3	0.612	S/. 315.32	S/. 192.976
Pavimentado	M3	0.612	S/. 15.25	S/. 9.333
Curado	M2	3.600	S/. 2.56	S/. 9.216
Corte de juntas	ML	1.300	S/. 7.05	S/. 9.165
<b>Total costo pavimento de concreto permeable x ml x calzada</b>				<b>S/. 461.473</b>

Fuente: Agneth Guizado y Curi Grados, 2017.

Se puede apreciar que el costo del concreto permeable es un poco más elevado al del pavimento de asfalto, pero más económico que el de concreto hidráulico, esto demuestra que se presenta como una buena alternativa para utilizar en la zona de estacionamientos de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los ensayos de resistencia a la compresión demuestran que el concreto permeable cumple la resistencia mínima requerida especificada en la normativa peruana para utilizarlo en las zonas de estacionamiento de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa, permitiendo así un correcto comportamiento ante las cargas que este puede recibir.

Como las cargas que recibirá este pavimento no son muy altas, debido a que solo será utilizado en las zonas de estacionamiento, este no se verá sometido a diferentes cargas dinámicas durante un periodo prolongado por lo que el desgaste de la capa de rodadura no debe verse afectado cumpliendo así con el tiempo de vida útil indicado para un pavimento rígido, siendo este mayor que el de un pavimento flexible.

La figura 13 hace la comparación de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto en los primeros 7 días con la resistencia que debería alcanzar el concreto a esa edad, siendo este valor aproximadamente el 70% del valor de diseño  $175 \text{ kg/cm}^2$  ( $122.5 \text{ kg/cm}^2$ ).

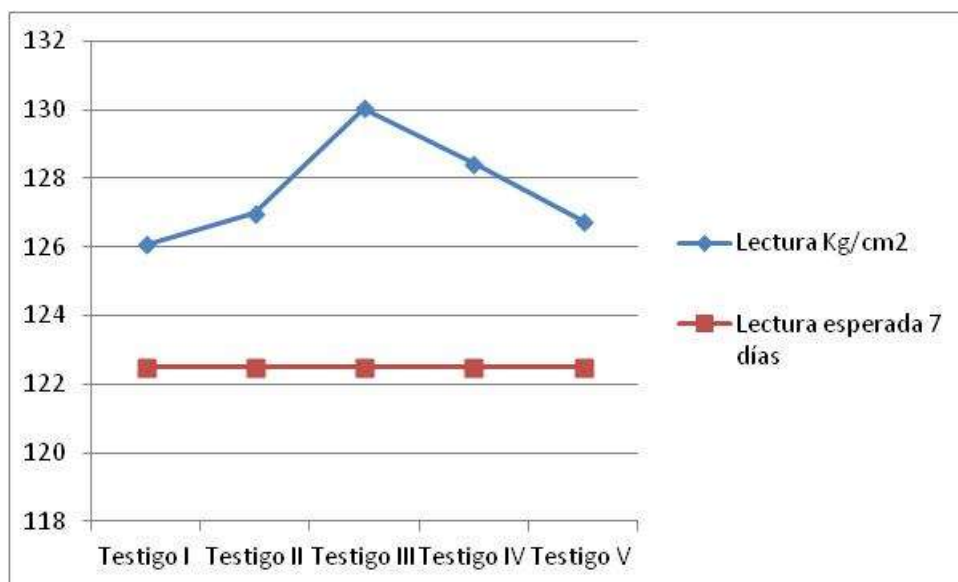


Figura 13: Resistencia alcanzada a los 7 días (fuente: elaboración propia).

La figura 14 hace la comparación de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto a los 14 días con la resistencia que debería alcanzar el concreto a esa edad, siendo este valor aproximadamente el 80% del valor de diseño  $175 \text{ kg/cm}^2$  ( $140.0 \text{ kg/cm}^2$ ).

