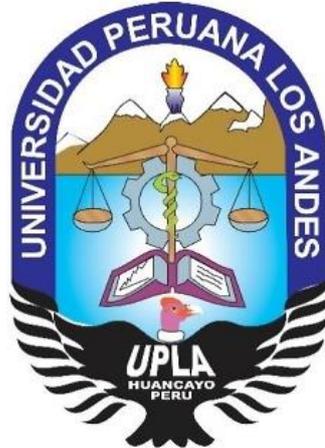


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DE DRENAJE  
DE LA SUBBASE Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS  
RÍGIDOS AASTHO 93**

**Para optar : EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA  
CIVIL, MENCIÓN: INGENIERÍA  
DE TRANSPORTES**

**Autor : BACH. JAVIER REYNOSO  
OSCANOA**

**Asesor : MG. JOB PÉREZ CANCHANYA**

**Línea de investigación : TRANSPORTE Y URBANISMO**

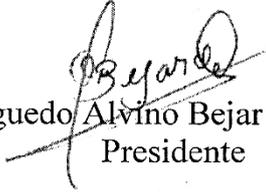
**Fecha de inicio de investigación : 02/10/2019**

**Fecha de culminación de investigación : 02/02/2020**

**HUANCAYO-PERÚ**

**FEBRERO 2020**

## JURADOS DE SUSTENTACIÓN



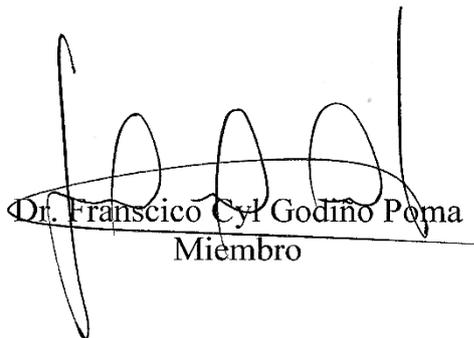
Dr. Aguedo Alvino Bejar Mormontoy  
Presidente



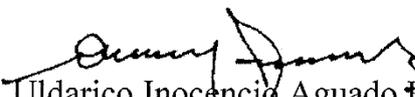
Ph. D. Mohamed Mehdi Hadi Mohamed  
Miembro



Dr. Severo Simeón Calderón Samaniego  
Miembro



Dr. Francisco Cyl Godiño Poma  
Miembro



Dr. Uldarico Inocencio Aguado Riveros  
Secretario Académico

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres, a mi esposa, a mis hijos,  
a mi familia, a mis amigos y a mí.

## **AGRADECIMIENTO**

A cada ser humano involucrado en la  
elaboración de la presente investigación.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
CONTENIDO .....	iv
CONTENIDO DE TABLAS .....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS .....	xi
CONTENIDO DE GRÁFICOS .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I .....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	18
1.2 Delimitación del Problema .....	20
1.2.1 Espacial.....	20
1.2.2 Temporal .....	20
1.3 Formulación del problema.....	21
1.3.1 Problema General.....	21
1.3.2 Problemas Específicos .....	21
1.4 Justificación .....	21
1.4.1 Social.....	21
1.4.2 Teórica .....	22
1.4.3 Metodológica .....	22
1.5 Objetivos.....	23
1.5.1 Objetivo General.....	23
1.5.2 Objetivos Específicos.....	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Antecedentes.....	24
2.1.1 Antecedentes Nacionales .....	24
2.1.2 Antecedentes Internacionales.....	27
2.2 Bases teóricas o científicas .....	30
2.2.1 Diseño de pavimentos.....	30
2.2.1.1 Etapas del diseño de pavimentos .....	31
2.2.1.2 Funciones y componentes del pavimento .....	32

2.2.1.3 Metodología de diseño AASTHO 93.....	34
2.2.2 Pavimento rígido.....	36
2.2.3 Sub base granular.....	37
2.2.4 Hidrología y drenaje en carreteras .....	40
2.2.4.1 Drenaje del pavimento .....	40
2.2.4.2 Hidrología .....	40
2.2.5 Coeficiente de drenaje.....	46
2.2.6 Parámetros de diseño de pavimentos rígidos .....	48
2.3 Marco conceptual.....	63
CAPÍTULO III.....	66
HIPÓTESIS.....	66
3.1 Hipótesis general.....	66
3.2 Hipótesis específicas.....	66
3.3 Variables .....	66
3.3.1 Definición conceptual de las variables.....	66
3.3.2 Definición operacional de las variables .....	67
3.3.3 Operacionalización de variables .....	67
CAPÍTULO IV.....	69
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	69
4.1 Método de investigación .....	69
4.2 Tipo de investigación.....	69
4.3 Nivel de investigación.....	70
4.4 Diseño de la investigación .....	70
4.5 Población y muestra.....	71
4.5.1 Población .....	71
4.5.2 Muestra .....	72
4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	72
4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	73
4.7.1 Técnicas y análisis de datos .....	75
4.8 Aspectos éticos de la investigación.....	75
CAPITULO V.....	76
RESULTADOS.....	76
5.1 Descripción de resultados .....	76
5.1.1 Precipitación pluvial .....	76
5.1.1.1 Determinación de los meses más lluviosos.....	76

5.1.1.2 Determinación de los días con precipitaciones pluviales que originan niveles de humedad próximos a la saturación.....	80
5.1.2 Sub Base Granular .....	85
5.1.2.1 Características de las Sub Bases utilizadas en el distrito de Chilca .....	85
5.1.2.2 Permeabilidad de la Sub Base .....	87
5.1.3 Tiempo de remoción del agua.....	88
5.1.3.1 Características geométricas de la sub base.....	88
5.1.3.2 Características de los suelos de la sub base .....	89
5.1.3.3 Permeabilidad de la sub base .....	90
5.1.3.4 Tiempo de drenaje.....	91
5.1.3.5 Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación.....	91
5.1.4 Coeficiente de Drenaje Cd: .....	132
5.1.5 Diseño de Pavimento Rígido y Coeficiente de Drenaje Cd: .....	164
5.2 Contrastación de hipótesis .....	178
5.2.1 Contrastación de la hipótesis general.....	178
5.2.2 Contrastación de las hipótesis específicas .....	181
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	187
CONCLUSIONES .....	194
RECOMENDACIONES.....	195
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	196
ANEXOS .....	199
Matriz de consistencia.....	200
Matriz de operacionalización de variables.....	201
Matriz de operacionalización del instrumento .....	202
Instrumento de investigación y constancia de aplicación .....	203
Confiabilidad y validez del instrumento .....	205
Data de procesamiento de datos.....	212
Consentimiento informado.....	227
Fotos de la aplicación del instrumento.....	228

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1: <i>Requerimientos granulométricos para sub base granular</i> .....	38
Tabla 2: <i>Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular</i> .....	38
Tabla 3: <i>Frecuencia de diseño en función del tipo de zona</i> .....	44
Tabla 4: <i>Frecuencia de diseño según el área drenada</i> .....	44
Tabla 5: <i>Taludes recomendados para algunos materiales</i> .....	46
Tabla 6: <i>Valores de Cd recomendados por la AASHTO para pavimentos rígidos</i> .....	47
Tabla 7: <i>Valores de mi recomendados por la AASHTO para pavimentos flexibles</i> .....	47
Tabla 8: <i>EE de 8.2t, en el carril de diseño (bajo volumen de tránsito)</i> .....	49
Tabla 9: <i>EE de 8.2t, en el carril de diseño (medio volumen de tránsito)</i> .....	49
Tabla 10: <i>EE de 8.2t, en el carril de diseño (alto volumen de tránsito)</i> .....	50
Tabla 11: <i>Índices de serviciabilidad según rango de tráfico</i> .....	52
Tabla 12: <i>Valores recomendados de nivel de confiabilidad ( r ) y desviación estándar normal (zr) para una sola etapa de 20 años según rango de tráfico</i> .....	54
Tabla 13: <i>CBR mínimos recomendados para la sub base granular de pavimentos rígidos según intensidad de tráfico expresado en EE</i> .....	56
Tabla 14: <i>Resistencia mínima del concreto a la flexo tracción y a la compresión para pavimentos rígidos</i> .....	57
Tabla 15: <i>Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga J</i> .....	59
Tabla 16: <i>Dimensiones máximas de losa recomendadas</i> .....	61
Tabla 17: <i>Operacionalización de variables</i> .....	68
Tabla 18: <i>Precipitación total mensual acumulada en la ciudad de Huancayo</i> .....	79
Tabla 19: <i>Precipitación diaria (mm) - Estación Santa Ana (Enero 2017)</i> .....	81
Tabla 20: <i>Total de días con precipitaciones <math>\geq 10</math> mm</i> .....	83
Tabla 21: <i>Características del material de sub base para cada cantera</i> .....	87
Tabla 22: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	93
Tabla 23: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	94
Tabla 24: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	95
Tabla 25: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	96
Tabla 26: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	97
Tabla 27: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	98
Tabla 28: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	99
Tabla 29: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	100
Tabla 30: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	101
Tabla 31: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	102
Tabla 32: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	103
Tabla 33: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	104

Tabla 34: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	105
Tabla 35: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	106
Tabla 36: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	107
Tabla 37: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	108
Tabla 38: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	109
Tabla 39: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	110
Tabla 40: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	111
Tabla 41: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	112
Tabla 42: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	113
Tabla 43: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	114
Tabla 44: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	115
Tabla 45: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	116
Tabla 46: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	117
Tabla 47: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	118
Tabla 48: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	119
Tabla 49: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	120
Tabla 50: <i>Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	121
Tabla 51: <i>Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación</i> .....	122
Tabla 52: <i>Valores de Cd recomendados por la AASHTO para pavimentos rígidos</i> .....	132
Tabla 53: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	133
Tabla 54: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	134
Tabla 55: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	135
Tabla 56: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	136
Tabla 57: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	137
Tabla 58: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	138
Tabla 59: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	139
Tabla 60: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	140
Tabla 61: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	141
Tabla 62: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	142
Tabla 63: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	143
Tabla 64: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	144
Tabla 65: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	145
Tabla 66: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	146
Tabla 67: <i>Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub></i> .....	147
Tabla 68: <i>Resumen del cálculo del Cd – Cantera Umuto</i> .....	149

Tabla 69: <i>Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna</i> .....	152
Tabla 70: <i>Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas</i> .....	155
Tabla 71: <i>Coefficientes de permeabilidad por cantera</i> .....	158
Tabla 72: <i>Relación entre el coeficiente de permeabilidad k y el</i> .....	159
Tabla 73: <i>Coefficiente de drenaje cd para la cantera umuto</i> .....	163
Tabla 74: <i>Coefficiente de Drenaje Cd para la Cantera Orcotuna</i> .....	163
Tabla 75: <i>Coefficiente de Drenaje Cd para la Cantera Chaclas</i> .....	163
Tabla 76: <i>Principales proyectos viales en el distrito de Chilca, Huancayo</i> .....	164
Tabla 77: <i>Resumen de diseño de pavimentos rígidos con la metodología AASHTO 93</i> .....	166
Tabla 78: <i>Análisis de precios unitarios para concreto premezclado <math>f'c=210 \text{ kg/cm}^2</math></i> ....	170
Tabla 79: <i>Análisis de precios unitarios para concreto premezclado <math>f'c=280 \text{ kg/cm}^2</math></i> ....	171
Tabla 80: <i>Comparativo de costos para diferentes espesores de losas de concreto hidráulico en función del coeficiente de drenaje Cd</i> .....	172
Tabla 81: <i>Relación entre el coeficiente de drenaje Cd y el costo de ejecución</i> .....	176
Tabla 82: <i>Coefficiente de correlación hipótesis general</i> .....	178
Tabla 83: <i>Coefficiente de correlación hipótesis específica 01</i> .....	181
Tabla 84: <i>Coefficiente de correlación hipótesis específica 02</i> .....	183
Tabla 85: <i>Coefficiente de correlación hipótesis específica 03</i> .....	185

## CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1: <i>Correlación entre el CBR y el módulo de reacción de la subrasante</i> .....	55
Figura 2: <i>Ubicación de estaciones meteorológicas dentro del distrito de Chilca - Huancayo</i> .....	78
Figura 3: <i>Ubicación Cantera Umuto</i> .....	85
Figura 4: <i>Ubicación Cantera Orcotuna</i> .....	85
Figura 5: <i>Ubicación Cantera Chaclas</i> .....	86

## CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 1: <i>Serviciabilidad de un pavimento</i> .....	52
Gráfico 2: <i>Procesamiento de la información</i> .....	74
Gráfico 3: <i>Meses más lluviosos en el distrito de Chilca, Huancayo</i> .....	79
Gráfico 4: <i>Días con lluvias que pueden producir condiciones de saturación</i> .....	82
Gráfico 5: <i>Resumen de días al año que pueden originar niveles de humedad próximos a la saturación en el Distrito de Chilca, Huancayo</i> .....	84
Gráfico 6: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 2.70m)</i> .....	123
Gráfico 7: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.00m)</i> .....	123
Gráfico 8: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.30m)</i> .....	124
Gráfico 9: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.60m)</i> .....	124
Gráfico 10: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 4.00m)</i> .....	125
Gráfico 11: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 2.70m)</i> .....	126
Gráfico 12: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.00m)</i> .....	126
Gráfico 13: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.30m)</i> .....	127
Gráfico 14: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.60m)</i> .....	127
Gráfico 15: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 4.00m)</i> .....	128
Gráfico 16: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 2.70m)</i> .....	129
Gráfico 17: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.00m)</i> .....	129
Gráfico 18: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.30m)</i> .....	130
Gráfico 19: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.60m)</i> .....	130
Gráfico 20: <i>Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 4.00m)</i> .....	131
Gráfico 21: <i>Resumen del cálculo del Cd – Cantera Umuto (Espesor de Sub Base = 0.15m)</i> .....	150
Gráfico 22: <i>Resumen del Cálculo del Cd – Cantera Umuto (Espesor de Sub Base = 0.20m)</i> .....	150
Gráfico 23: <i>Resumen del cálculo del Cd – Cantera Umuto (Espesor de Sub Base = 0.25m)</i> .....	151

Gráfico 24: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna (Espesor de Sub Base = 0.15m) .....	153
Gráfico 25: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna (Espesor de Sub Base = 0.20m) .....	153
Gráfico 26: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna (Espesor de Sub Base = 0.25m) .....	154
Gráfico 27: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas (Espesor de Sub Base = 0.15m) .....	156
Gráfico 28: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas (Espesor de Sub Base = 0.20m) .....	157
Gráfico 29: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas (Espesor de Sub Base = 0.25m) .....	157
Gráfico 30: Relación coeficiente de permeabilidad y diámetro nominal $D_{10}$ .....	159
Gráfico 31: Relación entre el coeficiente de permeabilidad $k$ y el coeficiente de drenaje $cd$ (espesor de sub base = 0.15m).....	160
Gráfico 32: Relación entre el coeficiente de permeabilidad $k$ y el coeficiente de drenaje $cd$ (espesor de sub base = 0.20m).....	160
Gráfico 33: Relación entre el coeficiente de permeabilidad $k$ y el coeficiente de drenaje $cd$ (espesor de sub base = 0.25m).....	161
Gráfico 34: Relación entre el espesor de sub base y el coeficiente de drenaje $cd$ .....	162
Gráfico 35: Relación Cd – Espesor de losa de concreto hidráulico (Av. Los Próceres) 167	
Gráfico 36: Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Av. Jacinto Ibarra) .....	168
Gráfico 37: Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Jr. 28 de Julio).....	168
Gráfico 38: Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Jr. Integración)....	169
Gráfico 39: Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Jr. Los Incas) .....	169
Gráfico 40: Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Av. Próceres) ...	173
Gráfico 41: Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Av. Jacinto Ibarra) .....	173
Gráfico 42: Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Jr. 28 de Julio) 174	
Gráfico 43: Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Jr. Integración) 174	
Gráfico 44: Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Jr. Los Incas) ...	175
Gráfico 45: Ahorro en costos de ejecución al utilizarse un $Cd=1.10$ .....	177

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, el problema general fue: ¿Cuál es la relación entre la calidad de drenaje de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?, el objetivo general fue: Determinar la relación entre la calidad de drenaje de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93, la hipótesis general fue: La calidad de drenaje de la sub base incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93. El método de investigación fue el científico, el tipo aplicado, el nivel correlacional, el diseño fue descriptivo-correlacional. La población fue, las canteras de producción de material de sub base granular para pavimentos del distrito de Chilca-Huancayo-Junín. La muestra fue intencional considerando a toda la población. La principal conclusión es que la calidad de drenaje de la sub base, expresada a través del Coeficiente de Drenaje Cd, se relaciona con el espesor de la losa de concreto hidráulico, donde a mayor espesor, se tiene mayor costo.

**Palabras clave:** Calidad de drenaje de la sub base; diseño de pavimentos rígidos, AASTHO 93; Precipitación Pluvial.

## ABSTRACT

In the present research work, the general problem was: What is the relationship between the drainage quality of the sub-base course and the design of AASTHO 93 rigid pavements? The general objective was: To determine the relationship between the drainage quality of the sub-base course and the design of rigid pavements AASTHO 93, the general hypothesis was: The drainage quality of the sub base affects the thickness of the hydraulic concrete slab according to the design of rigid pavements AASHTO 93. The research method was the scientist, the type applied, the correlational level, the design was descriptive-correlational. The population was quarries for the production of granular sub-base material for pavements in the Chilca-Huancayo-Junín district. The sample was intentional considering the entire population. The main conclusion is that the drainage quality of the sub-base course, expressed through the Drainage Coefficient Cd, is related to the thickness of the hydraulic concrete slab, where the thicker, the greater the cost.

**Keywords: Sub base drainage quality; Rigid pavement design, AASTHO 93; Rainfall.**

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación: “Relación Entre la Calidad de Drenaje de la Sub Base y el Diseño de Pavimentos Rígidos AASTHO 93”, busca establecer la relación que existe entre la calidad de drenaje propia de los diversos materiales de sub base granular utilizadas en el distrito de Chilca, Huancayo y el diseño de la estructura del pavimento rígido por la Metodología de Diseño del AASTHO 93, ya que, la práctica común de la ingeniería utiliza un Coeficiente de Drenaje  $Cd=1$ , no siendo este valor real, incidiendo en sobre costos durante la ejecución física de obras viales del distrito, por lo que, se busca aportar con un parámetro de diseño para el uso local. La presente investigación está compuesta por 5 capítulos, los cuales se describen de la siguiente manera:

**Capítulo I:** En este capítulo se presenta el planteamiento del problema, la formulación, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos.

**Capítulo II:** Dentro de este capítulo se desarrolla los antecedentes nacionales e internacionales, se presenta el marco conceptual, donde se definen las variables y dimensiones, así como también la definición de términos.

**Capítulo III:** En este capítulo se plantea la hipótesis general e hipótesis específicas, así como la definición conceptual y operacional de las variables.

**Capítulo IV:** Contiene la metodología con la que se ha realizado la presente investigación.

**Capítulo V:** Se presentan los resultados de la investigación.

Finalmente se presentan el análisis y discusión de resultados, las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos de la investigación.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, a nivel local en nuestras vías urbanas, se ha visto el incremento de la construcción de pavimentos rígidos con losas de concreto hidráulico, debido a varios factores, como pueden ser el mejor comportamiento de los pavimentos rígidos ante las cargas vehiculares o variaciones en la estimación de éstas durante el periodo de diseño, son más resistentes a la inclemencia climática propia de nuestra zona, así como, no se deforma ni deteriora con el tiempo, requiere menor estructura de soporte. En términos ambientales presentan un mejor comportamiento, debido a que su color claro y su reflectividad, mejoran las condiciones de la visibilidad nocturna lo cual reduce consumo de energía eléctrica en la iluminación de las vías, lo que implica una menor emisión de gases de efecto invernadero, por lo tanto, menor huella de carbono. Lo que ha originado el dejarse de lado la utilización de pavimentos flexibles con carpetas asfálticas en caliente, a pesar también a que, inicialmente, se presenta un costo mayor de inversión, si es que lo comparamos con el costo inicial de inversión de estos, los pavimentos rígidos requieren menores costos de mantenimiento durante su vida útil.

Hoy en día, para realizar el diseño estructural de los pavimentos rígidos, se cuenta con el Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos emitido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el cual ha publicado su última versión en el año 2014, el cual es aplicable para los

proyectos de carreteras del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), así como para vías en zona urbana, contamos con la Norma Técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones, cuya última versión data del año 2010. En ambos documentos técnicos, se utiliza y recomienda, como metodología de diseño del pavimento rígido, el Método AASTHO 93, el cual, de acuerdo a los parámetros que requiere, se adecua a la realidad de nuestro país siendo la herramienta principal, actualmente, para los diseños correspondientes del espesor de la losa de concreto, espesor de la capa de sub base granular y características de las juntas y transmisión de cargas.

En ese sentido, uno de los parámetros que debe de analizarse, de acuerdo al método de diseño indicado anteriormente, está conformado por las características y calidad de drenaje de agua infiltrada que presenta la capa de sub base, condición que en nuestra zona de Huancayo-Junín es muy importante de definir, ya que este parámetro asegurará un adecuado comportamiento de la estructura del pavimento durante su periodo de diseño, así como incidirá directamente en los costos de inversión inicial del proyecto y costos de mantenimiento. De acuerdo a los documentos normativos mencionados, la determinación y sustento de cálculo de este parámetro es muy vaga, llegando el Manual de Carreteras del MTC a utilizar y recomendar un valor de 1, sin mayor explicación, así como también, este el valor que comúnmente se utiliza indiscriminadamente en el medio local y nacional, sin adecuados sustentos, sin determinarse la implicancia e influencia que ejerce este parámetro en el comportamiento de la estructura y costos de inversión.

Es así que la presente investigación, se basa en la determinación de este parámetro adecuado a la realidad local, para lo cual, se obtendrán muestras de las canteras que abastecen del material de sub base granular para obras de pavimentación rígida, determinándose cuál es la relación que se presenta entre las características de la calidad de drenaje del material y el diseño de la estructura del pavimento rígido, de acuerdo a la Metodología de Diseño del AASTHO 93, así como, se aportará con un parámetro de diseño para su uso local.

## **1.2 Delimitación del Problema**

### **1.2.1 Espacial**

La presente investigación se desarrolló en el distrito de Chilca-Huancayo, al ser el distrito que presenta subrasantes con condiciones más desfavorables dentro de la ciudad de Huancayo.

### **1.2.2 Temporal**

El tiempo en que se realizó la investigación fue desde el mes de octubre de 2019 hasta febrero de 2020. En todo ese tiempo el investigador realizó los trabajos necesarios para obtener los datos correspondientes al tema de investigación y el proceso correspondiente.

### **1.2.3 Económica**

Para la investigación, el financiamiento fue asumido por el investigador, por lo tanto, los ensayos de laboratorio y datos obtenidos fueron realizados dentro de este contexto.

### **1.2.4 Limitaciones**

Durante el proceso de investigación la principal limitación fue la económica, por lo que los ensayos realizados a los materiales de sub base,

solo los caracterizaron a fin de lograr los objetivos de la presente investigación, dejándose de lado otros ensayos exigidos para materiales de sub base.

### **1.3 Formulación del problema**

#### **1.3.1 Problema General**

¿Cuál es la relación entre la calidad de drenaje de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?

#### **1.3.2 Problemas Específicos**

- ¿Cómo se manifiesta la relación entre las características geométricas de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?
- ¿Qué relación existe entre las características de los agregados de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?
- ¿De qué manera se relaciona la precipitación pluvial con el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?