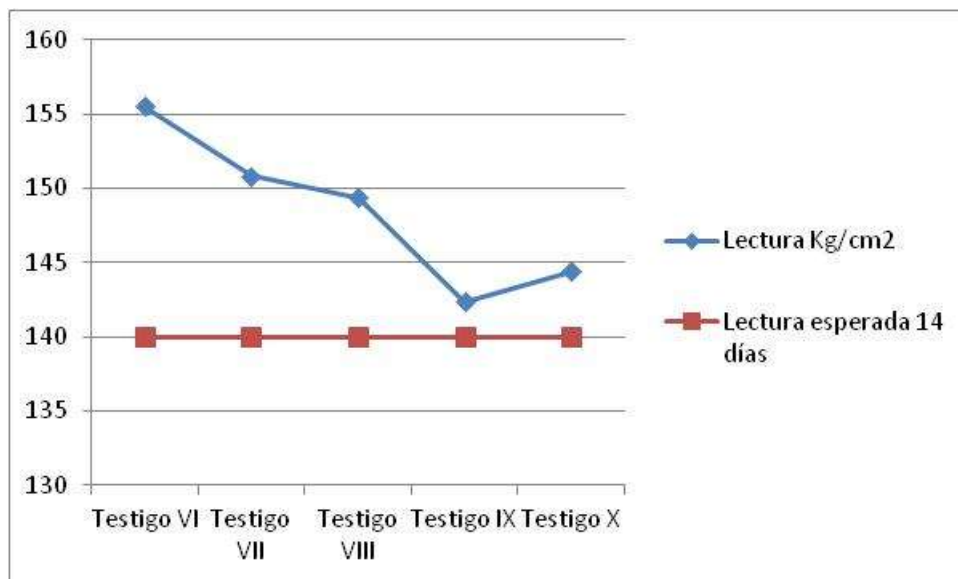


Figura 14: Resistencia alcanzada a los 14 días (fuente: elaboración propia).

La figura 15 muestra la comparación de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto a los 28 días con la resistencia que debería alcanzar el concreto a esa edad, siendo que debe alcanzar el 100% de la resistencia de diseño.

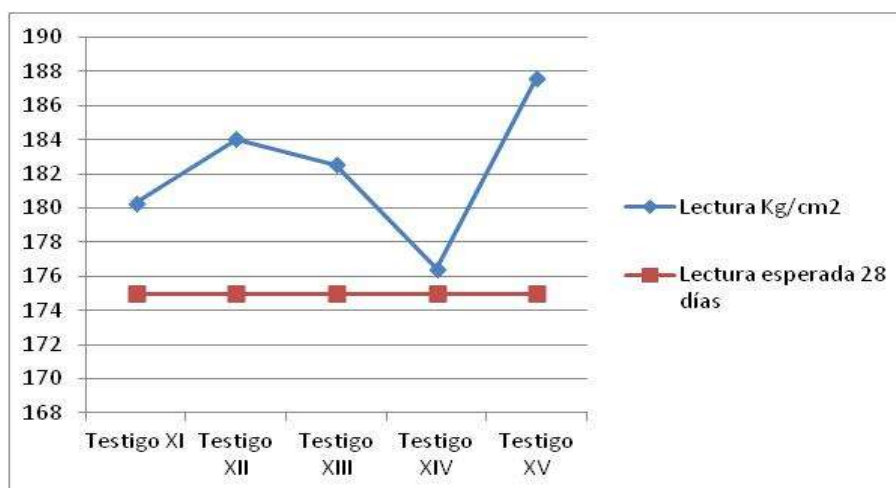


Figura 15: Resistencia alcanzada a los 28 días (fuente: elaboración propia).

Considerando que esta investigación se realizó para una resistencia de diseño de  $175 \text{ kg/cm}^2$ , los ensayos de laboratorio indican que alcanza a cumplir con la resistencia requerida a los 28 días, cumpliendo así los parámetros indicados en la normativa peruana.

El resultado de los ensayos de permeabilidad demuestra que es capaz de hacer filtrar el volumen de agua que se precipita a fin de reducir la escorrentía superficial evitando también así la propagación de focos infecciosos que se presentan cuando existe agua empozada en las vías públicas.

Este volumen de infiltración cumplirá siempre y cuando se aplique el mantenimiento respectivo, limpiando todas las impurezas que se podrían presentar en el concreto tales como raíces, polvo, etc. Si estos poros llegan a obstruirse el volumen de infiltración se verá afectado por lo que no cumplirá con lo requerido cuando se presenten las precipitaciones pluviales.

El sistema de drenaje propuesto permitirá captar el mayor volumen de agua que precipita sobre las vías públicas de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa a fin de poder almacenarlas y reutilizarlas en el riego de áreas verdes.

La primera propuesta de posición de cisterna está ubicada cerca al área de comercio, la cual podrá almacenar la línea de conducción que se encuentra en la zona de estacionamientos como se aprecia en la figura 16.