### **1.4 Justificación**

#### **1.4.1 Social**

En cuanto a la justificación práctica o social de la presente investigación, tal como se señala a continuación:

La justificación práctica existe cuando se aporta información útil que puede resolver problemas de la ingeniería de transportes, en todos sus ámbitos, evitar consecuencias negativas, prevenir, corregir errores, reducir costos, mejorar la eficacia, mejorar la eficiencia,

información útil para resolver problemas de gestión empresarial cotidianos o latentes, entre otros. (Ccanto, 2010, p. 130)

Por lo tanto, la presente investigación optimiza el diseño de pavimentos rígidos por el método AASTHO 93 en vías urbanas del distrito de Chilca, Huancayo, a fin de obtener diseños más económicos con adecuado comportamiento y desempeño.

#### **1.4.2 Teórica**

En cuanto a la justificación teórica de la presente investigación, tal como se señala a continuación:

La justificación teórica existe cuando se aporta un nuevo conocimiento científico, nuevos conceptos, nuevas teorías, nuevas formas de entender los problemas de la ingeniería de transportes, adaptaciones teóricas a nuevos contextos, entender problemas viejos con nuevas formas creativas, ampliar conceptos o corregir ambigüedades en la teoría, nuevas aplicaciones de conceptos y teorías a otras realidades, etc. (Ccanto, 2010, p. 130)

En ese sentido, la investigación contribuye con información local referida a la calidad de drenaje de la sub base granular para los pavimentos rígidos, mediante la obtención de pautas y criterios para la determinación de este parámetro, lo cual servirá para ser utilizado en el diseño de pavimentos rígidos a nivel local, con características propias.

#### **1.4.3 Metodológica**

En relación a la justificación metodológica de la presente investigación, tal como se señala a continuación:

La justificación metodológica existe cuando se aporta nuevos instrumentos de medición, nuevas técnicas de análisis, nuevas herramientas de evaluación, nuevos manuales de procedimientos, adaptaciones a instrumentos previos, adaptaciones a modelos extranjeros, innovaciones tecnológicas, procedimientos de gestión, nuevos esquemas de operaciones, nuevos modelos de capacitación, etc. (Ccanto, 2010, p. 130)

En ese sentido, la presente investigación propone una metodología para realizar un adecuado cálculo del parámetro de calidad de drenaje de la sub base de un pavimento rígido, el cual podrá ser replicado y utilizado en el diseño de pavimentos rígidos adecuados a la realidad local.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Determinar la relación entre la calidad de drenaje de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Identificar la relación que se manifiesta entre las características geométricas de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.
- Evaluar la relación que existe entre las características de los agregados de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.
- Determinar la relación de la precipitación pluvial con el diseño de pavimentos rígido AASTHO 93.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

##### 2.1.1 Antecedentes Nacionales

- Becerra (2013), para optar el grado de Grado de Master en Ingeniería Civil en la Universidad de Piura, elaboró la tesis titulada: "*Comparación técnica–económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión*", indica que en los últimos tiempos en los países desarrollados el concreto hidráulico se ha utilizado considerablemente para la construcción de carreteras, sin embargo esto no ha sucedido en el Perú, donde solo se ha utilizado en vías departamentales y urbanas, todo esto debido a limitaciones y tecnologías obsoletas en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, esta situación no ha permitido competir a los pavimentos de concreto, ni técnica ni económicamente con los pavimentos flexibles, asimismo el autor concluye que cuando las subrasantes presentan valores de CBR bajos, la metodología AASHTO 93 castiga a los espesores de diseño tanto de los pavimentos flexibles como de los pavimentos rígidos.
- Rodríguez Et Al (2016), para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú realizaron la tesis titulada: "*Estudio del comportamiento de pavimentos rígidos debido a fallas estructurales*", indica que se tienen muchos avances en la construcción en las últimas décadas y que los pavimentos de concreto

han adquirido mayor preponderancia en los proyectos de vías, sin embargo en nuestro país, no existen estudios adecuados respecto a los pavimentos rígidos tanto en su diseño como comportamiento, no conociéndose las causas de sus problemas ni soluciones, lo que genera desconfianza en el uso de esta tecnología. Por lo que se hace muy necesario realizar estudios a fin de que el uso de pavimentos rígidos sea más eficiente a lo largo de su vida de servicio generando más confiabilidad en su utilización dentro del Perú, ampliando su mercado mediante el estudio de su comportamiento debido a fallas estructurales, generando soluciones cómodas y técnicamente confiables.

- Zelada (2019), para optar el título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú realizó la tesis titulada: "*Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca – Puno (km 44+000 – km. 45+000)*", en la cual realiza varios diseños de pavimentos rígidos con diferentes espesores concluyendo que existe una directa influencia entre el espesor de la losa de concreto y el costo del presupuesto en los pavimentos rígidos, por lo que una alternativa para reducir el costo de la propuesta es disminuir el espesor de las losas de concreto hidráulico.
- Núñez (2018), para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Cajamarca realizó la tesis titulada: "*Propuesta de rehabilitación de pavimento de concreto utilizando sobre capas de refuerzo en la avenida todos los santos de la ciudad de chota*", en la cual, de acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación realizada por los métodos PCI y VIZIR, determina que la vía se encuentra en mal estado,

elaborando un presupuesto para rehabilitación y otro para la reconstrucción total del pavimento, optando por la reconstrucción ya que, a pesar que la reconstrucción con un pavimento rígido demanda una mayor inversión inicial, resulta a futuro más beneficioso, ya que, el pavimento rígido no necesita de mucho mantenimiento, como lo es para un pavimento asfáltico.

- Castañeda (2017), para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Peruana Los Andes realizó la tesis titulada: "*Propuesta técnica para mejoramiento de vías en la zona urbana del C.P. Paratushiali distrito y provincia Satipo - Junín*", en la cual realiza una propuesta para el mejoramiento de la zona urbana del C.P Paratushiali en 13 cuadras de las siguientes vías: Av. El Sol, Av. El Ejército, Ca. Júpiter, Ca. Teodoro Noriega, Av. Teodoro Flores, Psje. Hilser y Psje. Rosario del Águila, concluyendo que se planteó un pavimento rígido, para todas las vías en estudio, debido a su excelente durabilidad, así como que estadísticamente se ha demostrado que las carreteras con losas de concreto soportan hasta tres veces su capacidad de carga de diseño, lo cual no sucede con el asfalto, el cual presenta una menor resistencia, a eso se añade que los pavimentos flexibles requieren ser conformados con un mayor número de capas granulares, las cuales necesitan de mayor control técnico en el proceso constructivo, lo cual muchas veces no se da adecuadamente.

### 2.1.2 Antecedentes Internacionales

- Fontalba (2015), realizó la tesis titulada: "*Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1° etapa*", para la obtención del título de Ingeniero Civil en Obras Civiles, en la Universidad Austral de Chile, en la cual busca proyectar la construcción de un pavimento en la Avenida Circunvalación Sector Guacamayo 1° Etapa en función de las cargas vehiculares correspondientes, realizando diseños con pavimento flexible y pavimento rígido, llegando a la conclusión de que ambos tipos de pavimentos son válidos y representan una alternativa viable de aplicar para la solución de caminos nuevos, sin embargo, la elección entre la aplicación de un pavimento flexible o un pavimento rígido queda sujeto a otros factores distintos al diseño estructural tales como el costo económico entre las distintas soluciones, el tiempo de ejecución de las obras, a los costos de mantención del pavimento, etc.
- Ruíz y Rodríguez (2016), realizaron la tesis titulada: "*Comparación técnico-económica del uso de pavimento rígido y pavimento flexible en Nicaragua. estudio de caso: tramo Unikwas-Mulukuku*", para la obtención del título de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, en la cual comparan el diseño por el método AASHTO 1993 para un pavimento rígido y flexible concluyendo que en la construcción de un pavimento rígido basta con una capa de base e incluso se puede colocar directamente sobre la subrasante si el material de soporte es de buena calidad, la ventaja del pavimento rígido en

relación al flexible es la capacidad que tiene la losa de absorber y disipar los esfuerzos producidos por los efectos del tránsito, en cambio el pavimento flexible los distribuye a las capas subyacentes. La ventaja de implementar la metodología de la AASHTO 1993, para el diseño de estructuras de pavimento rígido, es debido a que se puede obtener directamente el espesor requerido de la losa, para soportar la carga que se producirá a lo largo de del periodo de vida para el cual se diseñe la estructura, en cambio sí se diseña un pavimento flexible el resultado que se obtiene de la aplicación de la ecuación AASHTO-93, es una reacción a la carga inducida por el tráfico, la cual debe ser distribuida y absorbida por las capas subyacentes, por lo que si el procedimiento constructivo de dichas capas no se hace correctamente se producirán fallas a temprana edad del pavimento apareciendo fisuras en la superficie de rodadura.

- Mora y Argüelles (2015), realizó la tesis titulada: "*Diseño de pavimento rígido para la Urbanización Caballero y Góngora, Municipio de Honda - Tolima*", para la obtención del título de especialista en Ingeniería de Pavimentos, en la Universidad Católica de Colombia, donde realiza una evaluación de los diferentes métodos empleados para el diseños de estructuras de pavimentos con el fin de confrontar y comparar los conceptos técnicos académicos y parámetros empleados, concluyendo que por ser una vía con características urbanas se requiere la construcción de drenajes superficiales y/o sumideros conectados al alcantarillado a fin se garantice la pronta evacuación de aguas superficiales, dejando definidas en el momento de la construcción las pendientes transversales

y longitudinales, concluyendo que por ningún motivo se deben presentar estancamientos de agua sobre el pavimento.

- Herrera (2014), realizó la tesis titulada: "*Estudio del pavimento de las vías del Barrio Salacalle, perteneciente a la Parroquia Saquisilí, Cantón Saquisilí, Provincia de Cotopaxi y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes*", para la obtención del título de Ingeniero Civil, en la Universidad Técnica de Ambato - Ecuador, donde su investigación indica que a nivel nacional las lluvias han generado inundaciones y deslaves, provocando además un pésimo estado de las vías, esto se debe a que no existe un plan de mantenimiento vial o no se aplica adecuadamente, impidiendo resolver el problema mediante la recuperación de la red vial, es así que en su investigación realiza una propuesta para dotar a la vía de un pavimento, señalando que existen varios factores que afectan la estructura del pavimento, ya que en algunas zonas existen deslizamientos, niveles freáticos altos, en donde la estructura de pavimento se ve seriamente afectada por ello, razón por la cual en muchos lugares se ha optado por pavimentos rígidos. Así mismo la sección transversal de la vía en corte o relleno, influye principalmente en las condiciones de drenaje de la vía y en el procedimiento constructivo. Asimismo, concluye que el mejoramiento del pavimento y del sistema de drenaje de aguas pluviales beneficiará a la población, mejorando su calidad de vida.
- Becerril y Miranda (2016), elaboraron la tesis titulada: "*Procedimiento constructivo de pavimentos flexibles en la carretera: Barranca Larga en*

*el Estado de Oaxaca*", para optar el Título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Autónoma de México, donde señala que la sub base granular tiene como una de sus principales funciones el reducir costos, señalando también que, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esto trae consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante resulta más económico. Asimismo, señala que, la sub base cumple funciones de drenaje, ya que en muchos casos debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o las bermas, así como impedir la ascensión capilar, así como también algunos cambios volumétricos de la subrasante, generalmente asociados a cambios en el contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas) pueden absorberse en la sub base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

## **2.2 Bases teóricas o científicas**

### **2.2.1 Diseño de pavimentos**

Se establecen todos los aspectos relacionados con la estructura de un pavimento tomando como fundamento el conocimiento del suelo de la subrasante, las características físico-mecánicas de los componentes; el análisis estructural; las condiciones de construcción y mantenimiento; de

tal forma que la estructura final sea capaz de soportar las cargas de tráfico y ambientales a las que será sometida durante su periodo de diseño cumpliendo con los niveles de servicio esperados por la institución y los usuarios. En la actualidad combina el conocimiento de la mecánica de los materiales, el análisis estructural de los componentes, las tecnologías constructivas, y la gestión de la conservación vial. Esta interacción entre diferentes áreas de conocimiento representa un reto para el ingeniero de pavimentos quien debe buscar la solución más adecuada al costo más efectivo Menéndez (2016).

#### **2.2.1.1 Etapas del diseño de pavimentos**

Menéndez (2016) refiere que las etapas del diseño del pavimento dependen si se trata para una estructura nueva o un mejoramiento o rehabilitación de una vía existente, presentando el siguiente esquema para ambos casos.

- Identificar los requerimientos, expectativas y especificaciones del cliente.
- Identificar las restricciones presupuestarias, logísticas o constructivas.
- Recopilación de información existente.
- Trabajos de campo.
- Estudio de la subrasante.
- Estudio de canteras, materiales disponibles y fuentes de agua.
- Estudio de tráfico.
- Pre diseño.

- Definición del tipo de superficie de rodadura y los componentes estructurales.
- Cálculo del tráfico de diseño.
- Estudio de las condiciones ambientales y de drenaje.
- Sectorización del tramo.
- Definición del nivel de confiabilidad deseable para el proyecto.
- Determinación de la capacidad de soporte del suelo de fundación.
- Diseño de los espesores de cada capa.
- Selección de los materiales.
- Definición de la estrategia de mantenimiento y de construcción en caso sea por etapas.
- Diseño final.
- Análisis del costo del ciclo de vida.
- Determinación del tipo de pavimento y de los espesores finales.
- Especificaciones técnicas.
- Metrados.

#### **2.2.1.2 Funciones y componentes del pavimento**

Menéndez (2016) indica que las funciones son variadas y dependen de las necesidades y requerimientos de los usuarios y la entidad. En ese sentido, de acuerdo a tres diferentes

perspectivas: usuario y entidad, estructura y medio ambiente, propone lo siguiente:

- Usuario, entidad/institución:

- Proporcionar a los usuarios circulación segura, cómoda y confortable, con adecuada regularidad (rugosidad) y suficiente resistencia a la fricción.

- Proporcionar a los vehículos acceso bajo cualquier condición de clima.

- Reducir los costos de operación vehicular, reducir el tiempo de viaje y reducir los accidentes.

- Reducir los costos de mantenimiento y operación.

- Facilitar y mejorar las condiciones de operación y transporte.

- Dotar de una superficie adecuada para tránsito, almacenamiento o traspaso de productos.

- Estructura:

- Reducir y distribuir la carga de tráfico para que esta no dañe la subrasante y/o el suelo de fundación.

- Proteger la subrasante y el suelo de fundación del clima (agua y/o congelamiento).

- Controlar la presencia y efecto del agua a nivel del suelo de fundación.

- Capacidad de carga suficiente de los materiales que componen la estructura para resistir el tráfico y el clima.

-

- Medioambiente:
  - Cumplir requerimientos medioambientales y estéticos.
    - Limitar el ruido y la contaminación del aire.
  - Tener suficiente durabilidad para que no se deteriore antes de tiempo debido a las variables ambientales (agua, oxidación, efectos de la temperatura).
- Proporcionar una superficie adecuada al contexto y compatible estéticamente con el entorno, en especial en zonas urbanas y zonas protegidas.

Los principales componentes de una estructura de pavimentos son:

- Capa de rodadura.
- Capa de base.
- Capa de sub base.
- Subrasante.
- Suelo de fundación.
- Subdrenaje.
- Bermas.

### **2.2.1.3 Metodología de diseño AASTHO 93**

MTC (2014) nos refiere que el método AASHTO 93 estima que para una construcción nueva el pavimento comienza a dar servicio a un nivel alto, mientras pasa el tiempo y las repeticiones de carga de tránsito, este nivel de servicio baja, es ahí donde le AASHTO 93 establece que un mínimo nivel de

servicio final que se debe mantener al concluir el periodo de diseño.

Para el diseño del espesor de la losa, mediante un proceso iterativo se van asumiendo espesores de losa de concreto hasta que la ecuación de la metodología AASHTO 93 llegue al equilibrio. Por lo tanto, este espesor de concreto calculado, que cumpla con los parámetros de diseño, debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado. A continuación, podemos apreciar la ecuación que propone la metodología AASTHO 93 para pavimentos rígidos:

#### ECUACIÓN AASTHO 93 PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

$$\text{Log}_{10} W_{8.2} = Z_R \cdot S_o + 7.35 \text{Log}_{10}(D+25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10} \left( \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \times \text{Log}_{10} \left( \frac{M_r C_d (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left( 0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Donde:

$W_{8.2}$  = numero previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño

$Z_R$  = desviación normal estándar.

$S_o$  = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

$D$  = espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

$\Delta \text{PSI}$  = diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

$P_t$  = índice de serviciabilidad o servicio final.

- $M_r$  = resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz).
- $C_d$  = coeficiente de drenaje.
- $J$  = coeficiente de transmisión de carga en las juntas.
- $E_c$  = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.
- $K$  = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, sub base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

### 2.2.2 Pavimento rígido

Menéndez (2016), señala que un pavimento rígido está conformado por una losa de concreto hidráulico con o sin refuerzo que sirve como superficie de rodadura, la cual se apoya en una capa de material de préstamo con o sin estabilización (sub base) y en algunos casos directamente sobre el suelo de fundación compactado. El nombre de pavimentos rígidos se da debido a que la losa posee una alta rigidez si lo comparamos con el material de soporte, debido a esta razón la losa de concreto asume la mayor parte de los esfuerzos producidos por las cargas presentando un bajo nivel de deformación si lo comparamos con un pavimento flexible.

Entre los principales tipos de pavimentos rígidos se tienen:

- Simple o monolítico (PCP).
- Simple con pasadores o barras de transferencia (dowels) (JPCP).
- Con refuerzo discontinuo distribuido sin función estructural (JRCP).
- Con refuerzo continuo sin función estructural (CRCP).
- Con refuerzo estructural.

- Pre esforzado.
- Concreto en celdas (celular PCP).
- Concreto con agregados expuestos.
- Concreto pigmentado.
- Concreto poroso.
- Concreto estampado.
- Concreto rodillado.
- Whitopping.

MTC (2008) indica que los pavimentos rígidos posees una losa de concreto hidráulico de cemento Portland como superficie de rodadura, la cual se coloca sobre una capa de material de sub base con un CBR igual o mayor al 40%, y esta a su vez está colocada sobre una subrasante nivelada y compactada al 95% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado.

### **2.2.3 Sub base granular**

Duravía (2019) señala que la sub base es la capa que está apoyada sobre la subrasante, conformada por un material granular, adecuadamente graduada, la cual debe ser perfilada y compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar. Su utilización implica mejorar la capacidad de soporte de suelo.

MTC (2013), refiere que la capa de sub base está conformada por materiales granulares, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, que se colocan sobre una superficie preparada, es decir la subrasante. Los materiales que conforman la sub base granular deberán ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 1: *Requerimientos granulométricos para sub base granular*

<b>Porcentaje que pasa en peso</b>			
<b>Gradación A (1)</b>	<b>Gradación B</b>	<b>Gradación C</b>	<b>Gradación D</b>
100	100	-	-
-	75-95	100	100
30-65	40-75	50-85	60-100
25-55	30-60	35-65	50-85
15-40	20-45	25-50	40-70
8-20	15-30	15-30	25-45
2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013 (MTC).

Por lo tanto, la tabla muestra los requerimientos granulométricos normativos para sub base granulares de pavimentos rígidos en el distrito de Chilca. Además, el material también deberá cumplir con los requisitos de calidad, que se muestran a continuación:

Tabla 2: *Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma MTC</b>	<b>Norma ASTM</b>	<b>Norma AASHTO</b>	<b>Requerimiento</b>	
				<b>&lt; 3000 msnm</b>	<b>&gt; 3000 msnm</b>
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx.	25 % máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25 % mín.	35 % mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-----	-----	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-----	D 4791	-----	20 % máx.	20 % máx.

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5mm).

(2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud).

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013 (MTC).

La tabla anterior proporciona las características mínimas del material de sub base, que deben de cumplir las sub bases en el distrito de Chilca.

Asimismo, no establece que para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia del material, este debe dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

MTC (2014), indica que el material granular para la capa de sub base deberá cumplir los requisitos mínimo establecidos en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, vigente, debiendo además cumplir con los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR mencionadas para el diseño del pavimento, y que según el caso deberá estar precisado en las Especificaciones Técnicas del proyecto. En ese sentido el valor de CBR mínimo exigido para la sub base granular es de 40%, referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una penetración de 0.1” (2.5mm).

Pérez (2010) indica que las principales funciones de la sub base son:

- Servir de material de transición entre la subrasante y las capas superiores, así como es un elemento aislador.
- Romper la capilaridad de la subrasante y drenar el agua proveniente de la base hacia las cunetas. Es importante que la sub base, en su

sección transversal, sean interceptadas por las cunetas para que éstas drenen fácilmente el agua que aquéllas eliminan.

#### **2.2.4 Hidrología y drenaje en carreteras**

MTC (2008), nos indica que el sistema de drenaje de una carretera tiene dos finalidades:

- Preservar la estabilidad de la superficie y del cuerpo de la plataforma de la carretera a fin de eliminar el exceso de agua superficial y la subsuperficial, siendo esto complementado con las obras de drenaje.
- Restituir las características de los sistemas de drenaje y/o de conducción de aguas que serían dañadas o modificadas por la construcción de la carretera y que, sin un debido cuidado, produzcan daños.

##### **2.2.4.1 Drenaje del pavimento**

MTC (2008), nos indica que el drenaje de la capa permeable constituida por la sub base y/o base, puede proyectarse tanto mediante drenes enterrados como prolongando la capa permeable hacia los taludes de los terraplenes y cunetas, en ese sentido, la subrasante debe contar con las pendientes transversales mínimas para este fin.

##### **2.2.4.2 Hidrología**

Rojas (2016), nos establece los siguientes aspectos a ser considerados, cuando buscamos evaluar la hidrología:

#### - CICLO HIDROLÓGICO

El cual se refiere a los procesos por los que pasa el agua durante su transporte continuo entre los océanos, la atmósfera, y la tierra. Para nuestro caso, se debe de considerar la precipitación y el escurrimiento superficial, pues sus efectos pueden llegar a provocar graves daños a las poblaciones y estructuras que no las hayan considerado adecuadamente.

#### - PERIODO DE RETORNO

Se considera al gasto de un proyecto como el evento máximo de escurrimiento, el cual puede producir daños e inconvenientes, para expresar este evento máximo, se utiliza el período de retorno, el cual indica el número promedio de años que transcurren entre la ocurrencia de dos eventos iguales, si hablamos, por ejemplo, de un período de retorno de 25 años, esto indica que, cualquier otro evento con una frecuencia menor o sea un período mayor de retorno, sí podrá causar daños e inconvenientes.

#### - PRECIPITACIÓN

Son aquellos procesos mediante los cuales el agua cae de la atmósfera a la superficie de la tierra, en forma de lluvia, es decir, precipitación pluvial, nieve o granizo. Los escurrimientos superficiales que se producen en el suelo están ligados proporcionalmente a la magnitud de las

precipitaciones pluviales, debido a esto, es importante considerarlos para el diseño de nuestras estructuras.

#### - INTENSIDAD DE LLUVIA Y DURACIÓN.

García et al (2013) indica que la intensidad de lluvia y la duración son dos parámetros interrelacionados, siendo la intensidad el promedio de la lluvia en mm/hora para un periodo de retorno determinado y una duración igual al tiempo de concentración ( $T_c$ ) de la cuenca, para su cálculo tenemos la siguiente ecuación:

$$T_c = \left( \frac{3.28L_c}{\sqrt{S_c}} \right)^{0.77}$$

Dónde:  $T_c$  = Tiempo de concentración en minutos

$L_c$  = Longitud del cauce (km).

$S_c$  = Pendiente del cauce.

3.28 = Factor de conversión de Km a min.

La duración es simplemente el intervalo de tiempo en minuto.

#### - EVALUACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO.

García et al (2013) refiere que para superficies menores de 1 300 Ha, debido a su simplicidad, es recomendable utilizar el método racional, así como para áreas mayores se deberá utilizar un modelo del hidrograma unitario u otro método similar.