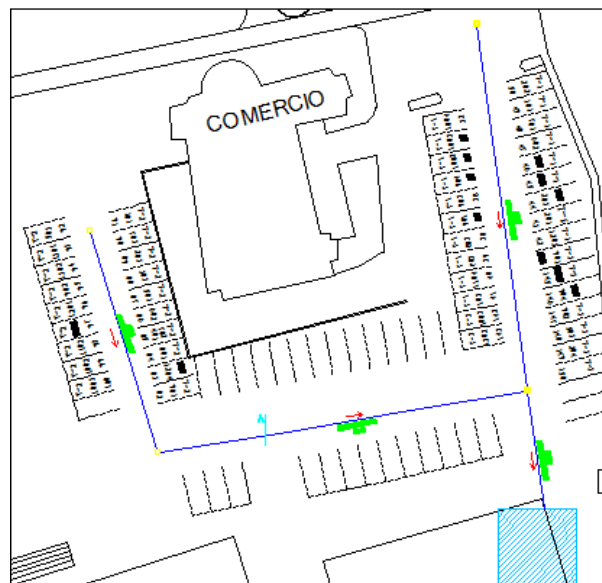


Figura 16: Propuesta de ubicación de 1ra cisterna (fuente: elaboración propia).

En la figura 17 se aprecia la propuesta de ubicación de la segunda cisterna, estando ésta captando el agua proveniente del sistema de drenaje ubicado entre las torres I, II y III.

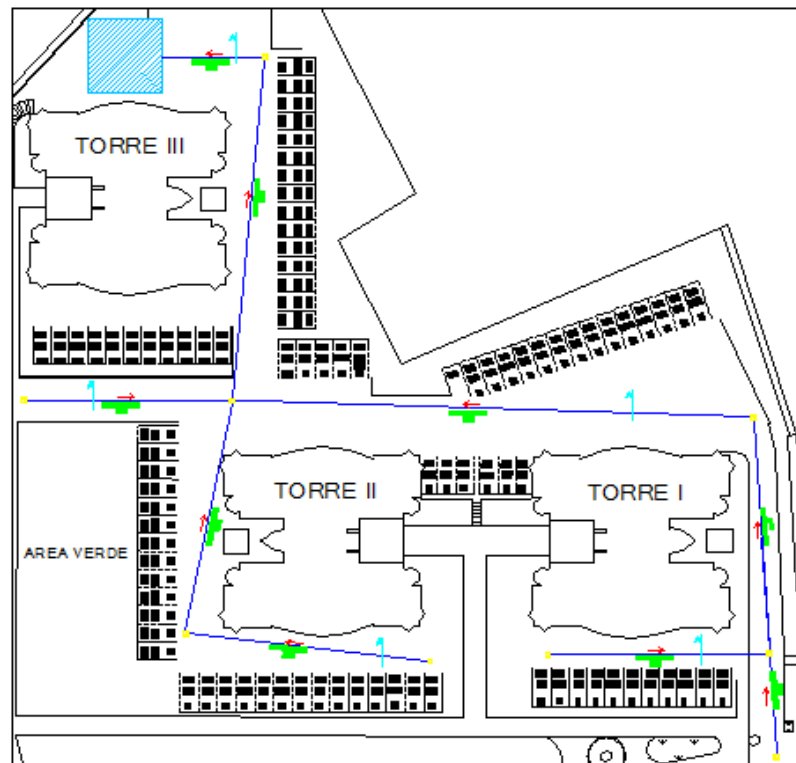


Figura 17: Propuesta de ubicación de 2da cisterna (fuente: elaboración propia).

La figura 18 muestra la propuesta de ubicación de una tercera cisterna captando el agua del sistema de drenaje que comprende entre las torres IV, V y VI.