#### - MÉTODO RACIONAL.

García Et Al (2013), indica que este método se basa en considerar que sobre toda el área estudiada se tendrá una lluvia uniforme durante un determinado tiempo, de manera que el escurrimiento en la cuenca se establezca y se tenga un gasto constante en la descarga, de esta manera se puede determinar el gasto máximo provocado por una tormenta, suponiendo que esto se alcanza cuando la intensidad de lluvia es aproximadamente constante durante una cierta duración, que se considera es igual al tiempo de concentración de la cuenca. La fórmula racional se plantea como:

$$Q = 0.2778 * I * A \quad \text{m}^3/\text{s}$$

En donde:

Q = Caudal superficial (m<sup>3</sup>/s).

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

I = Intensidad promedio de la lluvia (mm/h).

A = Área de la cuenca en km o Ha.

#### - PERIODO DE RETORNO (TR).

García et al (2013) define como periodo de retorno TR al tiempo promedio, expresado en años, en que el valor del caudal pico de una crecida determinada es igualado o superado una vez.

Para esto se analizan registros históricos, asignándoles un periodo de retorno de acuerdo a la frecuencia de cada evento.

Para su cálculo es común suponer que la frecuencia o intervalo de recurrencia de cada evento del grupo es similar a la observada. La ecuación para determinar el periodo de retorno es la fórmula de Weibull, la cual es la siguiente:

$$T_R = \frac{1+n}{m}$$

Dónde: TR: Período de retorno

m: Número de orden en una lista

n: Número de datos de la muestra

- FRECUENCIA DE LLUVIA.

García et al (2013) indica que mayormente las frecuencias utilizadas varían entre 3 años y 100 años. La escorrentía de un valor dependerá de varios criterios tales como la importancia relativa de la zona y el área que se está drenando, es así que recomienda la utilización de los siguientes valores:

Tabla 3: *Frecuencia de diseño en función del tipo de zona*

<b>Descripción de la zona</b>	<b>Frecuencia (años)</b>
Zona residencial	3-10
Zona comercial e industrial	10-50
Colectores principales	10-100

Fuente: Diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla.

Tabla 4: *Frecuencia de diseño según el área drenada*

<b>Área Drenada (Ha)</b>	<b>Frecuencia (años)</b>
Menor de 3 Ha	3
Entre 3 Ha y 10 Ha	5
Mayor de 10 Ha	10

Fuente: Diseño de acueductos y alcantarillados, Ricardo Alfredo López Cualla.

- ASPECTOS DE HIDRÁULICA.

García et al (2013) indica que los conceptos básicos de hidráulica, útiles para el diseño de una red de alcantarillado son los siguientes: tipos de flujo, ecuaciones fundamentales de conservación de masa (o de continuidad), cantidad de movimiento y energía, conceptos de energía específica, perfiles hidráulicos, salto hidráulico, pérdidas de carga por fricción y locales, los cuales deben ser analizados para lograr la eficiencia del sistema proyectado. En eses sentido indica que las variables hidráulicas de interés, son aquellas características del flujo cuya determinación es básica para fines de diseño y de funcionamiento hidráulico. Entre las variables hidráulicas más importantes se encuentran la velocidad media del flujo, el gasto y, el tirante del flujo con superficie libre o la presión en conductos trabajando a presión.

$$D = y \cos \theta$$

Donde  $\theta$  es el ángulo formado entre el fondo del canal y la horizontal.

### **Cálculo hidráulico de canales para flujo uniforme.**

El cálculo de canales, al igual que el de cualquier otra estructura en general, puede tener uno de estos objetivos: verificación o diseño. La verificación consiste en calcular el gasto que puede conducir un canal con una determinada sección hidráulica, pendiente y rugosidad. Mientras que el diseño, que también puede llamarse proyecto, consistirá en determinar la geometría de un canal para que pueda conducir un cierto gasto, llamado gasto de diseño.

$$Y_t = y + r$$

Tabla 5: *Taludes recomendados para algunos materiales*

<b>Material</b>	<b>Talud Z</b>
Roca	Aproximadamente vertical
Estiércol y suelos de turba	0.25 : 1
Arcilla rígida o tierra con recubrimiento de concreto	0.5:1 a 1:1
Tierra con recubrimiento de piedras o tierra en canales grandes	01:01
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1.5:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Marga arenosa o arcilla porosa	3:1

Fuente: Hidráulica de canales abiertos, Ven Te Chow.

### **2.2.5 Coeficiente de drenaje**

MVCS (2010) nos indica que en la metodología AASHTO 93, el coeficiente de drenaje expresa las características de drenabilidad de un

material granular empleado como base o sub base, se considera como Cd para pavimentos rígidos y como m<sub>i</sub> para pavimentos flexibles. Su valor depende del tiempo en que estos materiales se encuentran expuestos a niveles de humedad cercana a la saturación y del tiempo en que drena el agua.

En las siguientes tablas se muestran los coeficientes recomendados por la AASHTO:

Tabla 6: *Valores de Cd recomendados por la AASHTO para pavimentos rígidos*

Cd	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre.	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		Menos a 1%	1 -5 %	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	2 horas	1,25 - 1,20	1,0 - 1,15	1,15 -1,10	1,10
Bueno	1 día	1,20 -1,15	1,15 -1,10	1,10 -1,00	1,00
Regular	1 semana	1,15 -1,10	1,10 -1,00	1,00 - 0,90	0,90
Pobre	1 mes	1,10 -1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Muy Pobre	Nunca	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

**Fuente:** Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

En la tabla anterior se aprecian los valores de Coeficiente de Drenaje (Cd) a ser utilizados para el diseño de pavimentos rígidos.

Tabla 7: Valores de  $m_i$  recomendados por la AASHTO para pavimentos flexibles

Calificación del drenaje	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre.	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		Menos a 1%	1 -5 %	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	2 horas	1,40 - 1,35	1,35 -1,30	1,30 -1,20	1,20
Bueno	1 día	1,35 - 1,25	1,25 -1,15	1,15 -1,00	1,00
Regular	1 semana	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1 mes	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy pobre	Nunca	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y

Pavimentos del MTC.

En la tabla anterior se aprecian los valores de Coeficiente de Drenaje ( $m_i$ ) a ser utilizados para el diseño de pavimentos flexibles.

## 2.2.6 Parámetros de diseño de pavimentos rígidos

MTC (2014) indica que los parámetros que intervienen en el diseño de pavimentos rígidos son:

### **I. PERIODO DE DISEÑO**

El periodo de diseño para pavimentos rígido será mínimo de 20 años, aunque puede ser ajustado de acuerdo a las condiciones específicas del proyecto y lo requerido por la Entidad.

### **II. VARIABLES**

#### **TRÁNSITO (EJES EQUIVALENTES)**

Para realizar este cálculo, el método AASHTO 93, realiza una simplificación del efecto del tránsito con el concepto de ejes equivalentes, transformando las cargas de ejes de todos los tipos de

vehículos que transitan, por el carril de diseño, en ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas de peso, a lo cuales les llama ESAL (Equivalent Single Axle Load), en nuestro caso Número de Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2tn en el carril de diseño EE (Ejes Equivalentes).

En ese sentido, establece tres categorías de tránsito:

- Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Tabla 8: *EE de 8.2tn, en el carril de diseño (bajo volumen de tránsito)*

<b>Rangos de Tráfico Pesado Expresado en EE</b>
> 150,000 EE
≤ 300,000 EE
> 300,000 EE
≤ 500,000 EE
> 500,000 EE
≤ 750,000 EE
> 750,000 EE
≤ 1'000,000 EE

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos del MTC.

- Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

Tabla 9: EE de 8.2t, en el carril de diseño (medio volumen de tránsito)

<b>Rangos de Tráfico Pesado Expresado en EE</b>	
>	1'000,000 EE
≤	1'500,000 EE
>	1'500,000 EE
≤	3'000,000 EE
>	3'000,000 EE
≤	5'000,000 EE
>	5'000,000 EE
≤	7'500,000 EE
>	7'500,000 EE
≤	10'000,000 EE
>	10'000,000 EE
≤	12'500,000 EE
>	12'000,000 EE
≤	15'000,000 EE
>	15'000,000 EE
≤	20'000,000 EE
>	20'000,000 EE
≤	25'000,000 EE
>	25'000,000 EE
≤	30'000,000 EE

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos del MTC.

- Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño. Esta categoría requiere de un estudio especial, en el cual deben de analizarse diferentes alternativas de pavimento equivalentes, así como sustentarse y justificarse la metodología elegida.

Tabla 10: *EE de 8.2t, en el carril de diseño (alto volumen de tránsito)*

---

**Rangos de Tráfico Pesado Expresado  
en EE**

---

> 30'000,000 EE

---

Fuente: Manual de Carreteras, Suelos y Pavimentos del MTC

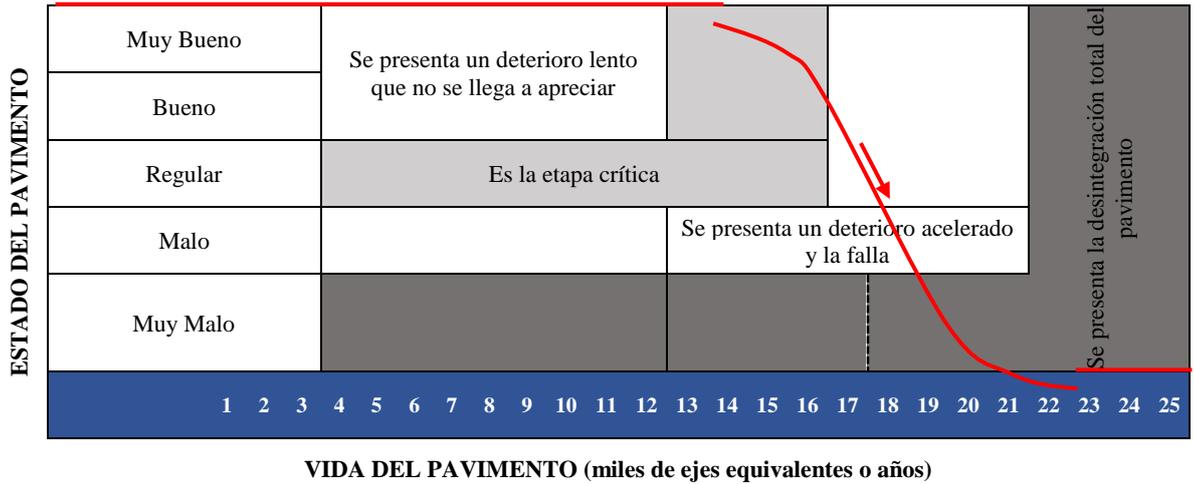
En las tablas anteriores se aprecian los valores establecidos para realizar la clasificación vehicular con fines de diseño del pavimento rígido.

### **SERVICIABILIDAD**

Es la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, se expresa a través del índice de servicio inicial (Pi) y el índice de servicio final o Terminal (Pt), los cuales se encuentran en una escala de 0 a 5, donde 0 significa una calificación de intransitable y 5 una calificación de excelente que es un valor ideal que en la práctica no se consigue. El valor de 0 es un indicador muy pesimista, empleándose en la práctica el valor de 1.5 como índice de serviciabilidad terminal del pavimento, así como, en la pista de prueba original, se alcanzó un valor de 4.5 como índice de serviciabilidad inicial. La metodología requiere, también, la diferencia entre los valores de servicialidad inicial y final, determinándose una variación o diferencial entre ambos índices ( $\Delta$  PSI), este depende de la calidad de la construcción

El índice de serviciabilidad de un pavimento es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento.

Gráfico 1: *Serviciabilidad de un pavimento*



Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC

La gráfica anterior muestra la pérdida de serviciabilidad que sufre un pavimento, a través de su periodo de diseño.

El MTC recomienda los siguientes valores para ser utilizados en el diseño de pavimentos rígidos:

Tabla 11: *Índices de serviciabilidad según rango de tráfico*

<b>Tráfico</b>	<b>Ejes Equivalentes Acumulados</b>		<b>Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)</b>	<b>Índice de Serviciabilidad Final o Terminal (Pt)</b>	<b>Diferencia del Serviciabilidad (<math>\Delta</math>PSI)</b>
Tp 0	100,000	150,000	4.10	2.00	2.10
Tp 1	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
Tp 2	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
Tp 3	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
Tp 4	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Tp 5	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
Tp 6	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
Tp 7	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
Tp 8	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
Tp 9	7,500,001	10,000,000	4.30	2.50	1.80
Tp 10	10,000,001	12,500,000	4.30	2.50	1.80
Tp 11	12,500,001	15,000,000	4.30	2.50	1.80
Tp 12	15,000,001	20,000,000	4.50	3.00	1.50
Tp 13	20,000,001	25,000,000	4.50	3.00	1.50
Tp 14	25,000,001	30,000,000	4.50	3.00	1.50
Tp 15	> 30'000,000		4.50	3.00	1.50

Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

En la tabla anterior se aprecian los valores recomendados por el MTC para serviciabilidad inicial y final, de acuerdo a los tipos de tráfico, a ser utilizados en el diseño de pavimentos rígidos.

### **LA CONFIABILIDAD “R” Y LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (So)**

Este parámetro tiene el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que pavimentos construidos de manera similar, tengan deterioros diferentes durante su periodo de diseño.

Es prácticamente un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del

periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas.

El valor sugerido por AASHTO se encuentra entre  $0.30 < S_o < 0.40$ , recomendándose un valor de  $S_o = 0.35$ .

El MTC recomienda los siguientes valores:

Tabla 12: *Valores recomendados de nivel de confiabilidad ( r ) y desviación estándar normal ( z<sub>r</sub> ) para una sola etapa de 20 años según rango de tráfico*

<b>Tipo de Caminos</b>	<b>Tráfico</b>	<b>Ejes Equivalentes Acumulados</b>		<b>Nivel de Confiabilidad ( R )</b>	<b>Desviación Estándar Normal ( Z<sub>R</sub> )</b>
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp 1	150,001	300,000	65%	-0.385
	Tp 1	150,001	300,000	70%	0.524
	Tp 2	300,001	500,000	75%	-0.674
	Tp 3	500,001	750,000	80%	-0.842
	Tp 4	750,001	1,000,000	80%	-0.842
	Tp 5	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	Tp 6	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	Tp 7	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
Resto de Caminos	Tp 8	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	Tp 9	7,500,001	10,000,000	90%	-1.282
	Tp 10	10,000,001	12,500,000	90%	-1.282
	Tp 11	12,500,001	15,000,000	90%	-1.282
	Tp 12	15,000,001	20,000,000	90%	-1.282
	Tp 13	20,000,001	25,000,000	90%	-1.282
	Tp 14	25,000,001	30,000,000	90%	-1.282
	Tp 15	> 30'000,000		95%	-1.645

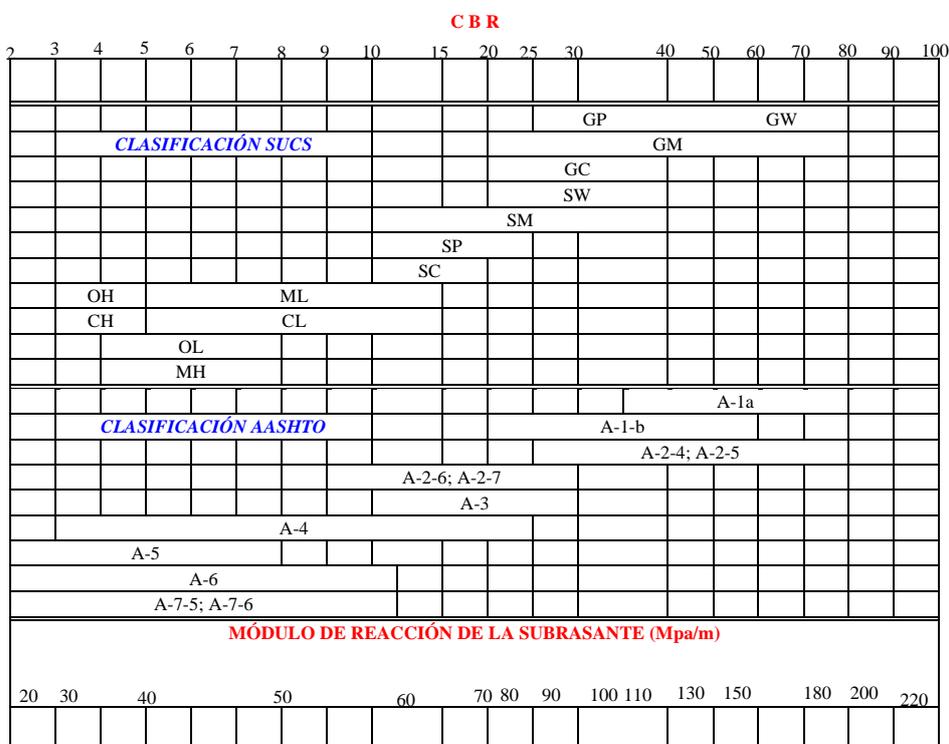
Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

En la tabla anterior se aprecian los valores recomendados por el MTC para Nivel de Confiabilidad (R) y Desviación Estándar Normal (Z<sub>r</sub>), de acuerdo a los tipos de tráfico, a ser utilizados en el diseño de pavimentos rígidos.

## MÓDULO DE REACCIÓN DEL SUELO (Kc)

Para caracterizar la subrasante, debemos calcular su módulo de reacción (K), si colocamos una sub base, se obtiene una mejora en el nivel de soporte de la subrasante, lo cual mejora las condiciones de apoyo lográndose reducir el espesor calculado de concreto. Para que esta mejora se contemple dentro de la ecuación AASHTO 93, debe de calcularse el módulo de reacción combinado (Kc). La manera adecuada de calcular este parámetro es a través del ensayo de placa (ASTM D – 1196 y AASHTO T – 222), sin embargo, para nuestra realidad, el AASHTO permite utilizar correlaciones directas para el cálculo de coeficiente de reacción k en función de la clasificación de suelos y el CBR; esto se realizará de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 1: Correlación entre el CBR y el módulo de reacción de la subrasante



Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

En la figura anterior podemos apreciar correlación existente entre el CBR y el módulo de reacción de la subrasante, a fin de utilizarse en el diseño de pavimentos rígidos.

Una subrasante es considerada apta, cuando posee un CBR igual o mayor al 6% (subrasante pobre o subrasante inadecuada), si es menor, se procederá a realizar una estabilización de esta. La presencia de la sub base granular o base granular, de calidad superior a la subrasante, permite aumentar el coeficiente de reacción de diseño, en tal sentido se aplicará la siguiente ecuación:

$$K_c = \left[ 1 + (h/38)^2 \times (K_1/K_0)^{2/3} \right]^{0.5} \times K_0$$

Donde:

$K_c$  (kg/cm<sup>3</sup>) = Coeficiente de reacción combinado

$K_1$  (kg/cm<sup>3</sup>) = Coeficiente de reacción de la sub base granular

$K_0$  (kg/cm<sup>3</sup>) = Coeficiente de reacción de la subrasante

$h$  (cm) = Espesor de la sub base granular

Tabla 13: *CBR mínimos recomendados para la sub base granular de pavimentos rígidos según intensidad de tráfico expresado en EE*

<b>Ensayo Norma</b>	<b>Requerimiento</b>
MTC E 132	CBR mínimo 40%
MTC E 132	CBR mínimo 60%

Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

## RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR)

La losa de concreto trabaja principalmente a flexión, por lo que es necesario considerar esta característica dentro de la metodología, esto lo logramos a través del módulo de rotura (MR), normado por el ASTM C – 78, en el cual el concreto vaciado es muestreado en vigas, las cuales, a los 28 días, serán ensayadas aplicando cargas en los tercios, y forzando la falla en el tercio central de la viga, para nuestro caso, los valores, deben encontrarse dentro de los siguientes:

Tabla 14: Resistencia mínima del concreto a la flexotracción y a la compresión para pavimentos rígidos

<b>Rangos de Tráfico Pesado Expresado en EE</b>	<b>Resistencia Mínima a la Flexo Tracción del Concreto (MR)</b>	<b>Resistencia Mínima Equivalente a la Compresión del Concreto (f'c)</b>
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>
> 5'000,000 EE	42 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>
≤ 15'000,000 EE	45 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>
> 15'000,000 EE	45 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

El módulo de rotura (Mr) del concreto se correlaciona con el módulo de compresión (f'c) del concreto mediante la siguiente expresión:

$$M_r = a \sqrt{f'c}$$

Valores en kg/cm<sup>2</sup> (según ACI 363).

Los valores de “a” varían entre 1.99 y 3.18.

## **MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO**

Este parámetro es muy importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado, se calcula a partir de la resistencia a la compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas. Se utiliza el ensayo ASTM C – 469 para su cálculo real.

Sin embargo, la metodología AASHTO 93 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación establecida por el ACI, la cual es la siguiente:

$$E=57,000 \sqrt{f'c} \quad (\text{Donde } f'c \text{ en PSI})$$

## **COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)**

La metodología de diseño AASHTO 93 incorpora el coeficiente de drenaje (Cd) para considerar el efecto de la presencia de agua o humedad en la estructura del pavimento, la cual puede causar los siguientes problemas:

- Erosión del suelo por migración de partículas
- Ablandamiento de la subrasante por saturación prolongada, especialmente en situaciones de congelamiento
- Degradación del material de la carpeta de rodadura por humedad
- Deformación y fisuración creciente por pérdida de capacidad estructural

En ese sentido, el coeficiente de drenaje representa la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga

agua libre o humedad por un cierto tiempo. El drenaje de esta agua, depende de los tipos de drenaje diseñados, el tipo y permeabilidad de las capas de sub base, tipo de subrasante, condiciones climáticas, grado de precipitaciones, entre otras, es así que, el coeficiente de drenaje  $C_d$  varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas, si es alto, indica que se tiene un buen drenaje favoreciendo a la estructura, reduciéndose el espesor de la losa de concreto. El Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC recomienda que el coeficiente de drenaje para las capas granulares sea de 1.

#### **TRANSFERENCIA DE CARGAS (J)**

Este parámetro expresa la capacidad de la estructura para transmitir cargas entre juntas y fisuras, sus valores dependen del tipo de pavimento de concreto a construir, la existencia o no de berma lateral y su tipo, así como la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas. El valor de este parámetro es directamente proporcional al espesor de losa de concreto, es decir, a mayor valor de  $J$ , mayor espesor de concreto.

Tabla 15: *Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga J*

<b>J</b>			
<b>Granular o Asfáltica</b>		<b>Concreto Hidráulico</b>	
<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>(con</b>	<b>(con</b>	<b>(con</b>	<b>(con</b>
<b>pasadores)</b>	<b>pasadores)</b>	<b>pasadores)</b>	<b>pasadores)</b>
3.2	3.8 - 4.4	2.8	3.8

Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

En la tabla anterior podemos apreciar los valores de coeficiente de transmisión de carga (J) de acuerdo al tipo de berma y mecanismo de transferencia de cargas a ser utilizados en el diseño de pavimentos rígidos.

### **JUNTAS LONGITUDINALES Y JUNTAS TRANSVERSALES**

Las juntas tienen el objetivo de controlar la fisuración y el agrietamiento que sufre la losa del pavimento debido a la contracción propia del concreto por la pérdida de humedad, variaciones de temperatura que sufre la losa por su exposición al medioambiente y al gradiente de temperatura existente desde la superficie hasta la sub base.

Los diferentes tipos de juntas pueden agruparse en:

- Juntas longitudinales
- Juntas transversales

Las juntas longitudinales son las que delimitan los carriles que serán por donde transitarán los vehículos.

Las juntas transversales están dispuestas en sentido perpendicular a las longitudinales.

Asimismo, las juntas tienen las siguientes funciones:

- Permitir la transferencia de carga entre las losas.
- Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal
- Dividir el pavimento en secciones adecuadas para el proceso constructivo y acorde con las direcciones de tránsito.
- Permitir el movimiento y alabeo de las losas.

- Proveer la caja para el material de sello.