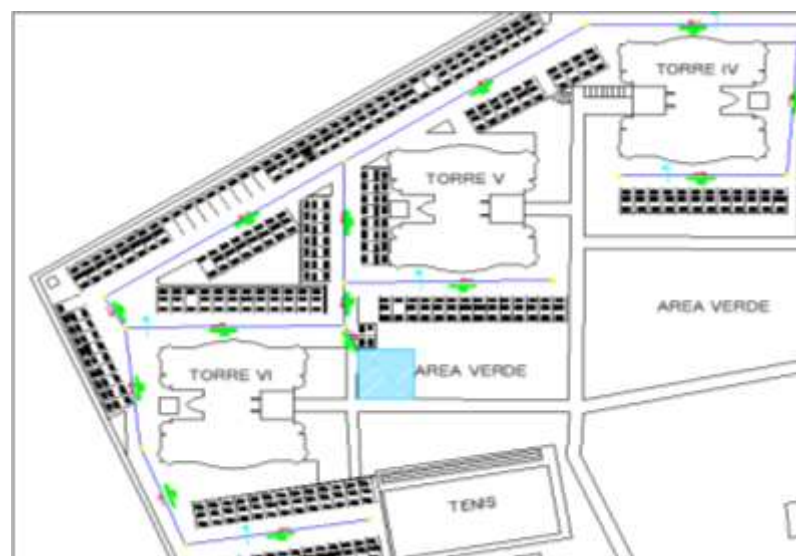


Figura 18: Propuesta de ubicación de 3ra cisterna (fuente: elaboración propia).

La propuesta de cisternas para el almacenamiento de las aguas de lluvia a través del sistema de drenaje, se encuentran en los puntos más bajos de cada tramo a fin de que con ayuda de las pendientes indicadas de 2% pueda transportarse el agua sin inconveniente alguno cumpliendo con la velocidad de

diseño y el caudal calculado para el valor más alto de precipitación pluvial alcanzado en los últimos 5 años según el registro brindado por Senamhi.

El costo de elaboración de concreto permeable también lo muestra como una alternativa viable, pues al ser un costo menor de elaboración por m<sup>3</sup> que el concreto hidráulico, la vida útil que tiene el concreto lo hace una mejor alternativa con respecto al pavimento asfáltico.

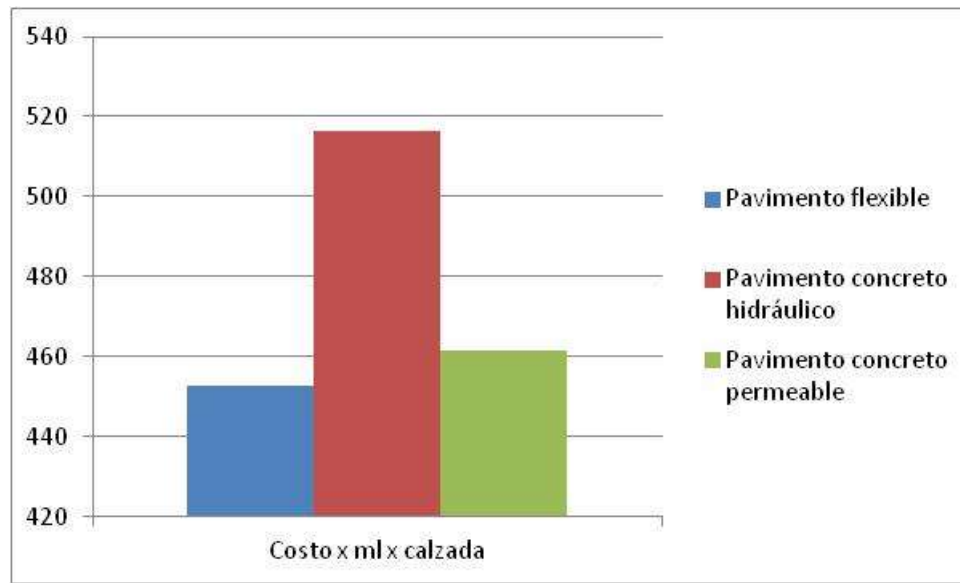


Figura 19: Comparación costos de tipo de pavimento por metro lineal por calzada en soles (fuente: Agneth Guizado y Curi Grados, 2017).

El costo de elaboración de este concreto permeable si bien es un poco más elevado que el pavimento flexible, este gana ventaja en los beneficios técnicos que presenta debido a que para realizar un mantenimiento correctivo, no será necesario cerrar una vía, sino al contrario, trabajar solo en la zona afectada, siendo esto un tramo menor y menos tiempo para trabajarlo, causando así menos incomodidad a los usuarios de las vías.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

El concreto permeable se presenta como una alternativa de solución a los problemas de inundación y escorrentía superficial en los estacionamientos de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa debido al porcentaje de poros que presenta a través de su estructura y que también permite trabajar con un sistema de drenaje a fin de poder conducir las aguas de lluvia a una cisterna para la reutilización en riego de áreas verdes de la Villa Médica.

La resistencia a la compresión del concreto permeable en sus diferentes edades cumple con lo especificado en la normativa peruana, superando las proyecciones que deberían alcanzarse.

A los 7 días debería alcanzar el 70% de la resistencia de diseño y alcanzó un promedio de 72.94% siendo este valor mayor.

A los 14 días debería alcanzar un valor del 80% del valor de diseño, alcanzando el 84.85%.

A los 28 días debería alcanzar su resistencia al 100% del valor de diseño siendo el promedio alcanzado de 104.1%, superando así la resistencia deseada.

El concreto permeable sometido al ensayo de permeabilidad demuestra que logra filtrar un aproximado de 12 litros por hora, siendo este volumen mayor al que precipita a diario en la ciudad de Arequipa según el valor máximo alcanzado en los últimos 5 años.

El diseño del sistema de drenaje permite conducir las aguas provenientes de la precipitación pluvial a cisternas subterráneas para el almacenamiento de las mismas para su reutilización en los meses posteriores a la temporada de lluvias a fin de reducir el consumo de agua que se utiliza en riego de las áreas verdes de la Villa Médica que ocupa aproximadamente el 69% del área total.

## CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Debido de que el porcentaje de vacíos depende en gran parte de la granulometría del material, es recomendable para los futuros tesisistas realizar pruebas de mezcla para poder lograr el porcentaje de vacíos deseado para el diseño.

Se recomienda a los ejecutores que para poder realizar la colocación en campo del concreto permeable, es necesario que el personal sea capacitado sobre la instalación debido a que se debe de tener consideraciones especiales tanto para el colocado, compactado, curado, así también para alcanzar el nivel de permeabilidad deseado in situ.

A los futuros ejecutores tener consideración que para el curado será necesario utilizar mantos húmedos durante 7 días ya que al utilizar métodos tradicionales como riego para el curado, este no tendrá efecto alguno debido a que el porcentaje de porosidad que presenta el concreto filtrará el agua a través de su estructura y tener un plan de mantenimiento periódico para evitar que los poros se obstruyan.

Para zonas y épocas de trabajo donde la temperatura será mayor a 30°C, es recomendable para los ejecutores, trabajar con aditivos como reductores de agua y retardante de fraguado a fin de evitar problemas al momento de colocado, compactado y curado del mismo.

Se recomienda a los tesisistas realizar más investigaciones a futuro para poder optimizar el diseño de mezcla del concreto permeable, el desgaste de la carpeta de rodadura, módulo de elasticidad, así como también buscar implementar una normativa nacional que indique los parámetros, condiciones y cuidados que se deberían de tener para trabajar con dicho concreto.

A los futuros investigadores es recomendable realizar investigaciones utilizando diseños de mezcla con piedra chancada y otras con canto rodado para evaluar su comportamiento tanto en resistencia a la compresión como infiltración.



**CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2004). *“ASTM C – 127, Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa y la absorción de agregados gruesos”*.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2005). *“ASTM C – 136, Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos”*.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2007). *“ASTM C – 29, Método de ensayo normalizado para determinar la densidad en masa e índice de huecos en los agregados”*.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2018). *“ASTM C – 39 Método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”*.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2019). *“ASTM D – 2216, Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de agua en suelos y rocas”*.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *“ASTM C – 1701, Método de ensayo normalizado para determinar el volumen de infiltración in-situ del concreto permeable o poroso”*.
- ARGOS (2017). *“Ficha Técnica Concreto Permeable”*. Colombia.
- CARDONA MALDONADO H. (2017). *“Propiedades Mecánicas y de filtración en hormigones permeables con cemento portland e hidráulicos”*. Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- CHAIÑA QUISPE J. & VILLANUEVA ESCOBEDO Y. (2017). *“Diseño de concreto permeable, para pavimentos rígidos, utilizando piedra huso 67 y arena gruesa de la cantera La Poderosa, para la ciudad de Arequipa”*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- CHÁVEZ CHAPARRO G. (2013). *“Estudio y análisis de dosificación para la elaboración de hormigón poroso con materiales locales”*. Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación.