El tamaño y geometría de las losas determinan la disposición de las juntas transversales y las juntas longitudinales, su longitud no debe ser mayor a 1.25 veces el ancho, así como no debe ser mayor a 4.50 m. Se recomienda que, en zonas de altura mayores a 3000 msnm, las losas deben ser cuadradas o losas cortas. En ese sentido, el MTC recomienda las siguientes dimensiones de losas:

Tabla 16: *Dimensiones máximas de losa recomendadas*

<b>Ancho de Carril (m) =</b>	<b>Longitud de</b>
<b>Ancho de Losa (m)</b>	<b>Losa (m)</b>
2.70	3.30
3.00	3.70
3.30	4.10
3.60	4.50

Fuente: Manual de Carreteras, Sección Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

En la tabla anterior se muestran las longitudes máximas de paños de losas de pavimentos rígidos, recomendadas por el MTC.

Para asegurar un buen comportamiento de las juntas se requiere tener una construcción adecuada y sobre todo oportuna, asimismo, su correcto sellado contribuirá a su adecuado desempeño.

En ese sentido para su adecuado diseño debemos de considerar lo siguiente:

- Las condiciones ambientales, los cambios de temperatura y humedad inducen el movimiento entre las losas, generando concentraciones de esfuerzos y alabeos.
- Espesor de la losa, influye en los esfuerzos que generan alabeo y deflexiones.
- Sistema de transferencia de cargas, es necesaria en toda junta de concreto.
- Nivel de tránsito, el tipo y volumen de vehículos pesados influye notablemente en las exigencias de los mecanismos de transferencia de carga a optar.
- Características de los materiales, los insumos del concreto afectan su resistencia y el dimensionamiento de las juntas. Los insumos determinan el movimiento entre las losas.
- Tipo de sub base, el valor soporte afecta la estructura del pavimento, y la fricción de la interfase afectan el movimiento y soporte de las losas.
- Materiales sellantes, la longitud de las losas afecta el sellador a elegir.
- Diseño de la berma, el tipo de berma, la presencia de sobreamochos, afecta el soporte lateral y la capacidad de las juntas para la transferencia de cargas.
- Debe prepararse un plano de distribución de juntas, identificando las juntas longitudinales, las juntas transversales de contracción y de dilatación; en este plano se identificarán las losas irregulares

que requieran refuerzo y/o las losas donde se ubican tapas de buzón o de cajas de paso y que también requieren refuerzo.

### **2.3 Marco conceptual**

#### **PAVIMENTO**

Es una estructura compuesta por varias capas que se apoyan en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla (subrasante) durante un lapso de tiempo denominado Período de Diseño y dentro de un rango de Serviciabilidad (calidad del servicio).

#### **PAVIMENTOS RÍGIDOS (DE CONCRETO HIDRÁULICO)**

Es un tipo de pavimento, que tiene como elemento principal una losa de concreto de cemento hidráulico, con o sin juntas, con o sin refuerzo, donde la losa presenta un comportamiento más rígido, comparado con sus capas inferiores.

#### **COEFICIENTE DE DRENAJE $C_d$**

Parámetro que representa, en la metodología AASHTO de 1993, las características de drenabilidad de un material granular empleado como base o sub base. Se expresa como  $C_d$  para pavimentos rígidos y como  $m_i$  para pavimentos flexibles, su valor depende del tiempo en que estas capas se encuentran expuestas a niveles de humedad cercanos a la saturación y del tiempo en que drena el agua fuera de estas capas.

#### **BOMBEO**

Es la convexidad o inclinación que se da a la sección transversal de una vía a fin de facilitar el drenaje de aguas superficiales.

## **PERFIL LONGITUDINAL**

Es el corte (perfil) a lo largo del eje de la planta, por tanto, es la intersección de la superficie topográfica con el plano vertical que contiene al eje de la planta. Se utiliza para visualizar el trazo de la carretera en perfil, se obtiene a través de la vista en planta o replanteándolo directamente en el campo.

## **SUB BASE GRANULAR**

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de adecuada gradación. Deberá ser perfilada y compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo Proctor Modificado y con un CBR mínimo del 40%, referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una penetración de 0.1" (2.5mm).

## **PERMEABILIDAD**

Es la capacidad de un suelo para permitir el paso de un fluido, en nuestro caso, agua, sin que dicho tránsito altere la estructura interna del cuerpo. Esta propiedad se determina objetivamente mediante la imposición de un gradiente hidráulico en una sección del cuerpo, y a lo largo de una trayectoria determinada.

## **PRECIPITACIÓN PLUVIAL**

Es un fenómeno meteorológico por el cual el vapor de agua condensado en las nubes cae a tierra en forma de lluvia, se puede medir a través de un pluviómetro y sus unidades se expresan en mm/año.

## **SATURACIÓN**

Es el contenido de agua de un suelo, cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua (no existe mayor espacio). Si el suelo posee un

adecuado drenaje, es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.

## **GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS**

Es la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, los cuales se expresan como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca. Nos permite clasificar a los diferentes suelos, para sus diferentes usos, por ejemplo, para ser considerados como materiales de rellenos de obras viales o material de préstamos, los cuales requieren ciertas graduaciones establecidas.

## **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

El análisis granulométrico tiene por objetivo la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de un suelo.

## **SISTEMA DE DRENAJE**

Un sistema de drenaje permite el retiro de las aguas que se acumuladas en un área de terreno o una estructura, la cual puede causar problemas o inconvenientes, donde el origen del agua que se acumula puede producirse por:

- El escurrimiento o escorrentía superficial.
- La elevación del nivel freático.
- Precipitaciones pluviales.

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS**

#### **3.1 Hipótesis general**

La calidad de drenaje de la sub base incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de pavimentos rígidos AASHTO 93.

#### **3.2 Hipótesis específicas**

- Las características geométricas de la sub base condicionan el tiempo de drenaje del agua.
- Las características de los agregados de la sub base determinan las condiciones de permeabilidad.
- La precipitación pluvial incide en el porcentaje de tiempo en el que la sub base se encuentra expuesta a saturación.

#### **3.3 Variables**

##### **3.3.1 Definición conceptual de las variables**

- Calidad de drenaje de la sub base

Representa la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga agua libre o humedad por un cierto tiempo. En general el nivel de drenaje de las capas intermedias depende de los tipos de drenaje diseñados, el tipo de permeabilidad de las capas de sub base, tipo de sub rasante, condiciones climáticas, grado de precipitaciones, entre otras.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p. 232).

- Diseño de Pavimentos Rígidos AASHTO 93

Mediante un proceso iterativo, se asumen espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 93 llegue al equilibrio. El espesor de concreto calculado finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado.

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p. 224).

### **3.3.2 Definición operacional de las variables**

- Variable Independiente: Calidad de drenaje de la sub base  
Depende de las características geométricas de la sub base, como: ancho de carril, la pendiente transversal y la pendiente longitudinal, así como depende de los agregados de la sub base, siendo el tamaño del grano y la granulometría, las características principales de este y por último la precipitación pluvial diaria.
- Variable Dependiente: Diseño de Pavimentos Rígidos AASHTO 93  
El diseño de pavimentos rígidos por la metodología AASHTO 93 depende de los siguientes parámetros el tráfico y carga vehicular, el medio ambiente y los materiales que conforman la estructura del pavimento rígido.

### **3.3.3 Operacionalización de variables**

Tabla 17: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES (FACTORES)	INDICADORES (DEFINICIÓN CONCEPTUAL)	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
<b>CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUB BASE</b>	Representa la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga agua libre o humedad por un cierto tiempo. En general el nivel de drenaje de las capas intermedias depende de los tipos de drenaje diseñados, el tipo de permeabilidad de las capas de sub base, tipo de sub rasante, condiciones climáticas, grado de precipitaciones, entre otras. (MTC, 2014)	Características geométricas	Ancho de carril	cm	Tabla de control
			Pendiente Transversal	%	Tabla de control
			Pendiente Longitudinal	%	Tabla de control
		Agregados de la sub base	Tamaño del grano	mm	Ficha de tamaño efectivo
			Granulometría	mm	Curva granulométrica
		Precipitación pluvial	Precipitación diaria	mm/día	Ficha de observación
<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93</b>	Mediante un proceso iterativo, se asumen espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 93 llegue al equilibrio. El espesor de concreto calculado finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado. (MTC, 2014)	Tráfico y Carga	Número de vehículos por tipo	Índice Medio Diario Anual (IMDA)	Ficha IMD - MTC
			Carga por eje	Toneladas (Tn)	Tablas MTC
			Número de repeticiones	Ejes Equivalentes (EE)	Tabla de cálculo
		Medioambiente	Temperatura del medioambiente y en cada capa	°C	Ficha de observación
			Gradiente Térmico	°C	Ficha de observación
			Precipitación pluvial horaria	mm/h	Tabla estadística
		Materiales	Capacidad de soporte de la subrasante	psi (lb/pulg <sup>2</sup> )	Formato CBR
			Características del concreto	f'c / Mr	Tablas MTC
			Acero de refuerzo	J	Tablas MTC

Fuente: *Elaboración propia.*

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 Método de investigación**

El método general de la investigación fue el método científico, ya que, la metodología científica además de tener características esenciales, importancia en el proceso de conocer la verdad y reglas de carácter universal, tiene un conjunto de elementos que los conforman, a partir de los niveles de metodología filosófica, científica general y científica particular, que en función del problema y de los propósitos de la investigación adopta una forma específica.

El método básico para el presente estudio fue el método descriptivo, ya que, según Sánchez y Reyes (2002) este método permite describir, analizar e interpretar sistemáticamente un conjunto de hechos relacionados con otras variables tal como se dan en el presente estudio. Además, apunta a estudiar el fenómeno en su estado actual y en su forma natural; por tanto, las posibilidades de tener un control directo sobre las variables de estudio son mínimas, por lo cual su validez es discutible.

#### **4.2 Tipo de investigación**

Según Sánchez y Reyes (2002), el tipo de la investigación fue la aplicada, llamada también constructivista o utilitaria, la cual se interesa por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella deriven. Además, busca conocer para hacer, para actuar, para construir, y para modificar.

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón que se utilizaron conocimientos

de las Ciencias de Ingeniería, a fin de aplicarlas en la determinación del beneficio del uso de pavimentos con adoquines de concreto en vías locales.

#### **4.3 Nivel de investigación**

De acuerdo a Hernández, et al (2003), la Investigación Correlacional es un tipo de estudio que tiene como propósito evaluar la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables (en un contexto en particular). Los estudios cuantitativos correlacionales miden el grado de relación entre esas dos o más variables (cuantifican relaciones). Es decir, miden cada variable presuntamente relacionada y después también miden y analizan la correlación. Tales correlaciones se expresan en hipótesis sometidas a prueba.

#### **4.4 Diseño de la investigación**

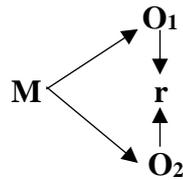
Tal como manifiesta Sánchez y Reyes (2006), el diseño corresponde a una estructura o esquematización para relacionar y controlar las variables de estudio, con el fin de imponer restricciones controladas a las observaciones de los fenómenos.

En el presente estudio se utilizó como diseño general el transeccional o seccional, ya que, como indica Ccanto (2010): “Los diseños transeccionales, transversales o seccionales, recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” (p. 139).

Como diseño específico se utilizó el diseño descriptivo-correlacional, ya que “Este diseño está interesado en la determinación del grado de relación existente entre dos o más variables de interés en una misma muestra de sujetos o el grado de relación existente entre dos fenómenos o eventos observados” (Ccanto, 2010, p. 241)

Asimismo, Oseda et al (2018) manifiestan que: “Este diseño se caracteriza porque en una misma muestra específica, se miden dos variables de estudio, luego estas se comparan estadísticamente (correlacionan) mediante un coeficiente de correlación”.

El esquema del presente diseño fue el siguiente:



Donde:

M = Muestra de estudio

O<sub>1</sub> = Observación de la V.1.

O<sub>2</sub> = Observación de la V.2.

r = Correlación entre dichas variables

## 4.5 Población y muestra

### 4.5.1 Población

Según Ccanto (2010), la población está conformada por el conjunto de todos los individuos en los que se desea investigar algunas propiedades, los cuales tienen una o más propiedades en común, se encuentran en un espacio geográfico o territorio, así como pueden variar en el transcurso del tiempo. (p. 265), en la presente investigación, la población estuvo conformada por las tres canteras de las que se obtiene el material para la sub base granular de pavimentos rígidos en el distrito de Chilca, Huancayo, las cuales, de acuerdo a la información proporcionada por la Gerencia de Obras Públicas de la Municipalidad Distrital de Chilca, son las siguientes:

- Cantera Umuto.
- Cantera Orcotuna.
- Cantera Chaclas.

#### **4.5.2 Muestra**

Según Hernández, et al (2003), las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección informal. Se utilizan en muchas investigaciones, y a partir de ellas, se hacen inferencias sobre la población, por lo tanto, en el caso de la presente investigación se considerará a todas las canteras de agregados que abastecen al distrito de Chilca de material granular de sub base para pavimentos rígidos, de manera censal, en este caso son las siguientes:

- Cantera Umuto.
- Cantera Orcotuna.
- Cantera Chaclas.

#### **4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información, la técnica que se utilizará en la presente investigación será la observación, ya que, según Chávez (2008), se define como una técnica de recolección de datos que permite acumular y sistematizar información sobre un hecho o fenómeno social que tiene relación con el problema que motiva la investigación. La observación tiene la ventaja de facilitar la obtención de datos lo más próximos a como éstos ocurren en la realidad; pero, tiene la desventaja de que los datos obtenidos se refieren sólo a un aspecto del fenómeno observado. Esta técnica es fundamentalmente para recolectar datos referentes al comportamiento de un

fenómeno en un “tiempo presente” y no permite recoger información sobre los antecedentes del comportamiento observado.

El instrumento a utilizarse principalmente serán una ficha de observación, ya que, según Cascante (1989), el uso de una ficha de observación puede ser útil no sólo para la obtención sistemática de datos, sino también para la valoración del seguimiento de cada unidad de correlación con el proyecto curricular que las engloba, siempre con una actitud abierta a cualquier reelaboración del sistema planificado, según las necesidades acaecidas en la práctica, y el común acuerdo del grupo de trabajo.

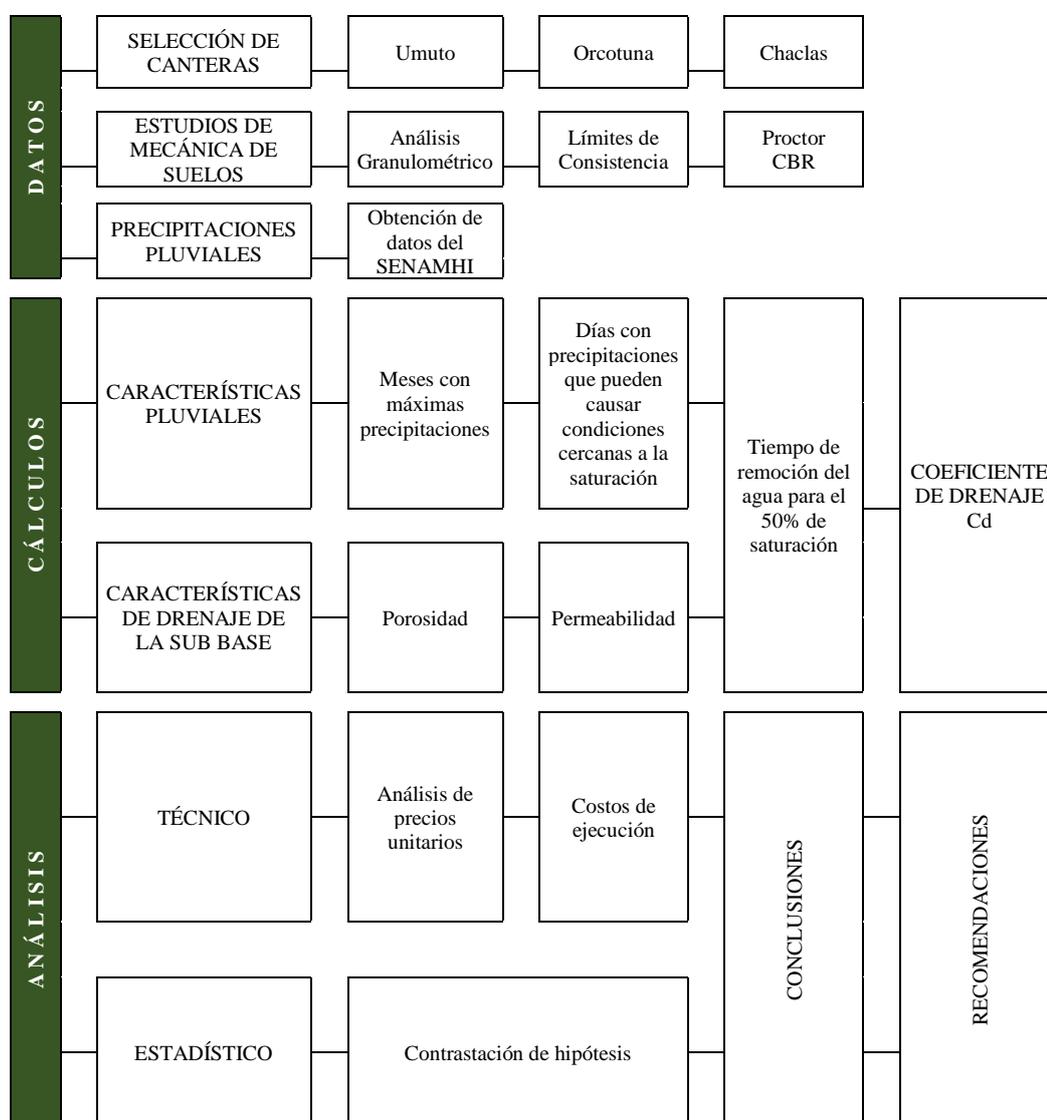
#### **4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para la presente investigación se ha realizado el siguiente proceso:

- **OBTENCIÓN DE DATOS:** Se obtuvieron muestras representativas de material de sub base de las tres canteras que abastecen al distrito de Chilca y se realizaron los ensayos de mecánica de suelos correspondientes. En cuanto a los datos de precipitaciones, se consideraron tres estaciones meteorológicas cercanas al distrito de Chilca, a fin de contarse con mayores datos estadísticos.
- **CÁLCULOS:** En función a los datos obtenidos, se realizaron cálculos para determinar las condiciones pluviales propias del distrito de Chilca a fin de conocer la cantidad total de días que ocasionan condiciones cercanas a la saturación en las sub bases, asimismo se realizaron cálculos a fin de determinar las características de porosidad y permeabilidad del material de sub base, a fin de calcular el coeficiente de drenaje  $C_d$  en función del tiempo de remoción del agua para un 50% de saturación.

- ANÁLISIS: Con los datos calculados se ha realizado la evaluación económica de las cinco principales obras que actualmente se han realizado en el distrito de Chilca, Huancayo, a fin de comparar los diseños realizados en estos versus un nuevo diseño, utilizando el coeficiente de drenaje real calculado durante la investigación.

Gráfico 2: *Procesamiento de la información*



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se describe el proceso realizado en la presente investigación.

#### **4.7.1 Técnicas y análisis de datos**

##### **a. Observación Directa**

La recolección de datos se dio mediante un procedimiento sistematizado y controlado de observación, con el fin de obtener datos propios de calidad de drenaje de material de sub base de cada cantera analizada, para realizar este proceso, primeramente se determinaron la cantidad de días al año en los cuales se tienen precipitaciones pluviales que pueden producir condiciones cercanas a la saturación del material, de acuerdo a estos parámetros hallados, se calculó el tiempo en el cual el agua puede ser removida, hasta en un 50%, fuera de la capa de sub base.

##### **b. Análisis de Documentos**

Basada en información bibliográfica y normas tanto nacionales, así como también en extranjeras. De la misma forma se emplearon para la recolección de datos, lo siguientes instrumentos:

- Ficha de observación.

#### **4.8 Aspectos éticos de la investigación**

En la presente investigación, se han seguido los lineamientos estipulados en el Reglamento General de Investigación de la Upla, aprobado mediante Resolución N° 1769-2019-CV-Vrinv, en lo que se refiere a protección de la persona y de diferentes grupos étnicos y socio culturales, consentimiento informado y expreso, beneficencia y no maleficencia, protección al medio ambiente y el respeto de la biodiversidad, responsabilidad y veracidad.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1 Descripción de resultados**

##### **5.1.1 Precipitación pluvial**

###### **5.1.1.1 Determinación de los meses más lluviosos**

Uno de los parámetros más incidentes en el desempeño de un pavimento rígido, está conformado por su capacidad de poder drenar el agua fuera de su estructura. Según Menéndez (2017), los efectos que la presencia del agua puede ocasionar en los pavimentos rígidos, son la reducción de la resistencia de los materiales granulares (sub base) y subrasante, la pérdida del material fino en las juntas de las losas, teniéndose como consecuencia fisuras, escalonamiento y deterioro prematuro, a esto se le conoce como bombeo, también produce hundimientos o expansión, afectando, asimismo, la durabilidad en el concreto. (p. 108)

En ese sentido, Coronado (2002), indica que, a fin de dar solución a los problemas que origina el agua, en el diseño de pavimentos, debemos prevenir la penetración del agua, proveer el drenaje adecuado para conducir el exceso de agua fuera de la estructura, rápidamente, así como construir pavimentos que puedan resistir el efecto de la carga y el agua. (p. 123)

Es por este motivo que debemos de dotar a nuestro pavimento del drenaje adecuado, el cual puede ser a través de drenaje superficial y subdrenajes, si estos se complementan con estructuras y sistemas propios de drenaje pluvial, el sistema es más eficiente. El drenaje superficial estará conformado por:

- OBRAS DE CONDUCCIÓN SUPERFICIAL
  - Cunetas laterales.
  - Badenes.
- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS
  - Pendiente longitudinal, mínimo de 0.5% para asegurar el drenaje de las cunetas laterales.
  - Pendiente transversal, conocida como bombeo, su valor se no debe ser menor al 1.5%.

Para un adecuado diseño del pavimento rígido, se hace necesario entonces coordinarlo e integrarlo con los drenajes proyectados.

De acuerdo a lo mencionado, es necesario estudiar las condiciones pluviales de la zona para la cual el pavimento será diseñado, para nuestro caso en particular, nuestro escenario es el distrito de Chilca de la provincia de Huancayo, departamento de Junín.

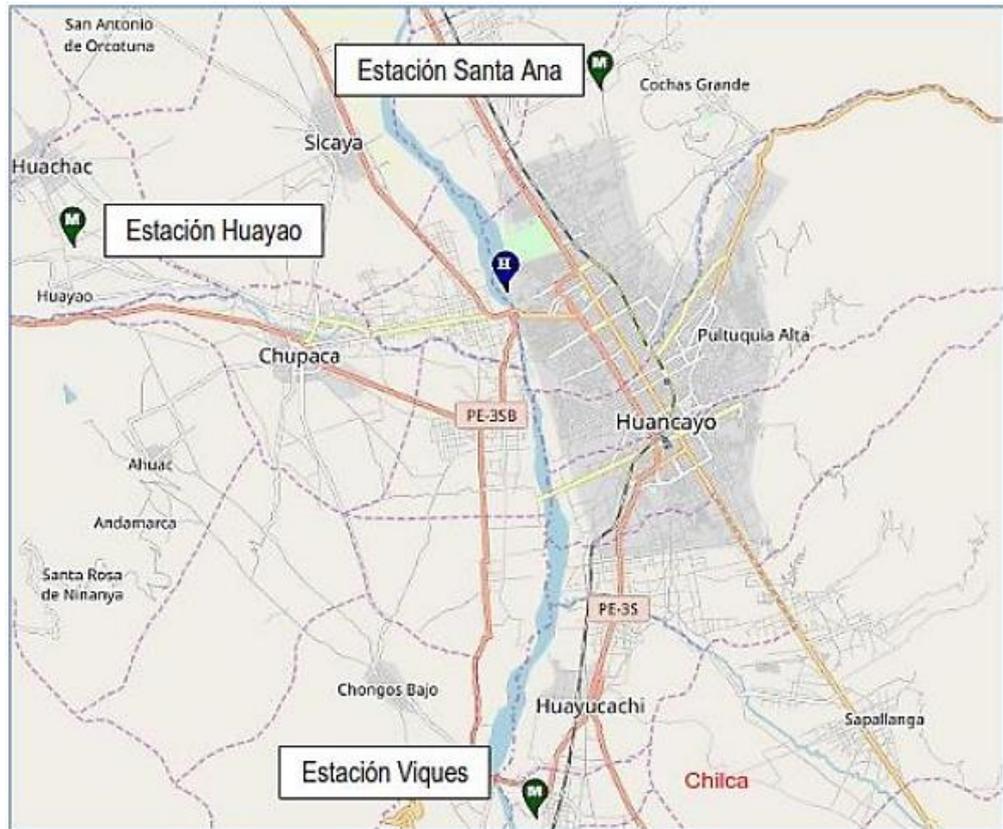
Para la determinación de las condiciones pluviales del distrito de Chilca de la provincia de Huancayo, se ha utilizado la información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) y sus estaciones meteorológicas dentro del área de influencia de la ciudad de Huancayo, las cuales son las siguientes:

- Estación meteorológica de Viquez.
- Estación meteorológica de Santa Ana.
- Estación meteorológica de Huayao.

Estas se encuentran próximas al distrito de Chilca, por lo que las características pluviales registradas por éstas, son aplicadas a nuestra área de investigación.

A continuación, podemos apreciar la ubicación de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente y su relación con el distrito de Chilca y la ciudad de Huancayo:

Figura 2: *Ubicación de estaciones meteorológicas dentro del distrito de Chilca*  
- Huancayo



Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

De acuerdo a los registros mensuales de precipitación acumulada en milímetros de agua, se podrá determinar cuáles son los meses en los cuales se tienen mayores lluvias, por lo tanto, como tenemos tres estaciones que tienen relación con el distrito de Chilca, Huancayo, podemos indistintamente considerar los valores de cualquiera de ellas.

A continuación, podemos apreciar los registros de precipitación mensual acumulada de la Estación Santa Ana, desde el año 2012 hasta el año 2018, de los

cuales se ha obtenido el promedio de todos los valores mensuales, a fin de determinar los meses más lluviosos en el distrito de Chilca, Huancayo:

Tabla 18: *Precipitación total mensual acumulada en la ciudad de Huancayo*

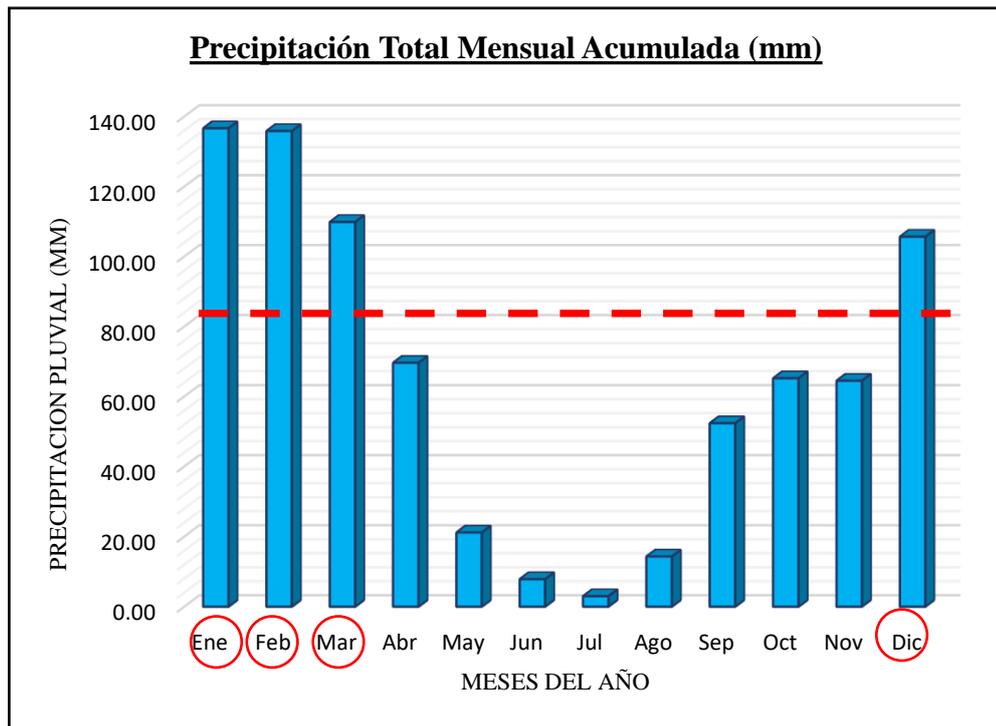
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ACUMULADA (mm)												
ESTACIÓN:	MAP SANTA ANA											
LATITUD:	12°00'34.04" Sur						DPTO.: Junín					
LONGITUD:	75°13'17.07" Oeste						PROV.: Huancayo					
ALTITUD:	3298 msnm						DIST.: El Tambo					
Parámetro	Precipitación Total Mensual (mm)											
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	108.40	133.60	75.80	126.70	29.50	28.00	0.00	1.50	37.10	58.00	61.80	185.90
2013	160.00	135.40	85.90	49.60	11.10	5.00	3.70	32.00	38.70	58.30	38.00	131.00
2014	160.00	99.50	179.70	87.30	32.10	0.30	4.20	32.10	83.40	34.60	103.10	100.70
2015	111.60	118.00	95.60	56.00	18.10	15.90	5.30	9.10	68.30	61.30	57.50	111.20
2016	91.50	177.60	74.10	53.60	16.30	0.00	1.40	4.80	29.30	72.50	92.60	72.70
2017	160.50	143.40	109.40	90.93	12.20	0.80	0.00	3.80	55.80	68.70	63.90	83.80
2018	164.60	143.70	148.60	23.30	29.00	5.10	6.40	17.10	54.10	103.20	34.70	54.40
<b>PROMEDIO</b>	<b>136.66</b>	<b>135.89</b>	<b>109.87</b>	<b>69.63</b>	<b>21.19</b>	<b>7.87</b>	<b>3.00</b>	<b>14.34</b>	<b>52.39</b>	<b>65.23</b>	<b>64.51</b>	<b>105.67</b>

Fuente: Elaboración propia en base a información del SENAMHI.

En el gráfico anterior, se puede apreciar el promedio mensual de precipitación por cada mes para los años del 2012 al 2018 para la Estación de Santa Ana.

El siguiente gráfico ha sido elaborado considerando los promedios mensuales de precipitaciones pluviales acumuladas, obtenidas de la tabla anterior, en este gráfico podemos apreciar claramente los meses con los picos más altos de precipitaciones pluviales, los cuales corresponden a los meses de enero, febrero, marzo y diciembre, como se muestra a continuación:

Gráfico 3: *Meses más lluviosos en el distrito de Chilca, Huancayo.*



Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior, se puede determinar que, en un año, se tienen cuatro meses (enero, febrero, marzo y diciembre) en los cuales se presentan mayores intensidades de precipitaciones pluviales, para el distrito de Chilca, Huancayo.

#### **5.1.1.2 Determinación de los días con precipitaciones pluviales que originan niveles de humedad próximos a la saturación**

Si bien es cierto, que ya se han determinado cuáles son los meses del año en los cuales se tienen mayores lluvias, no todos los días de esos meses se producen lluvias que puedan originar niveles de humedad próximos a la saturación.

Para determinar cuántos días de dichos meses se producen lluvias más intensas, debemos de realizar una evaluación diaria de las precipitaciones pluviales.

A continuación, se pueden apreciar los valores de precipitación pluvial diaria para la Estación Santa Ana en el mes de enero del año 2017:

Tabla 19: *Precipitación diaria (mm) - Estación Santa Ana (Enero 2017)*

01/01/2017	02/01/2017	03/01/2017	04/01/2017	05/01/2017	06/01/2017	07/01/2017	08/01/2017	09/01/2017	10/01/2017		
9.00	5.00	6.90	14.00	0.00	0.40	0.80	0.20	2.40	9.60		
11/01/2017	12/01/2017	13/01/2017	14/01/2017	15/01/2017	16/01/2017	17/01/2017	18/01/2017	19/01/2017	20/01/2017		
4.50	10.80	4.20	2.70	15.10	3.70	7.20	0.00	17.50	3.60		
21/01/2017	22/01/2017	23/01/2017	24/01/2017	25/01/2017	26/01/2017	27/01/2017	28/01/2017	29/01/2017	30/01/2017		
1.20	2.60	2.70	12.50	4.20	12.30	7.40	0.00	0.00	0.00		
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>31/01/2017</td> </tr> <tr> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>										31/01/2017	0.00
31/01/2017											
0.00											

Fuente: Elaboración propia en base a información del SENAMHI.

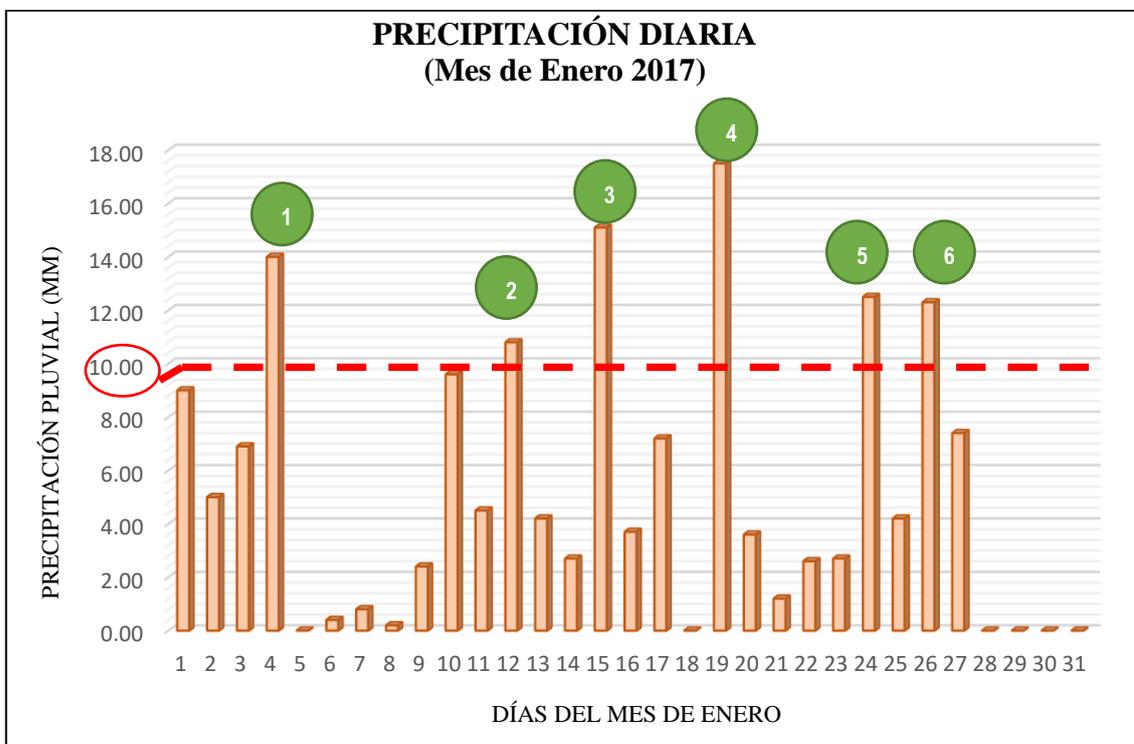
En la gráfica se muestran los valores de precipitación pluvial por día durante el mes de enero de 2017.

En función a los registros mostrados anteriormente, se ha procedido a realizar el siguiente gráfico, en el cual claramente podemos apreciar que existen días con picos altos de precipitaciones y días en los cuales no se han tenido precipitaciones o éstas han sido menores.

Sin embargo, nuestro propósito es determinar cuáles de estos días pueden causar niveles de humedad próximos a la saturación, en ese sentido, de la revisión bibliográfica realizada no se ha encontrado un valor de precipitación pluvial que nos indique que origine condiciones de saturación, esto debido a que esto obedece a cada tipo de suelo y características geométricas de la vía, como son las pendientes longitudinales y transversales, en ese sentido, se propone el siguiente criterio, para el distrito de Chilca, Huancayo, se considerará un límite a los 10mm de precipitación, los días que igualen o superen este valor, serán cuantificados y considerados como días que pueden originar condiciones de

saturación. El límite de 10mm, se propone a razón de la siguiente gráfica, en la cual se aprecian los picos de mayor precipitación pluvial, a partir de este valor:

Gráfico 4: *Días con lluvias que pueden producir condiciones de saturación*



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se pueden apreciar seis días con valores de precipitación mayores a 10mm, durante el mes de 2017.

En ese sentido, se han obtenido los valores diarios del Senamhi, para las Estaciones Meteorológicas de Santa Ana, Víquez y Huayao, para los años desde el 2017 hasta el 2019, a fin de contar con suficiente data para obtener los días promedios por mes en los cuales se podrían originar niveles de humedad próximas a la saturación, esto se puede apreciar en el anexo: Días de mayor precipitación pluvial, para cada caso, en la parte inferior, se han determinado los días que puede causar esta condición, tal como se puede apreciar en las tablas a continuación:

En función a estos datos procesados, se ha realizado el siguiente resumen, en el cual se pueden visualizar la cantidad de días que pueden originar niveles de humedad próximos a la saturación, para cada Estación Meteorológica analizada, obteniéndose un promedio para cada mes de lluvia.

Asimismo, se ha realizado el cálculo del porcentaje, que representan todos estos días, en función del total de días que tiene un año, como se puede apreciar a continuación:

Tabla 20: *Total de días con precipitaciones  $\geq 10$  mm en el distrito de Chilca, Huancayo*

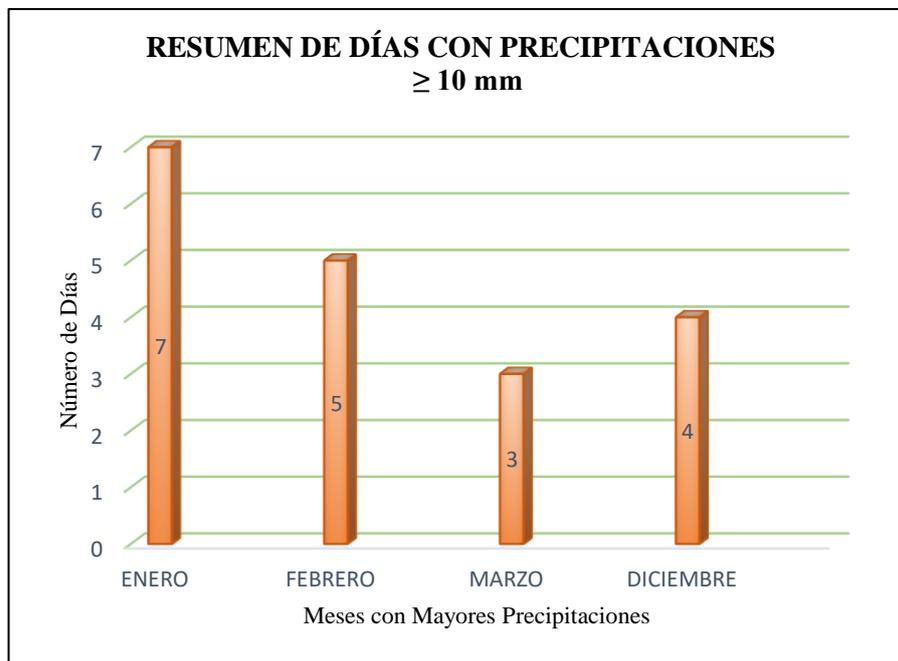
ESTACIÓN	MESES CON MAYORES PRECIPITACIONES											
	ENERO			FEBRERO			MARZO			DICIEMBRE		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Santa Ana	6	4	6	5	3	5	2	3	0	2	1	7
Víquez	7	8	6	5	3	5	2	6	0	2	2	6
Huayao	9	4	6	7	2	3	2	6	3	2	1	8
<b>PROMEDIO</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>7</b>
<b>PROMEDIO MENSUAL</b>	7			5			3			4		
<b>NÚMERO TOTAL DE DÍAS CON PRECIPITACIONES <math>\geq 10</math>mm</b>							19					
<b>NÚMERO TOTAL DE DÍAS DEL AÑO</b>							365					
<b>PORCENTAJE</b>							5.21%					

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, podemos apreciar que el número total de días con precipitaciones mayores o iguales a 10mm es de 19 días.

Estos 19 días con lluvias que superan los 10mm representan el 5.21% de días al año.

Gráfico 5: *Resumen de días al año que pueden originar niveles de humedad próximos a la saturación en el Distrito de Chilca, Huancayo*



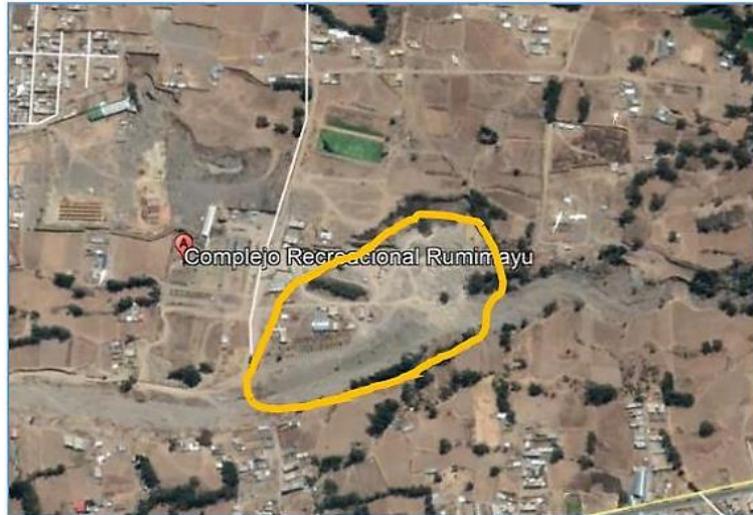
Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior podemos apreciar que en promedio para el mes de enero se tienen siete días que superan los 10mm de precipitación, cinco días para febrero, tres días para marzo y cuatro días para diciembre.

A fin de validar esta cantidad de días al año en la que tenemos precipitaciones que pueden originar niveles de humedad próximos a la saturación, se ha realizado el análisis desde el año 1993 hasta el año 2013 con datos obtenidos del Senamhi para su Estación Meteorológica de Santa Ana, del cual se ha obtenido el siguiente resumen, encontrándose los datos analizados en los anexos. Como se puede apreciar, se ha calculado un promedio de 17 días al año en la que tenemos precipitaciones que pueden originar niveles de humedad próximos a la saturación, este valor es semejante al valor de 19 días calculado en función de las tres estaciones meteorológicas analizadas.



Figura 5: *Ubicación Cantera Chaclas*



Fuente: Google Earth.

Se han realizado los siguientes ensayos para cada una de las canteras indicadas, a fin de determinar las características propias de esta investigación:

- Análisis Granulométrico.
- Límites de Consistencia.
- Clasificación de Suelos.
- Peso Específico de Sólidos.
- Proctor Modificado.
- California Bearing Ratio (CBR).

Los formatos propios de cada uno de los ensayos realizados, se pueden apreciar en los anexos, en base a éstos, se han podido determinar las siguientes características particulares del material de sub base para el distrito de Chilca:

Tabla 21: *Características del material de sub base para cada cantera*

Descripción	Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Clasificación SUCS	GP	GP	GW - GM
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Límite Líquido	24.09	23.58	24.61
Límite Plástico	21.520	20.110	20.870
Índice de Plasticidad	2.570	3.470	3.740
Densidad seca sub base	2.18	2.21	2.27
Peso específico de sólidos	2.638	2.702	2.680
D10 Sub base (mm)	0.538	0.279	0.182
D60 Sub base (mm)	12.281	11.986	11.885
P200	2.660	4.870	6.910
CBR	47.910	49.15	52.26

Fuente: Elaboración propia en base a los ensayos de mecánica de suelos realizados en el laboratorio Terralab SAC.

### 5.1.2.2 Permeabilidad de la Sub Base

Tal como señalan Angelone, Garibay y Cahuapé (2006), la facultad con la que pasa el agua a través de los poros es conocida como permeabilidad, la cual tiene una incidencia muy importante en el costo de las obras de construcción, siendo muy importante analizarla y estudiarla. (p.3)

Por otro lado, de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados a los materiales de sub base, se puede apreciar que estos son materiales clasificados como suelos granulares (gravas).

En ese sentido, Ortiz (2017) indica que los suelos granulares están conformados por partículas agregadas y sin cohesión con buena capacidad portante y elevada permeabilidad, con una alta capacidad de drenaje, siendo esta proporcional al tamaño de las partículas, es decir la porosidad del suelo. (p. 30)

Asimismo, Menéndez (2016) nos refiere que uno de los factores más importantes en las obras viales está dada por el drenaje, siendo este la causa de muchas fallas, debiendo considerarse el diseño del drenaje superficial en las carreteras a fin de evitar que el agua pluvial ingrese a la estructura o se quede en ella. (p. 70)

La metodología de diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93 considera al coeficiente de drenaje, como el parámetro necesario para considerar el efecto que produce el agua, en el módulo resiliente de las capas granulares y subrasante.

De acuerdo a Menéndez (2016), el coeficiente de drenaje se calcula en función de la calidad de drenaje y el tiempo que permanecerá la estructura del pavimento expuesta a la presencia de agua, para esto, requerimos conocer la permeabilidad del material, la pendiente y el caudal de infiltración de la sub base, luego de haberlo realizado, en función de las tablas dadas por la metodología de diseño mencionada, se estará en condiciones de determinar este parámetro. (p. 96)

### **5.1.3 Tiempo de remoción del agua**

#### **5.1.3.1 Características geométricas de la sub base**

Las características geométricas que deben de considerarse para conocer el tiempo en el cual el agua drenará de la sub base son las siguientes:

- ANCHO DE LA SUB BASE: el ancho de la sub base está dado por el ancho del carril de la calzada, en ese sentido, tal como señala la Norma GH.020: Componentes de Diseño Urbano del Reglamento Nacional de Edificaciones en su artículo 8, el ancho mínimo de una calzada es de 2.70 m (270 cm), por lo que este fue el menor valor que se consideró en nuestro cálculo. Asimismo, de la revisión de los diseños de sección vial de las vías del

distrito de Chilca, se puede apreciar que estos varían entre 3.00 m (300 m), 3.30 m (330 cm), 3.60 m (360 cm) y 4.00 m (400 cm), por lo que estos también fueron los anchos con los cuales se realizaron los cálculos.

- **PENDIENTE LONGITUDINAL:** ya que, es la gravedad, la fuerza con la cual el agua será drenada, es importante que se proporcione a la sub base de la inclinación o pendiente adecuada, en ese sentido, tal como señala el Manual de Diseño Geométrico DG-2018 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones la pendiente mínima longitudinal es de 0.5%, a fin de asegurar el drenaje de las aguas superficiales, por lo tanto, en los cálculos realizados, se ha considerado este valor mínimo, a fin de dotar a nuestro cálculo de cierto factor de seguridad.
- **PENDIENTE TRANSVERSAL (BOMBEO):** tal como señala la Norma CE.010: Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones, la pendiente transversal o bombeo, no debe ser menor a 1.5%. Por lo tanto, en los cálculos realizados, se ha considerado este valor mínimo, a fin de dotar a nuestro cálculo de cierto factor de seguridad.