- Dr. FERNÁNDEZ-DÁVILA J. & Ing. BENITES MONTUFAR A. *“Inundaciones en la localidad de Arequipa ocasionadas por el ingreso de las torrenteras”*.
- FLORES QUISPE C. & PACOMPIA CALCINA I. (2015). *“Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c 175 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Puno”*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- GONZÁLEZ CABRERA JOSÉ IVÁN (2015). *“Estudio y evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas del concreto polimérico permeable para su utilización en proyectos con fines ambientales”*. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- GUIZADO BARRIOS A. & CURI GRADOS E. (2017). *“Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú”*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- HERNANDEZ RIVERA M. (2017). *“Concreto permeable con adición de tiras de plástico y su aplicación en pavimentos rígidos de tráfico liviano”*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- LIGIA M. VELEZ (2010). *“Permeabilidad y porosidad en concreto”*. Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín.
- MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2009). *“Norma E.060 – Concreto Armado”*.
- MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2010). *“Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos”*.
- MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2017). *“Norma OS.060 – Drenaje Pluvial Urbano”*.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2019). *“Información histórica de la estación La Pampilla”*. Dirección Zonal – 7 (DZ-7). Senamhi.
- ORTEGA MORENO A. (2015). *“Estudio de una mezcla en concreto con estructura drenante fabricado con agregados de las fuentes de abastecimiento del municipio de Ipiales”*. Universidad de Nariño, Pasto.
- PATIÑO OSCAR (2013). *“El concreto permeable: uso y estándares”*.

PORRAS MORALES J. (2017). *“Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad”*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

SILVA JULCA R. (2016). *“Concreto permeable como propuesta sostenible para mejorar el sistema de drenaje pluvial de la vía Blas de Atienza en Piura”*. Universidad César Vallejo, Piura.

TOXEMENT (2017). *“Concreto poroso o Concreto permeable”*. Colombia.

YALIL FELIPE MOUJIR & LUIS F. CASTAÑEDA (2014). *“Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos”*. Pontificia Universidad Javeriana, Cali.

# **ANEXOS**

**ANEXO N° 1: PLANIMETRIA**

**ANEXO N° 2: ZONAS CRÍTICAS**

**ANEXO N° 3: SISTEMA DE DRENAJE**

**ANEXO N° 4: PANEL FOTOGRÁFICO**

Fotografía N° 1: Área de estacionamiento – Zona comercio.



Fotografía N° 2: Área de estacionamiento – Torre V.





Fotografía N° 3: Área de estacionamiento – Torre IV.



Fotografía N° 4: Ensayo de humedad natural



Fotografía N° 5: Ensayo de peso unitario suelto



Fotografía N° 6: Ensayo de peso unitario varillado



Fotografía N° 7: Ensayo de granulometría - zarandeo



Fotografía N° 8: Ensayo de granulometría – cantidad retenida



Fotografía N° 9: Ensayo peso específico



Fotografía N° 10: Testigos cilíndricos de concreto permeable



Fotografía N° 11: Testigos cilíndricos de concreto permeable retirados de la poza para ensayo de resistencia a la compresión.



Fotografía N° 12: Testigo cilíndrico de concreto permeable sometido a ensayo de resistencia a la compresión.



Fotografía N° 13: Losa de 40cm x 40cm x 10cm para ensayo de permeabilidad.



Fotografía N° 14: Ensayo de permeabilidad.

# **ANEXO N° 5: CERTIFICADOS DE LABORATORIO**



# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS PÚBLICAS

**UBICACIÓN:** VILLA MÉDICA, DISTRITO JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVER; AREQUIPA

**MUESTRA:** PIEDRA CHANCADA 3/4 CANTERA LA PODEROSA - AREQUIPA

**FECHA:** MAYO 2019

## ENSAYO DE ABSORCIÓN DE LA GRAVA

NORMA ASTM C-127

<b>MUESTRA Nº</b>		<b>1</b>
<b>Peso de la muestra (sss)</b>	<b>gr.</b>	402.5
<b>Peso de la muestra seca</b>	<b>gr.</b>	399.0
<b>Peso del Agua</b>	<b>gr.</b>	3.5
<b>Porcentaje de Absorción</b>	<b>%</b>	0.88

**OBSERVACIONES:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

ING. ASESOR

TCO. LABORATORISTA





# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS PÚBLICAS

**UBICACIÓN:** VILLA MÉDICA, DISTRITO JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVER; AREQUIPA

**MUESTRA:** PIEDRA CHANCADA 3/4 CANTERA LA PODEROSA - AREQUIPA

**FECHA:** MAYO 2019

## ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA ASTM D-2216

MUESTRA N°		1	2
Recipiente N°		1	2
Peso del recipiente	gr.	0.0	0.0
Peso del recipiente + la muestra húmeda	gr.	575.0	539.8
Peso del recipiente + la muestra seca	gr.	573.1	538.1
Peso del Agua	gr.	1.9	1.7
Peso de la muestra seca neta	gr.	573.1	538.1
Porcentaje de humedad	%	0.33	0.32
Promedio	%	0.32	