### **5.1.3.2 Características de los suelos de la sub base**

Las características de los suelos granulares fueron determinadas en función a los ensayos de mecánica de suelos realizados a los materiales de cada una de las canteras que abastecen a la Gerencia de Obras Públicas de la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo, en ese sentido, las características de los suelos requeridas son:

- Espesor de la sub base.
- Densidad seca de la sub base.
- Clasificación de suelos (SUCS)

- Peso específico de sólidos.
- Índice de plasticidad.
- Diámetro efectivo  $D_{10}$ .
- Diámetro efectivo  $D_{60}$ .
- Porcentaje pasante de la malla N° 200.

### 5.1.3.3 Permeabilidad de la sub base

Tal como señala Menéndez (2016), para la determinación de la permeabilidad, se han sugerido diferentes relaciones entre esta y el tamaño de grano, siendo la más utilizada la relación dada por Hazen:

$$k=C_k D_{10}^2$$

Donde  $k$ =Permeabilidad en mm/s;  $D_{10}$ = Tamaño efectivo por debajo del cual queda el 10% del suelo y  $C_k$ =Coeficiente experimental en función del tipo de suelo. (p. 75)

Asimismo, debemos de conocer las características de porosidad ( $n$ ) del material granular, siendo esta el porcentaje de huecos existentes en relación al volumen total, y en función de esta, calcular la porosidad efectiva ( $n_e$ ), la cual indica la cantidad de poros interconectados o espacios intersticiales que contribuyen al flujo de fluidos o a la permeabilidad. En ese sentido, Menéndez (2016) proporciona las siguientes ecuaciones para el cálculo de estos parámetros:

$$n = 1 - \frac{\text{Densidad Seca}}{\text{Peso Específico de los Sólidos}}$$

$$n_e = 0.80 n$$

#### 5.1.3.4 Tiempo de drenaje

Menéndez (2016), indica que el material de la sub base debe ser capaz de evacuar las aguas en la brevedad posible, siendo el tiempo de drenaje el parámetro para medir esta condición, recomendando calcular el tiempo que se requiera para eliminar el 50% del caudal, siendo las ecuaciones las siguientes:

$$t = T m 24$$

Donde  $t$ =tiempo de drenaje (horas);  $T$ =Factor tiempo,  $m$ =factor de permeabilidad.

$$t_{50} = \frac{n_e L^2}{2k(H+SL)}$$

Donde  $n_e$ =porosidad efectiva;  $L$ =Ancho del carril;  $k$ =Coeficiente de permeabilidad de Hazen;  $H$ =Espesor de la sub base;  $S$ =Pendiente resultante.

En función de estos resultados, se ha determinado el tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación y estos serán comparados con los tiempos indicados por la metodología AASHTO 93 para determinar la calidad de drenaje y en base a este, determinar el coeficiente de drenaje  $C_d$ . (p. 85)

#### 5.1.3.5 Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación

A continuación, se muestran los cálculos del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación, considerando diferentes espesores de sub base granular como son: 0.15m, 0.20m y 0.25m. El espesor de 0.15m es el valor mínimo establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para las capas granulares, así como los espesores de 0.20m y 0.25m, son los espesores con los que se diseñan y construyen las sub bases granulares en el distrito de Chilca, para pavimentos rígidos, tal como lo indica la Gerencia de Obras Públicas de la Municipalidad Distrital de Chilca.

Asimismo, en los cálculos se han considerado los diferentes anchos de carril para la sub base, descritos en el numeral 4.3.1, de este capítulo, como se puede apreciar a continuación:

Tabla 22: Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 2.70m – Espesor de Sub Base = 0.15m)

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		270	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	15	15	15
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.680
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 2.70m – Espesor de Sub Base = 0.15m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	10,133.10	10,643.40	8,893.80
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	t50 (días)	$(H+SL) =$	19.27	19.27	19.27
		$2K (H+SL) =$	11.153	2.999	1.276
		$86,400 (2K (H+SL)) =$	963,606.776	259,145.517	110,275.255
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.011	0.041	0.081
		$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.25	0.99	1.94
t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.25</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
 (Ancho de carril 3.00m – Espesor de *Sub Base* = 0.15m)

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>		
Ancho de carril	L=	300 cm
Pendiente transversal:	Sx=	0.015 %
Pendiente longitudinal:	S=	0.005 %

<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>	
% saturación en el distrito de Chilca	5.21 %

<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	15	15	15
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.00m – Espesor de Sub Base = 0.15m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	12,510.00	13,140.00	10,980.00
		$(H+SL) =$	19.74	19.74	19.74
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	11.427	3.073	1.308
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	987,314.324	265,521.256	112,988.349
		$t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.013	0.049	0.097
	t50 (horas)	$t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.30	1.19	2.33
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.30</b>	<b>2.00</b>	<b>3.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.30m – Espesor de Sub Base = 0.15m)

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>		
Ancho de carril	L=	330 cm
Pendiente transversal:	Sx=	0.015 %
Pendiente longitudinal:	S=	0.005 %
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>		
% saturación en el distrito de Chilca		5.21 %

<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	15	15	15
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.30m – Espesor de Sub Base = 0.15m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	15,137.10	15,899.40	13,285.80
		$(H+SL) =$	20.21	20.21	20.21
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	11.702	3.147	1.339
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,011,021.872	271,896.994	115,701.443
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.015	0.058	0.115
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.36	1.40	2.76
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.36</b>	<b>2.00</b>	<b>3.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.60m – Espesor de Sub Base = 0.15m)

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>		
Ancho de carril	L=	360 cm
Pendiente transversal:	Sx=	0.015 %
Pendiente longitudinal:	S=	0.005 %
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>		
% saturación en el distrito de Chilca		5.21 %

<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	15	15	15
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.60m – Espesor de Sub Base = 0.15m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	18,014.40	18,921.60	15,811.20
		$(H+SL) =$	20.69	20.69	20.69
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	11.976	3.221	1.371
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,034,729.419	278,272.732	118,414.537
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.017	0.068	0.134
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.42	1.63	3.20
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.42</b>	<b>2.00</b>	<b>4.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30: Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 4.00m – Espesor de Sub Base = 0.15m)

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>		
Ancho de carril	L=	400 cm
Pendiente transversal:	S <sub>x</sub> =	0.015 %
Pendiente longitudinal:	S=	0.005 %
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>		
% saturación en el distrito de Chilca		5.21 %

<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	15	15	15
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 4.00m – Espesor de Sub Base = 0.15m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	22,240.00	23,360.00	19,520.00
		$(H+SL) =$	21.32	21.32	21.32
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	12.342	3.319	1.412
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,066,339.483	286,773.717	122,031.996
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.021	0.081	0.160
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.50	1.95	3.84
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.50</b>	<b>2.00</b>	<b>4.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 2.70m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		270	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	20	20	20
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 2.70m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	10,133.10	10,643.40	8,893.80
		$(H+SL) =$	24.27	24.27	24.27
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	14.047	3.778	1.608
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,213,686.392	326,400.141	138,894.391
		$t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.008	0.033	0.064
	t50 (horas)	$t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.20	0.78	1.54
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.20</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.00m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		300	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	20	20	20
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.00m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	12,510.00	13,140.00	10,980.00
		$(H+SL) =$	24.74	24.74	24.74
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	14.322	3.852	1.639
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,237,393.940	332,775.880	141,607.485
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.010	0.039	0.078
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.24	0.95	1.86
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.24</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.30m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		330	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	20	20	20
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.30m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	15,137.10	15,899.40	13,285.80
		$(H+SL) =$	25.21	25.21	25.21
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	14.596	3.925	1.670
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,261,101.488	339,151.618	144,320.579
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.012	0.047	0.092
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.29	1.13	2.21
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.29</b>	<b>2.00</b>	<b>3.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.60m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		360	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	20	20	20
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.680
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.60m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	18,014.40	18,921.60	15,811.20
		$(H+SL) =$	25.69	25.69	25.69
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	14.870	3.999	1.702
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,284,809.035	345,527.356	147,033.673
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.014	0.055	0.108
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.34	1.31	2.58
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.34</b>	<b>2.00</b>	<b>3.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 4.00m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=	400	cm	
Pendiente transversal:	Sx=	0.015	%	
Pendiente longitudinal:	S=	0.005	%	
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca		5.21	%	
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	20	20	20
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 4.00m – Espesor de Sub Base = 0.20m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	22,240.00	23,360.00	19,520.00
		$(H+SL) =$	26.32	26.32	26.32
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	15.236	4.098	1.744
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,316,419.099	354,028.341	150,651.132
		$t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.017	0.066	0.130
	t50 (horas)	$t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.41	1.58	3.11
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.41</b>	<b>2.00</b>	<b>4.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 2.70m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		270	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	25	25	25
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 2.70m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	10,133.10	10,643.40	8,893.80
		$(H+SL) =$	29.27	29.27	29.27
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	16.942	4.556	1.939
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,463,766.008	393,654.765	167,513.527
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.007	0.027	0.053
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.17	0.65	1.27
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.17</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.00m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=	300	cm	
Pendiente transversal:	Sx=	0.015	%	
Pendiente longitudinal:	S=	0.005	%	
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca		5.21	%	
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	25	25	25
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.00m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	12,510.00	13,140.00	10,980.00
		$(H+SL) =$	29.74	29.74	29.74
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	17.216	4.630	1.970
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,487,473.556	400,030.504	170,226.621
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.008	0.033	0.065
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.20	0.79	1.55
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.20</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.30m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		330	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	25	25	25
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.30m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	15,137.10	15,899.40	13,285.80
		$(H+SL) =$	30.21	30.21	30.21
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	17.491	4.704	2.002
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,511,181.104	406,406.242	172,939.715
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.010	0.039	0.077
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.24	0.94	1.84
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.24</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 3.60m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=		360	cm
Pendiente transversal:	Sx=		0.015	%
Pendiente longitudinal:	S=		0.005	%
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca			5.21	%
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	25	25	25
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.60m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	18,014.40	18,921.60	15,811.20
		$(H+SL) =$	30.69	30.69	30.69
	t50 (días)	$2K (H+SL) =$	17.765	4.778	2.033
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,534,888.651	412,781.980	175,652.809
		$t50 = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.012	0.046	0.090
	t50 (horas)	$t50(\text{horas}) = t50(\text{días}) \times 24$	0.28	1.10	2.16
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.28</b>	<b>2.00</b>	<b>3.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: *Datos para el cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación  
(Ancho de carril 4.00m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

<b>DATOS GEOMÉTRICOS DE LA SUB BASE:</b>				
Ancho de carril	L=	400	cm	
Pendiente transversal:	Sx=	0.015	%	
Pendiente longitudinal:	S=	0.005	%	
<b>DATOS PLUVIALES DE LA SUB BASE:</b>				
% saturación en el distrito de Chilca		5.21	%	
<b>Características de la Sub Base</b>		<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
Espesor sub base (cm)	H=	25	25	25
Densidad seca sub base		2.180	2.210	2.270
Peso específico de sólidos		2.638	2.702	2.68
Clasificación SUCS		GP	GP	GW - GM
D10 Sub base (mm)		0.538	0.279	0.182
P200		2.66	4.87	6.91
IP		2.57	3.47	3.74
D60 Sub base (mm)		12.281	11.986	11.885

Fuente: Elaboración propia.

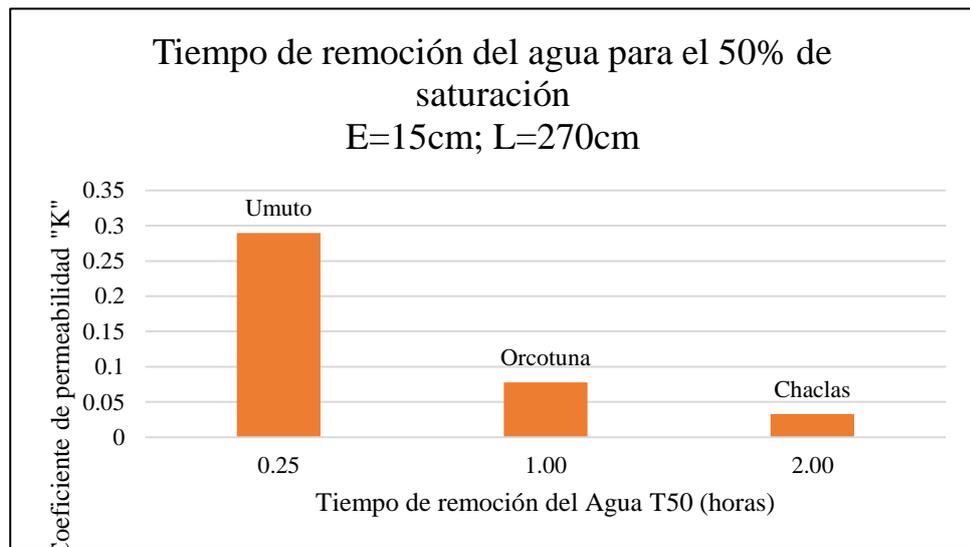
Tabla 51: *Cálculo del tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación*  
*(Ancho de carril 3.60m – Espesor de Sub Base = 0.25m)*

PARÁMETROS DE CÁLCULO			Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Pendiente resultante	Sr	$Sr = (S^2 + Sx^2)^{1/2}$	0.0158	0.0158	0.0158
Porosidad	n	$n = 1 - (\text{densidad seca/p.e. sólidos})$	0.174	0.182	0.153
Porosidad efectiva	ne	$ne = 0.80n$	0.139	0.146	0.122
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K	$K = Ck (D_{10}/10)^2$	0.289444	0.077841	0.033124
		$ne \times L^2 =$	22,240.00	23,360.00	19,520.00
		$(H+SL) =$	31.32	31.32	31.32
		$2K (H+SL) =$	18.131	4.876	2.075
		$86,400 (2K (H+SL)) =$	1,566,498.715	421,282.965	179,270.268
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		$t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.014	0.055	0.109
	t50 (horas)	$t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.34	1.33	2.61
	t50 (horas)	Valor redondeado	<b>0.34</b>	<b>2.00</b>	<b>3.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

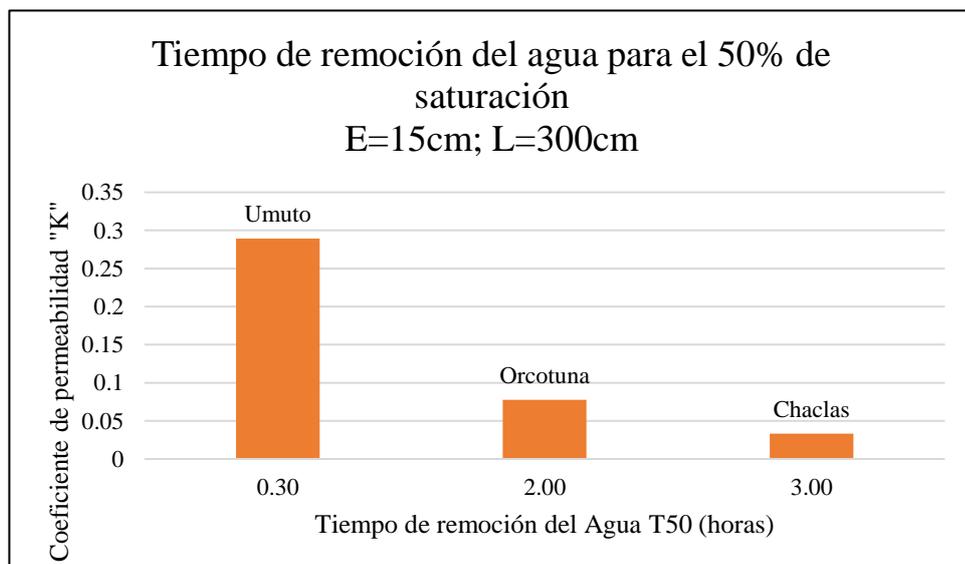
Tal como podemos apreciar en las tablas anteriores, la Cantera de Umuto presenta los menores tiempos para la remoción de las aguas pluviales para el 50% de saturación, mientras que la Cantera de Chaclas, es la que presenta el mayor tiempo. Esto se puede apreciar claramente en los siguientes gráficos:

Gráfico 6: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 2.70m)*



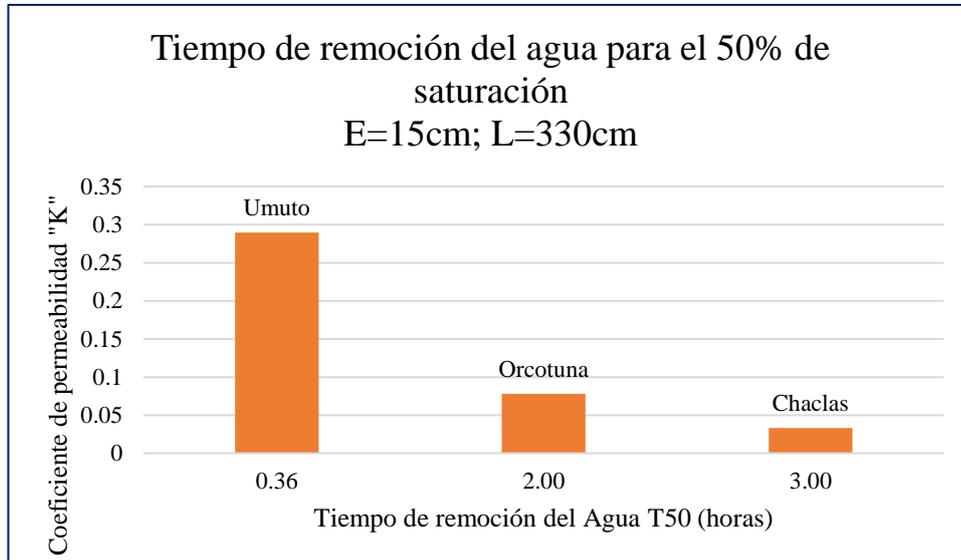
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.00m)*



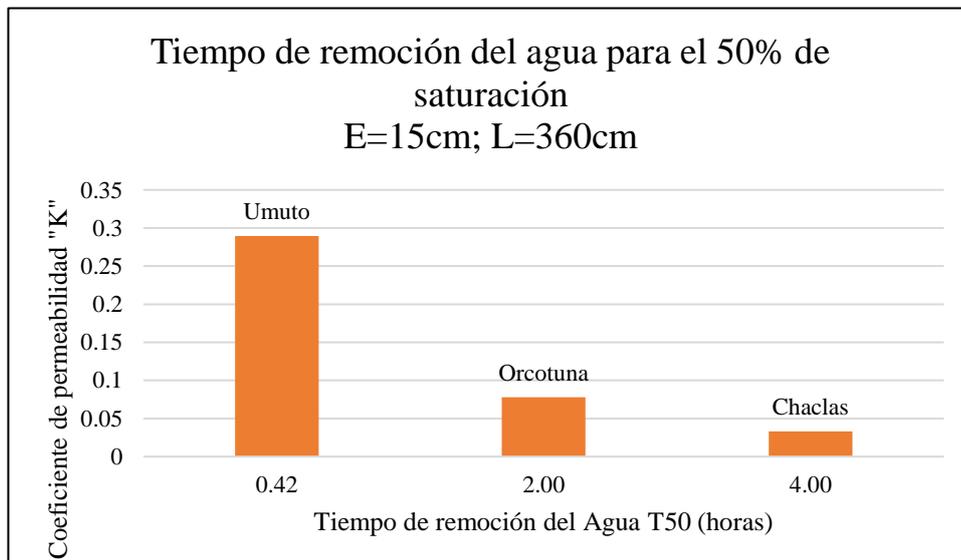
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.30m)*



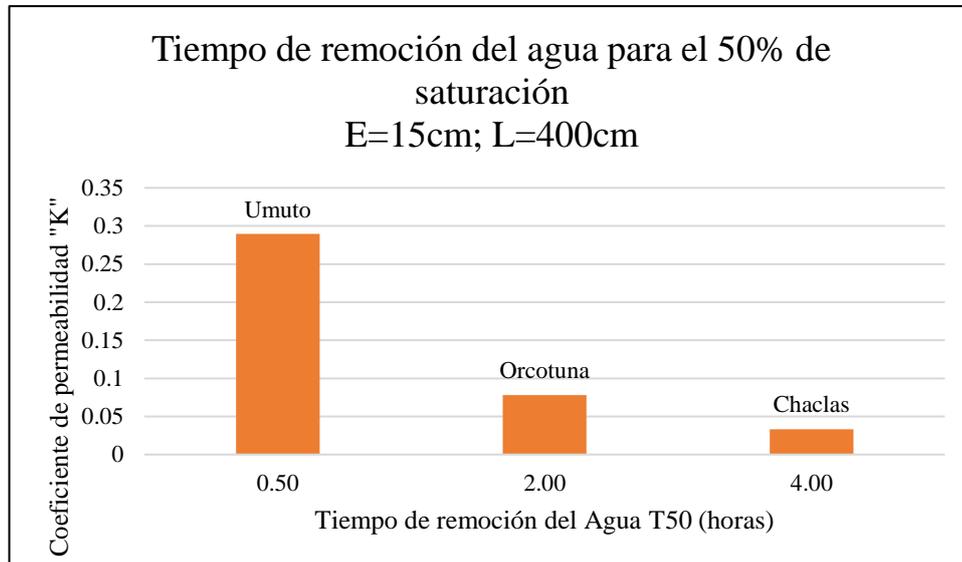
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.60m)*



Fuente: Elaboración propia.

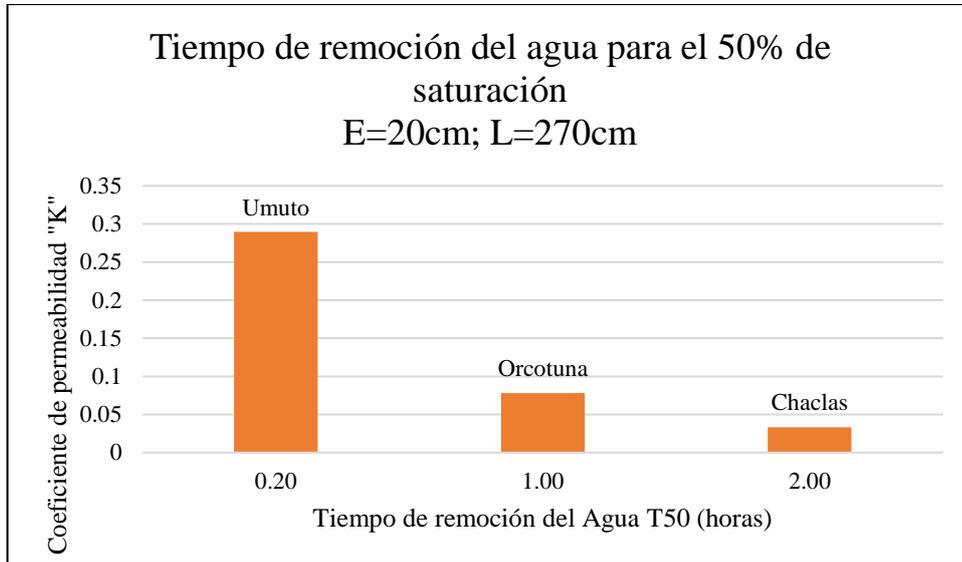
Gráfico 10: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 4.00m)*



Fuente: Elaboración propia.

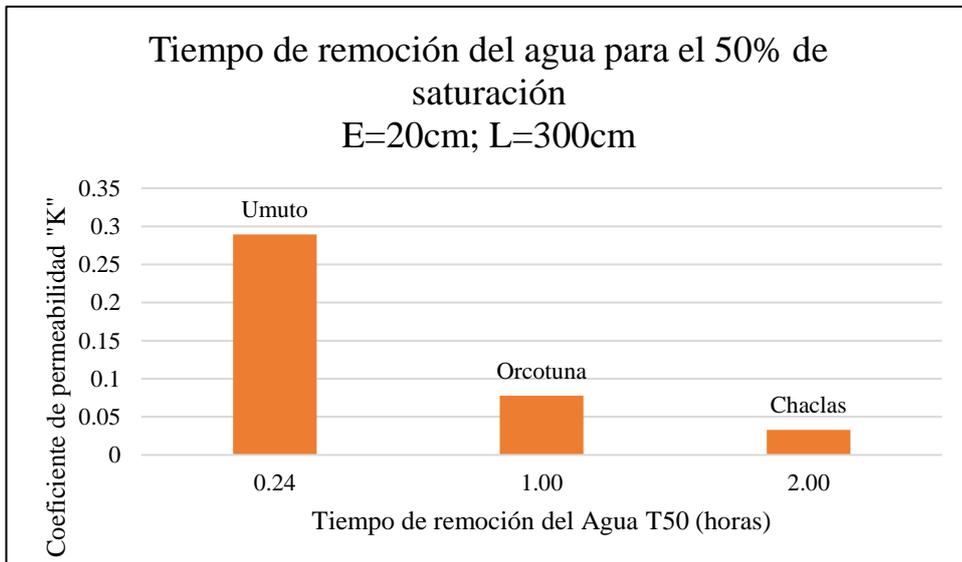
En las gráficas anteriores podemos apreciar los valores de tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación para un espesor de sub base de 15 cm y diferentes anchos de sub base como son: 2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m, y 4.00m, donde las mejores condiciones de permeabilidad se dan para la Cantera Umuto, siendo la Cantera de Chaclas la que presenta menores valores de coeficiente de permeabilidad.

Gráfico 11: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 2.70m)*



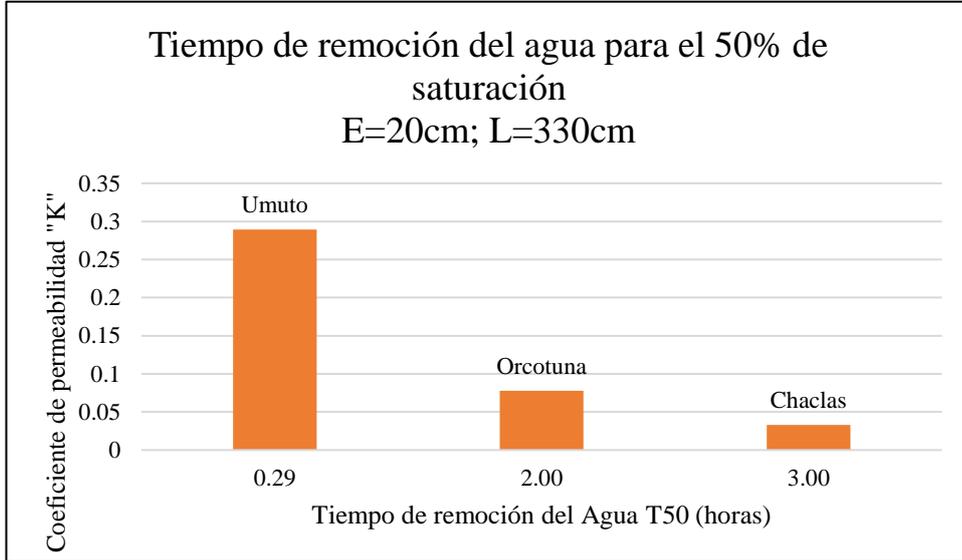
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.00m)*



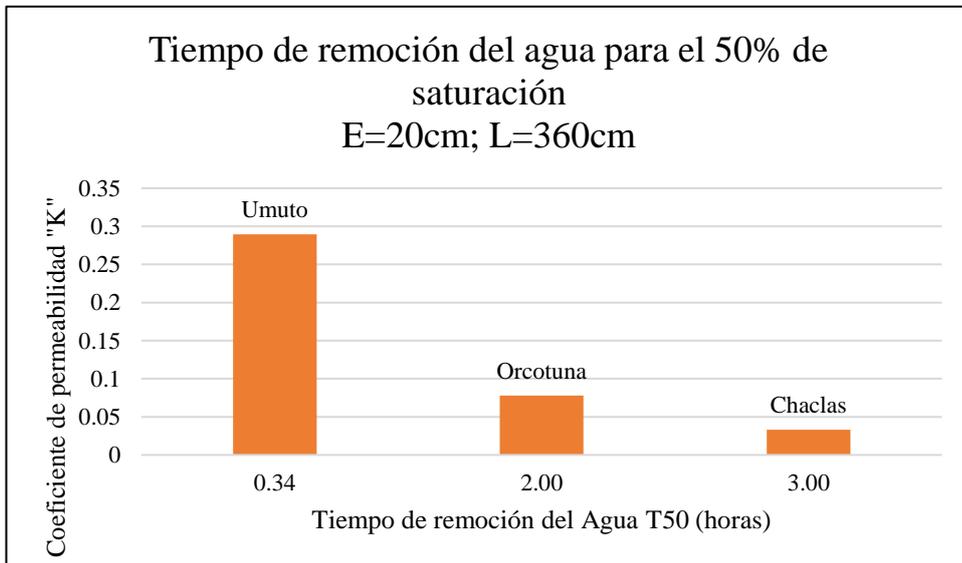
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.30m)*



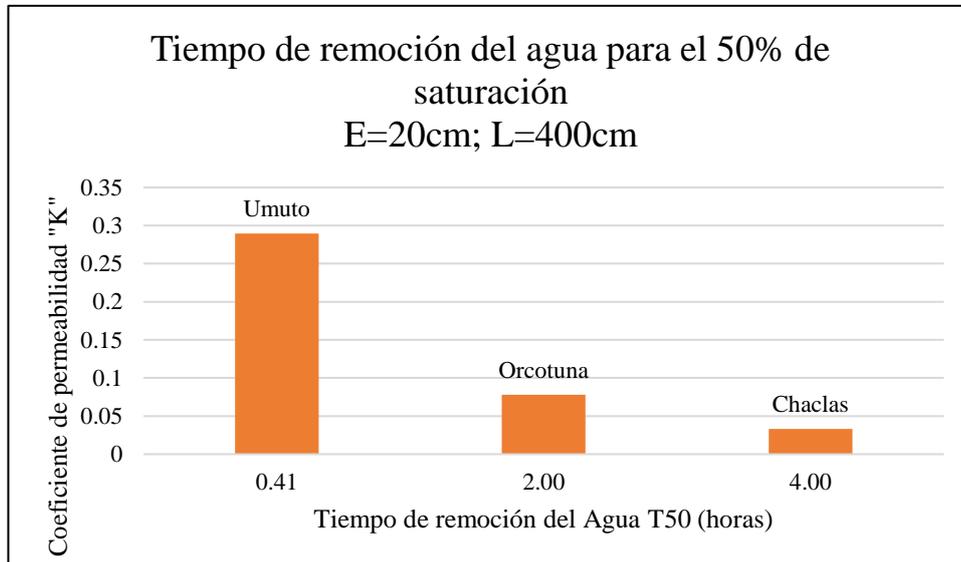
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 14: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.60m)*



Fuente: Elaboración propia.

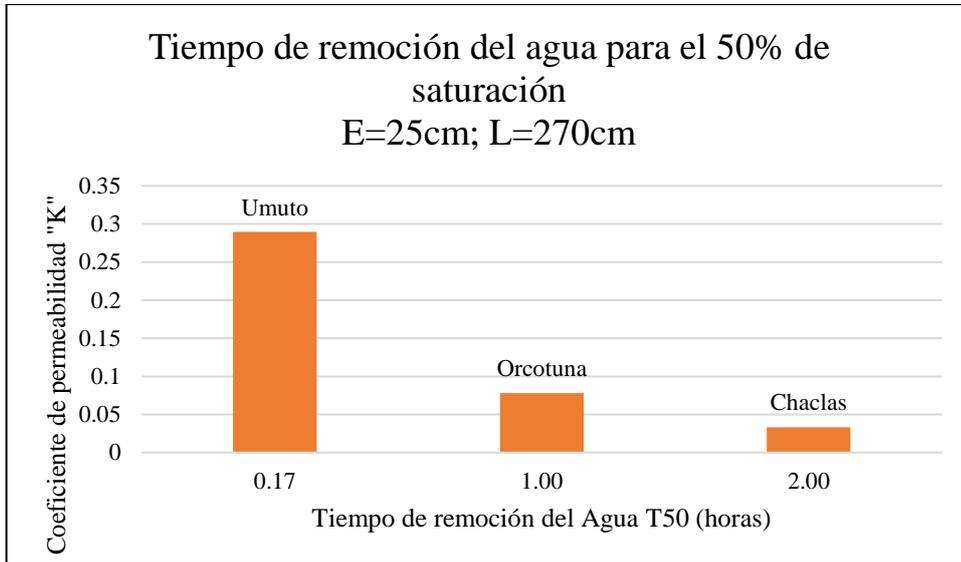
Gráfico 15: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 4.00m)*



Fuente: Elaboración propia.

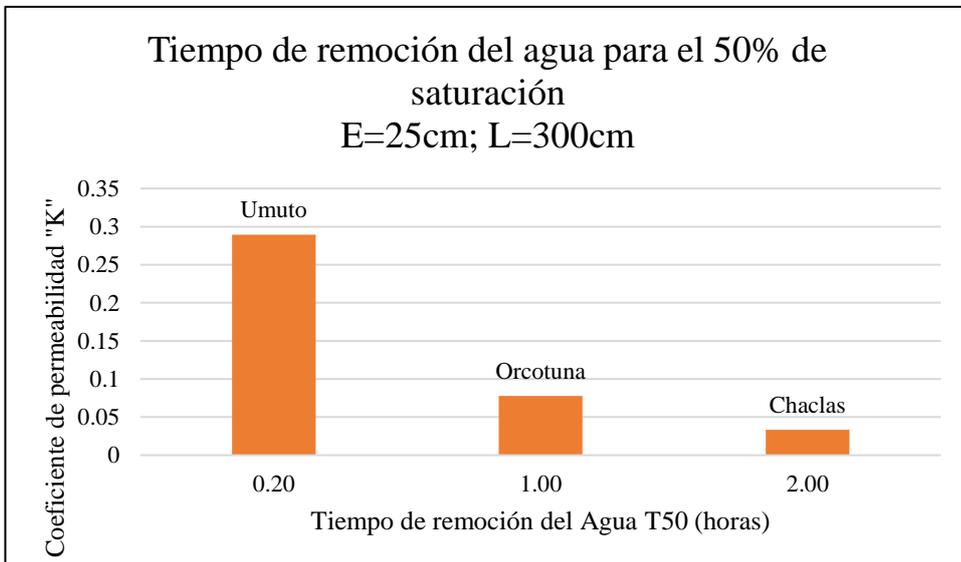
En las gráficas anteriores podemos apreciar los valores de tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación para un espesor de sub base de 20 cm y diferentes anchos de sub base como son: 2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m, y 4.00m, donde las mejores condiciones de permeabilidad se dan para la Cantera Umuto, siendo la Cantera de Chaclas la que presenta menores valores de coeficiente de permeabilidad.

Gráfico 16: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 2.70m)*



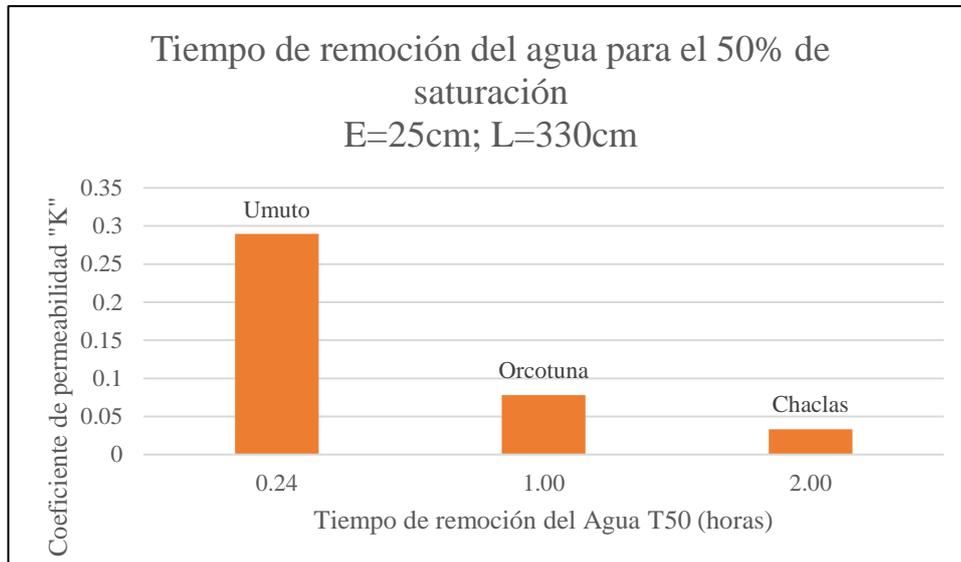
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 17: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.00m)*



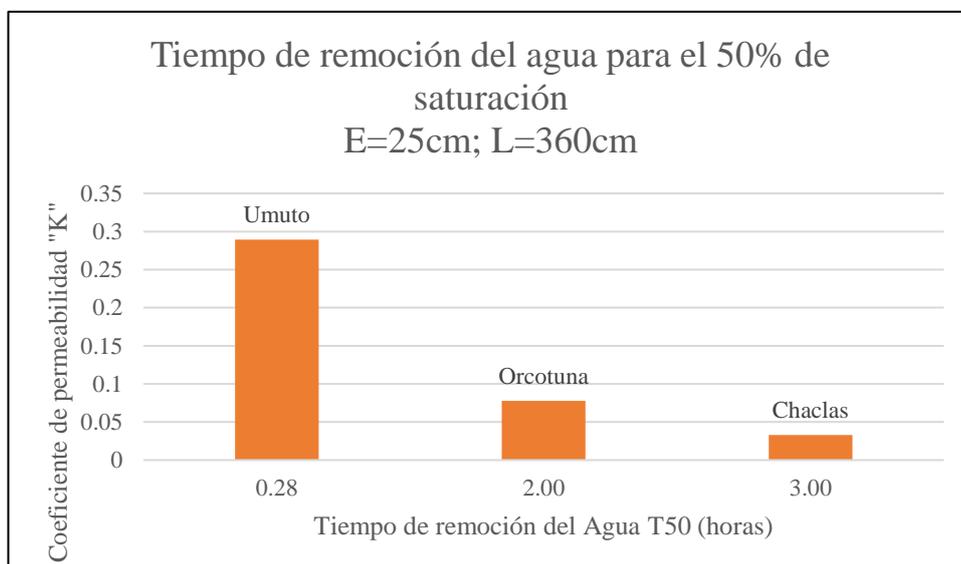
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 18: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.30m)*



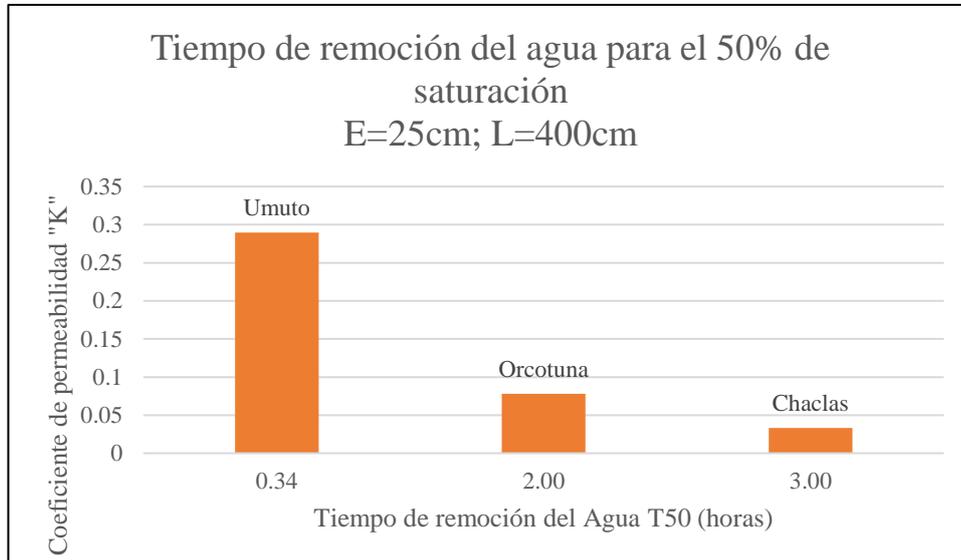
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 19: *Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.60m)*



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 20: Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 4.00m)



Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas anteriores podemos apreciar los valores de tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación para un espesor de sub base de 25 cm y diferentes anchos de sub base como son: 2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m, y 4.00m, donde las mejores condiciones de permeabilidad se dan para la Cantera Umuto, siendo la Cantera de Chaclas la que presenta menores valores de coeficiente de permeabilidad.

#### 5.1.4 Coeficiente de Drenaje Cd:

La metodología de diseño AASHTO 93, para el diseño de pavimentos rígidos, considera al Coeficiente de Drenaje Cd, como aquel parámetro que representa las características de drenaje de la sub base granular, cuyo valor depende del tiempo en que este material se encuentra expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación y del tiempo de remoción del agua.

En ese sentido, la metodología AASHTO 93 estipula tablas para la determinación de este parámetro, tanto para pavimentos flexibles como rígidos, siendo la siguiente para el último caso:

Tabla 52: Valores de Cd recomendados por la AASHTO para pavimentos rígidos

Cd	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre.	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		Menos a 1%	1 -5 %	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	2 horas	1,25 - 1,20	1,0 - 1,15	1,15 -1,10	1,10
Bueno	1 día	1,20 -1,15	1,15 -1,10	1,10 -1,00	1,00
Regular	1 semana	1,15 -1,10	1,10 -1,00	1,00 - 0,90	0,90
Pobre	1 mes	1,10 -1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Muy Pobre	Nunca	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Fuente: AASHTO 93.

Por lo tanto, en función a esta tabla, se han calculado los Coeficientes de Drenaje Cd, para cada espesor de sub base y ancho de carril descritos anteriormente:

Tabla 53: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 2.70m)

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.011	0.041	0.081
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.25	1.00	2.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Excelente
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.00m)

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.013	0.049	0.097
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.30	2.00	3.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coefficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.30m)

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.015	0.058	0.115
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.36	2.00	3.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coefficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 3.60m)

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.017	0.068	0.134
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.42	2.00	4.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coefficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.15m, ancho de carril = 4.00m)

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.021	0.081	0.160
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.50	2.00	4.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 2.70m)

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.008	0.033	0.064
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.20	1.00	2.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Excelente
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59: Cálculo del coeficiente de drenaje  $cd$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.00m)

CARACTERÍSTICAS DE LA BASE		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.010	0.039	0.078
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.24	1.00	2.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Excelente
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.30m)

CARACTERÍSTICAS DE LA BASE		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (n_e \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.012	0.047	0.092
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.29	2.00	3.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61: *Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub>*

*(espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 3.60m)*

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	t <sub>50</sub> (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.014	0.055	0.108
	t <sub>50</sub> (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.34	2.00	3.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido (Cd)	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62: *Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub>*

*(espesor de sub base = 0.20m, ancho de carril = 4.00m)*

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	t <sub>50</sub> (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.017	0.066	0.130
	t <sub>50</sub> (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.41	2.00	4.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido (Cd)	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63: Cálculo del coeficiente de drenaje cd para un t<sub>50</sub>

(espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 2.70m)

CARACTERÍSTICAS DE LA BASE		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	t <sub>50</sub> (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.007	0.027	0.053
	t <sub>50</sub> (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.17	1.00	2.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Excelente
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido (Cd)	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.00m)

CARACTERÍSTICAS DE LA BASE		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.008	0.033	0.065
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.20	1.00	2.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Excelente
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coefficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65: Cálculo del coeficiente de drenaje  $cd$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.30m)

Parámetros de Cálculo		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.010	0.039	0.077
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.24	1.00	2.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Excelente
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido (Cd)	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 3.60m)

CARACTERÍSTICAS DE LA BASE		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.012	0.046	0.090
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.28	2.00	3.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67: Cálculo del coeficiente de drenaje  $c_d$  para un  $t_{50}$

(espesor de sub base = 0.25m, ancho de carril = 4.00m)

CARACTERÍSTICAS DE LA BASE		Cantera Umuto	Cantera Orcotuna	Cantera Chaclas
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	$t_{50}$ (días) $t_{50} = (ne \times L^2) / (86,400(2K(H+SL)))$	0.014	0.055	0.109
	$t_{50}$ (horas) $t_{50}(\text{horas}) = t_{50}(\text{días}) \times 24$	0.34	2.00	3.00
Calificación de drenaje (calidad)	Relación entre el tiempo de remoción del agua y la calidad del drenaje de acuerdo al AASTHO 93	Excelente	Excelente	Bueno
Precipitación pluvial	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	5.21%	5.21%	5.21%
Coeficiente de drenaje pavimento rígido ( $C_d$ )	Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, se ha realizado el cálculo del Coeficiente de Drenaje Cd, para las tres canteras evaluadas, así como para diferentes espesores de sub base (0.15m, 0.20m y 0.25m) y diferentes anchos de sub base (2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60 y 4.00m), obteniéndose valores de 1.00 y de 1.10.

Habiéndose realizado el cálculo del Coeficiente de Drenaje Cd para el material de cada cantera en análisis, se ha podido apreciar que tanto la Cantera de Umuto como la de Orcotuna, presentan una calificación de drenaje de excelente, así como, el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación, se encuentra en el intervalo entre 5-25%, teniéndose, por lo tanto, un valor de Cd entre 1.15 y 1.10. Se asumirá un valor de 1.10, a fin de dotar a nuestro parámetro de cierto factor de seguridad.

Esto se puede apreciar con mayor claridad, en las siguientes tablas realizadas para cada una de las canteras evaluadas:

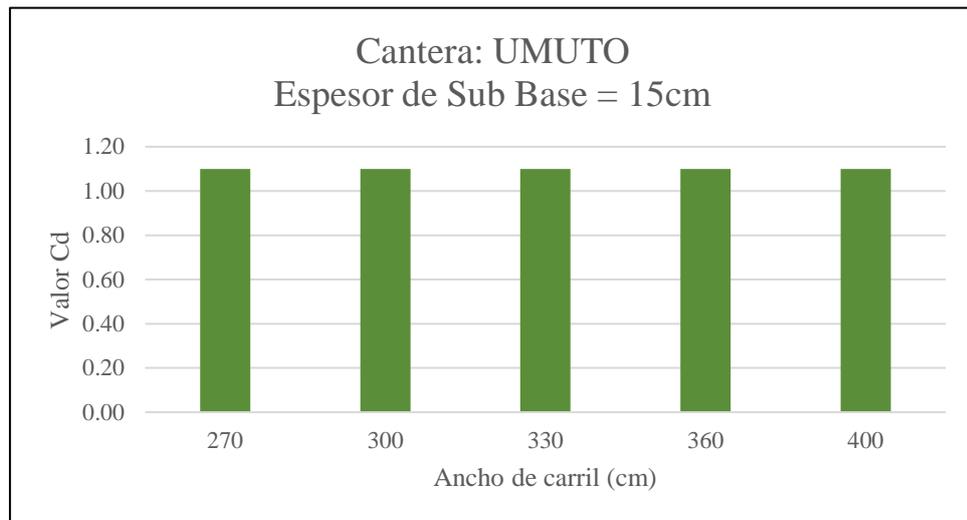
Tabla 68: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Umuto

Cantera	Umuto														
	Espesor = 15 cm					Espesor = 20 cm					Espesor = 25 cm				
Espesor de Sub Base															
Ancho de Carril (cm)	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400
Precipitación Pluvial (%)	5.21					5.21					5.21				
Coefficiente de Permeabilidad	0.289444					0.289444					0.289444				
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (horas)	0.25	0.30	0.36	0.42	0.50	0.20	0.24	0.29	0.34	0.41	0.17	0.20	0.24	0.28	0.34
Calificación del Drenaje	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Coefficiente de Drenaje (Cd)	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>
Promedio (Cd)	<b>1.10</b>					<b>1.10</b>					<b>1.10</b>				

Fuente: Elaboración propia.