**OBSERVACIONES:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

ING. ASESOR

TCO. LABORATORISTA



# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS PÚBLICAS

**UBICACIÓN:** VILLA MÉDICA, DISTRITO JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO; AREQUIPA

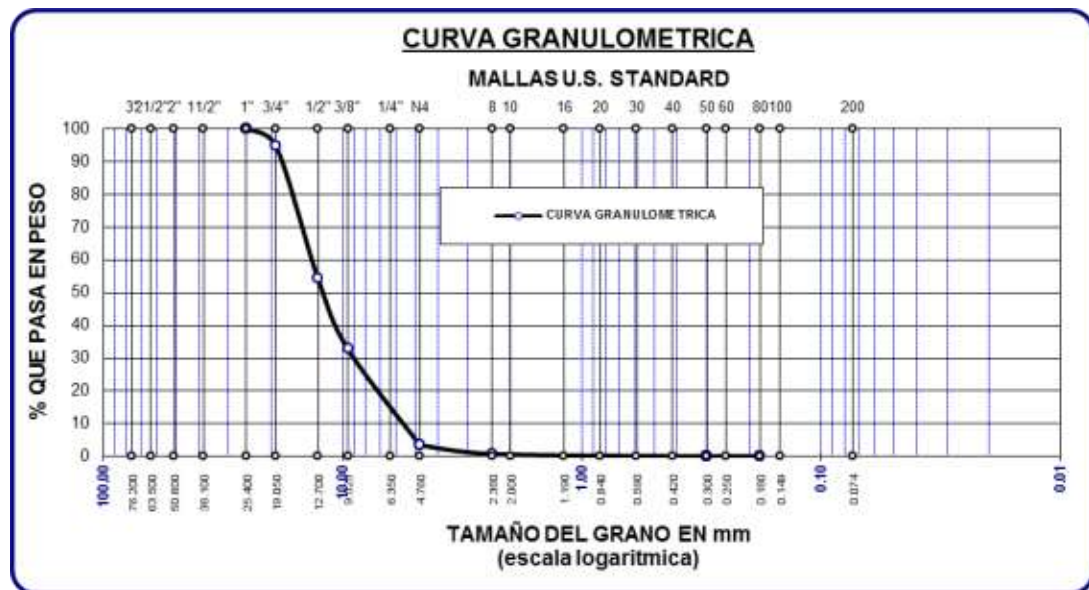
**MUESTRA:** PIEDRA CHANCADA 3/4 CANTERA LA PODEROSA - AREQUIPA

**FECHA:** MAYO 2019

## ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

### NORMA ASTM C-136

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						<p><b>MUESTRA</b></p> <p>Piedra chancada de 3/4" de la cantera La Poderosa Arequipa</p> <p><b>OBSERVACIONES:</b> Las partículas del agregado son de perfil angular sub angular.</p> <p><b>Peso de la Muestra:</b> 5000.00 gr. <b>Tamaño Max. : 3/4"</b></p>
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>		
3/4"	19.050	257.00	5.14	5.14	<b>94.86</b>		
1/2"	12.700	2029.00	40.58	45.72	<b>54.28</b>		
3/8"	9.525	1074.00	21.48	67.20	<b>32.80</b>		
1/4"	6.350						
No4	4.760	1466.00	29.32	96.52	<b>3.48</b>		
No8	2.380	136.00	2.72	99.24	<b>0.76</b>		
No10	2.000						
No16	1.190						
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.420						
No 50	0.300						
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074						
<b>BASE</b>		38.00	0.76	100.00	<b>0.00</b>		
<b>TOTAL</b>		5000.00	100.00				
<b>% PERDIDA</b>							





# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS PÚBLICAS

**UBICACIÓN:** VILLA MÉDICA, DISTRITO JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO; AREQUIPA

**MUESTRA:** PIEDRA CHANCADA 3/4 CANTERA LA PODEROSA - AREQUIPA

**FECHA:** MAYO 2019

## ENSAYO DE PESOS UNITARIOS

### NORMA ASTM C-29

Fracción Gruesa	S U E L T O			V A R I L L A D O		
	1	2	3	1	2	3
<b>MUESTRA Nº</b>						
Peso del molde + la muestra seca gr	17,831	17,512	17,620	18,904	18,916	18,872
Peso del molde gr.	4,029	4,029	4,029	4,029	4,029	4,029
Peso de la muestra seca neta gr.	13,802	13,483	13,591	14,875	14,887	14,843
Volumen del molde cc.	9,025	9,025	9,025	9,025	9,025	9,025
Peso Unitario gr/cc.	1.529	1.494	1.506	1.648	1.650	1.645
Promedio gr/cc.		1.510			1.647	

**OBSERVACIONES:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

ING. ASESOR

TCO. LABORATORISTA



# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**PROYECTO:** RECUPERACIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA UTILIZANDO CONCRETO PERMEABLE EN VÍAS PÚBLICAS

**UBICACIÓN:** VILLA MÉDICA, DISTRITO JOSE LUIS BUSTAMANTE Y RIVER; AREQUIPA

**MUESTRA:** PIEDRA CHANCADA 3/4 CANTERA LA PODEROSA - AREQUIPA

**FECHA:** MAYO 2019

## ENSAYO DE PESOS ESPECÍFICOS

NORMA ASTM D-2216

DESCRIPCION		GRAVA
MUESTRA N°		1
Peso de la Muestra Seca	gr.	400.1
Volumen Inicial	gr.	500.0
Volumen Final	g.	650.0
Volumen desplazado	cc.	150.0
<b>Peso específico</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.667</b>

**OBSERVACIONES:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

ING. ASESOR

TCO. LABORATORISTA

## ANEXO N° 6: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVO	VARIABLE	INDICADOR	MÉTODO	ESTADÍSTICA
<p><b>Problema general:</b> ¿Es el concreto permeable una solución viable para mejorar los problemas de drenaje de las aguas de lluvia en las vías de tránsito de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa?.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> El concreto permeable permite reducir la escorrentía superficial de las vías públicas de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa debido al porcentaje de vacíos que presenta en su estructura.</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Proponer una alternativa de solución a los problemas de inundación y escorrentía superficial en los estacionamientos de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa durante las temporadas de lluvia.</p>				No aplica
<p><b>Problema específico 1:</b> ¿El concreto permeable cumple con los requisitos mínimos de resistencia establecidos en la normatividad vigente para su utilización en las vías públicas?.</p>	<p><b>Hipótesis específica 1:</b> Las resistencias que alcanza el concreto permeable lo presenta como una alternativa viable para su uso en vías públicas cumpliendo así los requisitos mínimos indicados en la normativa.</p>	<p><b>Objetivo específico 1:</b> Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto permeable.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b> - Resistencia a la compresión</p>	Valor " $f_c$ "	Ensayo de compresión	No aplica
<p><b>Problema específico 2:</b> ¿La capacidad de permeabilidad del concreto poroso permite tener las vías públicas secas en corto tiempo reduciendo así los daños y malestares causados por las precipitaciones pluviales y las escorrentías superficiales?.</p>	<p><b>Hipótesis específica 2:</b> El porcentaje de vacíos que presenta el concreto permeable en su estructura, permite la infiltración del agua proveniente de lluvia que se empoza en diferentes zonas de la vía pública de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa.</p>	<p><b>Objetivo específico 2:</b> Evaluación del estado del concreto permeable sometido a las precipitaciones pluviales.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b> - Permeabilidad</p>	Valor " $I$ "	Ensayo de permeabilidad	No aplica
<p><b>Problema específico 3:</b> ¿Se puede diseñar un sistema de drenaje y calcular el volumen de almacenamiento de aguas pluviales utilizando el concreto permeable para su posterior reutilización?.</p>	<p><b>Hipótesis específica 3:</b> Con un diseño de sistema de drenaje se puede conducir el agua que filtra a través del concreto permeable hacia futuros reservorios a fin de reutilizar el agua de lluvia en el riego de áreas verdes de la Villa Médica de la ciudad de Arequipa</p>	<p><b>Objetivo específico 3:</b> Diseño del sistema de drenaje para el agua proveniente de lluvias a fin de reducir la escorrentía superficial y el agua empozada dentro de la Villa Médica.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> - Precipitación pluvial</p>			No aplica