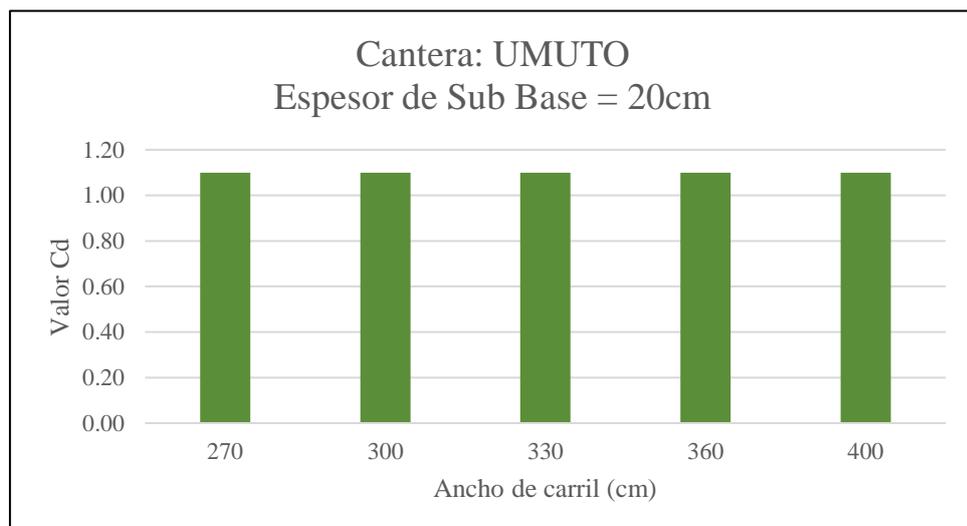
En la tabla anterior podemos apreciar que para la Cantera de Umuto, se tiene un Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.10 para los diferentes espesores de sub base (15cm, 20cm y 25cm) y diferentes anchos de capa de sub base (2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m y 4.00m).

Gráfico 21: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Umuto (Espesor de Sub Base = 0.15m)



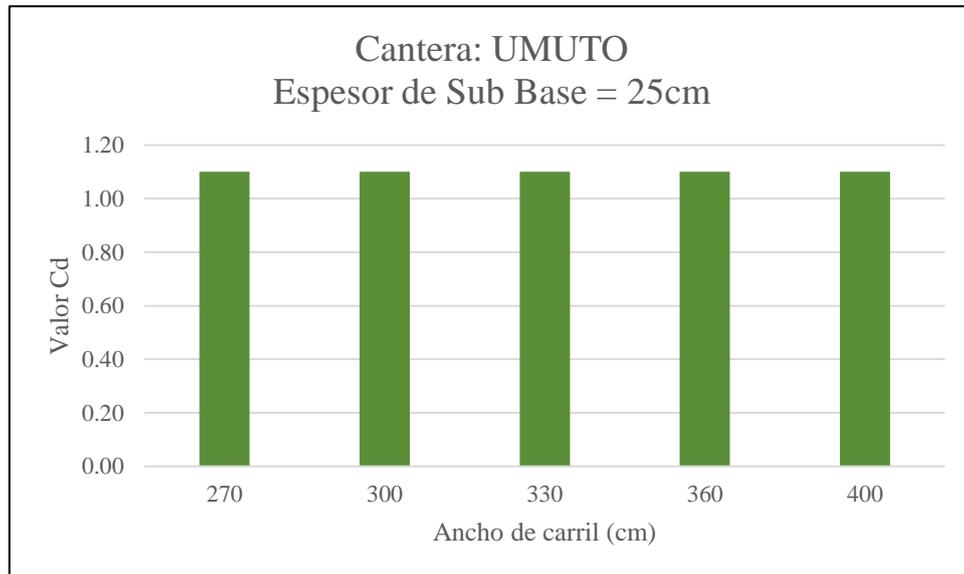
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 22: Resumen del Cálculo del Cd – Cantera Umuto (Espesor de Sub Base = 0.20m)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 23: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Umuto (Espesor de Sub Base = 0.25m)



Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas anteriores podemos apreciar que para la Cantera de Umuto, se tiene un Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.10 para los diferentes espesores de sub base (15cm, 20cm y 25cm) y diferentes anchos de capa de sub base (2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m y 4.00m).

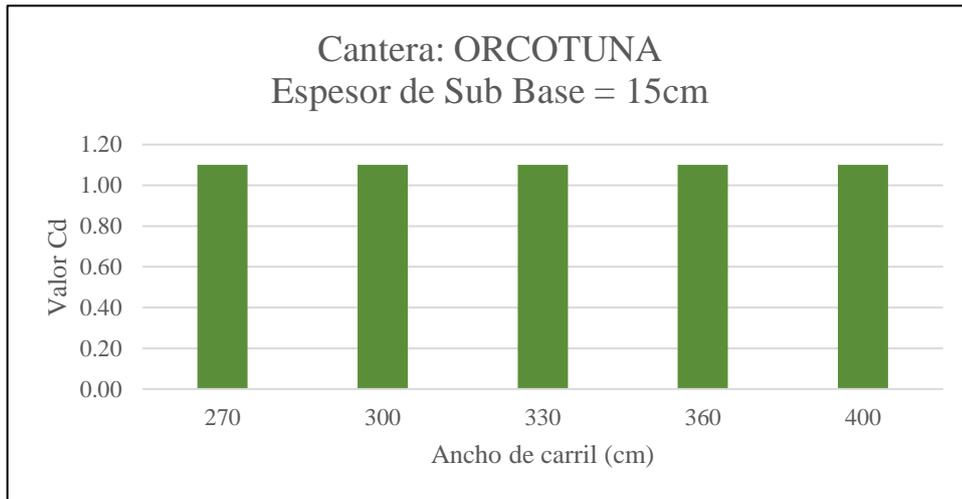
Tabla 69: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna

Cantera	Orcotuna														
	Espesor = 15 cm					Espesor = 20 cm					Espesor = 25 cm				
Espeor de Sub Base															
Ancho de Carril (cm)	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400
Precipitación Pluvial (%)	5.21					5.21					5.21				
Coefficiente de Permeabilidad	0.077841					0.077841					0.077841				
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (horas)	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
Calificación del Drenaje	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Promedio (Cd)	1.10					1.10					1.10				

Fuente: Elaboración propia.

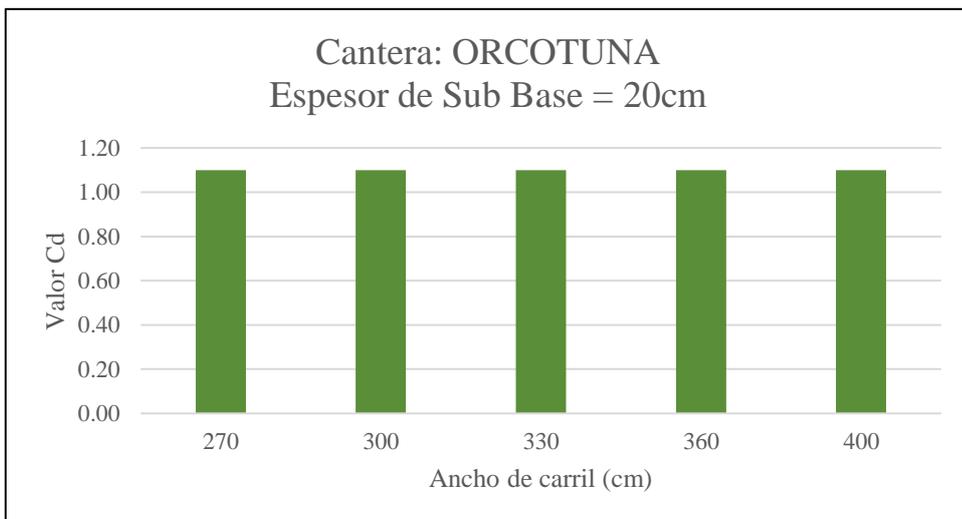
En la tabla anterior podemos apreciar que para la Cantera de Orcotuna, se tiene un Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.10 para los diferentes espesores de sub base (15cm, 20cm y 25cm) y diferentes anchos de capa de sub base (2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m y 4.00m).

Gráfico 24: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna (Espesor de Sub Base = 0.15m)



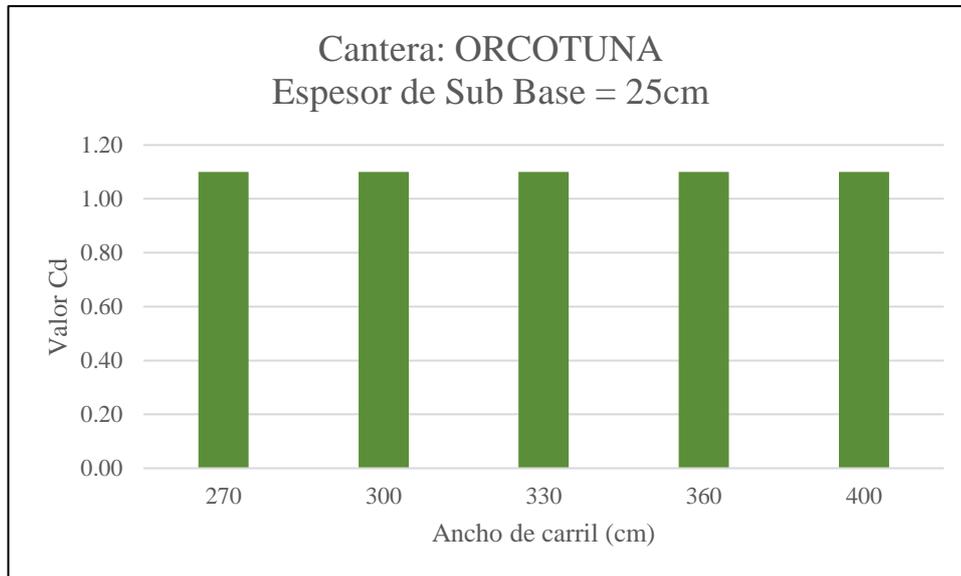
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 25: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna (Espesor de Sub Base = 0.20m)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 26: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Orcotuna (Espesor de Sub Base = 0.25m)



Fuente: Elaboración propia

En las gráficas anteriores podemos apreciar que para la Cantera de Orcotuna, se tiene un Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.10 para los diferentes espesores de sub base (15cm, 20cm y 25cm) y diferentes anchos de capa de sub base (2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m y 4.00m).

En cuanto al cálculo del Coeficiente de Drenaje Cd para el material de la Cantera Chaclas, presenta una calificación de drenaje de excelente, para los menores anchos de carril, reduciéndose a la calificación de bueno, a medida que el ancho del carril aumenta, por lo que, de acuerdo al porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación, el cual se encuentra en el intervalo entre 5-25%, teniéndose, por la calidad de excelente, el valor de Cd entre 1.15 y 1.10, y cuando la calidad es buena, el valor de Cd se encuentra entre 1.10 y 1.00. Se asumirá un valor de 1.10 y de 1.00, respectivamente a fin de dotar a nuestro parámetro de cierto factor de seguridad. Esto se puede apreciar a continuación:

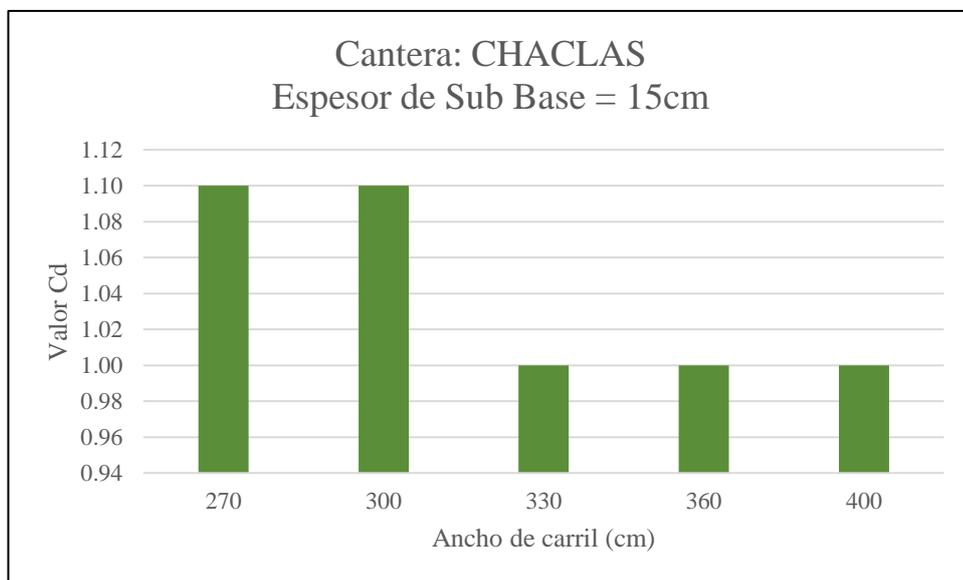
Tabla 70: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas

Cantera	Chaclas														
	Espesor = 15 cm					Espesor = 20 cm					Espesor = 25 cm				
Espeor de Sub Base															
Ancho de Carril (cm)	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400
Precipitación Pluvial (%)	5.21					5.21					5.21				
Coefficiente de Permeabilidad	0.033124					0.033124					0.033124				
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (horas)	2	3	3	4	4	2	2	3	3	4	2	2	2	3	3
Calificación del Drenaje	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente	Excelente	Excelente	Bueno	Bueno
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.00	1.00
Promedio (Cd)	1.02					1.04					1.06				

Fuente: Elaboración propia.

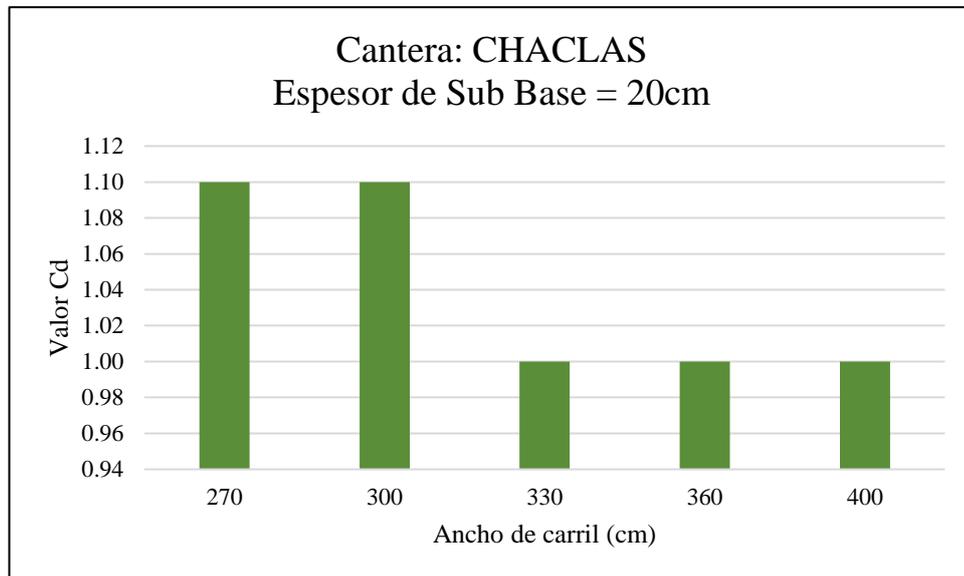
En la tabla anterior podemos apreciar que para la Cantera de Chaclas, se tiene un Coeficiente de Drenaje Cd entre 1.00 y 1.10 para los diferentes espesores de sub base (15cm, 20cm y 25cm) y diferentes anchos de capa de sub base (2.70m, 3.00m, 3.30m, 3.60m y 4.00m). Se considerará un valor de Cd de 1.00 para esta cantera.

Gráfico 27: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas (Espesor de Sub Base = 0.15m)



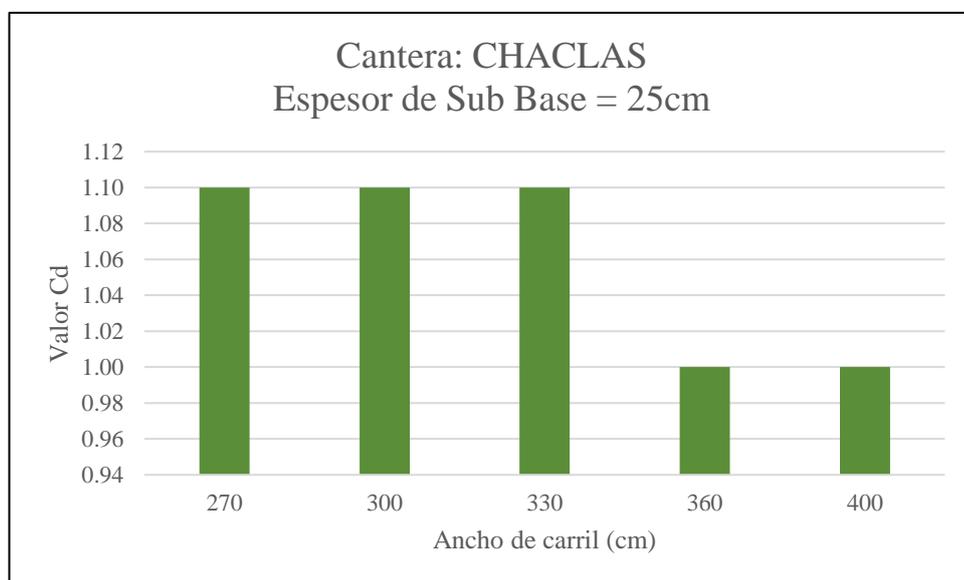
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 28: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas (Espesor de Sub Base = 0.20m)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 29: Resumen del cálculo del Cd – Cantera Chaclas (Espesor de Sub Base = 0.25m)



Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas anteriores podemos apreciar que para la Cantera de Chaclas, se tiene un Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.00 para anchos de sub

base de 2.70 y 3.00m y un valor de Cd igual 1.10 para anchos de sub base de 3.60m y 4.00m.

Del análisis realizado, se ha podido determinar que esta diferencia de los valores entre canteras, se debe a los diferentes valores de coeficiente de permeabilidad (K) que presentan, notándose que, a mayor valor de este coeficiente, será menor el tiempo de remoción del agua. Asimismo, podemos apreciar que el valor del coeficiente de permeabilidad se encuentra en función del diámetro nominal  $D_{10}$  propio de las características granulométricas del material de sub base, donde a mayor valor de  $D_{10}$ , será menor el tiempo de drenaje, tal como se aprecia a continuación:

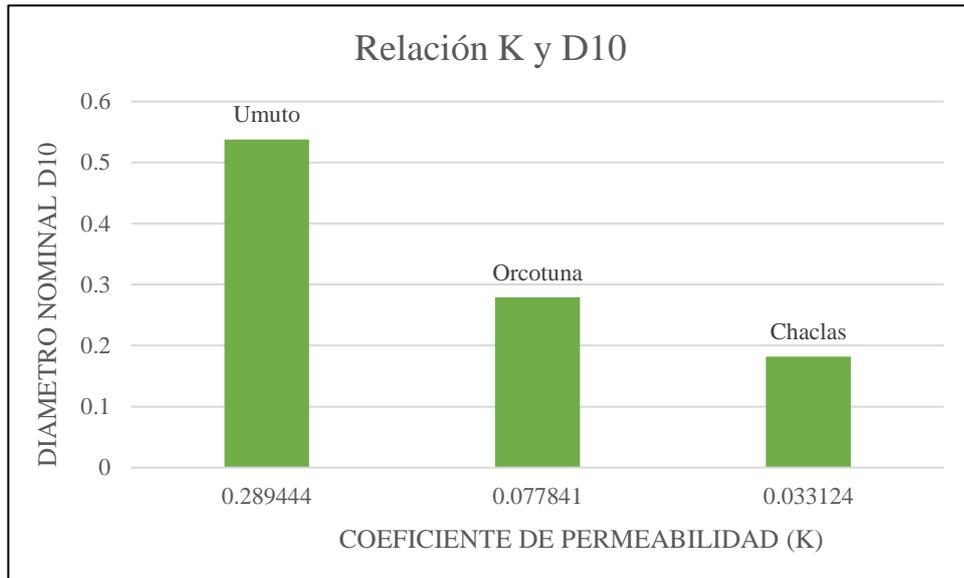
Tabla 71: *Coefficientes de permeabilidad por cantera*

<b>PARÁMETROS DE LA SUB BASE</b>	<b>Cantera Umuto</b>	<b>Cantera Orcotuna</b>	<b>Cantera Chaclas</b>
D10 Sub base (mm)	0.538	0.279	0.182
Coefficiente de permeabilidad (K)	0.289444	0.077841	0.033124

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior podemos apreciar los diferentes valores de coeficiente de permeabilidad para las tres canteras evaluadas, notándose que la Cantera de Umuto presenta el mayor valor, lo que indica que presentará un menor tiempo para el drenaje del agua, por otro lado, la Cantera de Chaclas presenta el menor valor, lo que indica que requerirá de mayor tiempo que la Cantera de Umuto para el drenaje del agua.

Gráfico 30: *Relación coeficiente de permeabilidad y diámetro nominal D<sub>10</sub>*



Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior podemos apreciar que existe una relación entre el diámetro nominal D<sub>10</sub> y el Coeficiente de Permeabilidad K, a mayor valor de D<sub>10</sub>, mayor será el valor del Coeficiente de Permeabilidad K.

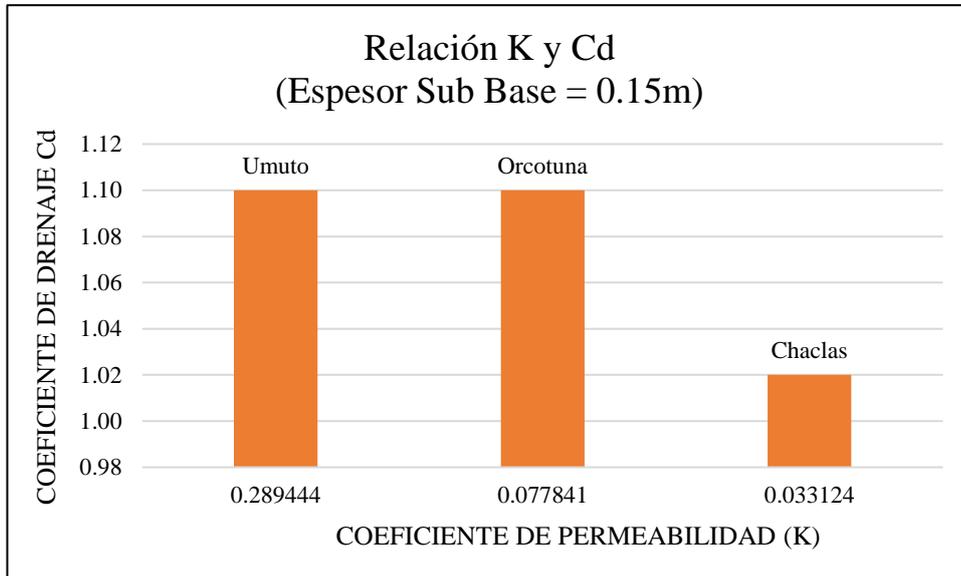
Tabla 72: *Relación entre el coeficiente de permeabilidad k y el coeficiente de drenaje Cd*

Cantera	Coeficiente de Permeabilidad K	Promedio Cd para cada espesor de Sub Base		
		Espesor = 15 cm	Espesor = 20 cm	Espesor = 25 cm
Umuto	0.289444	1.10	1.10	1.10
Orcotuna	0.077841	1.10	1.10	1.10
Chaclas	0.033124	1.02	1.04	1.06

Fuente: Elaboración propia.

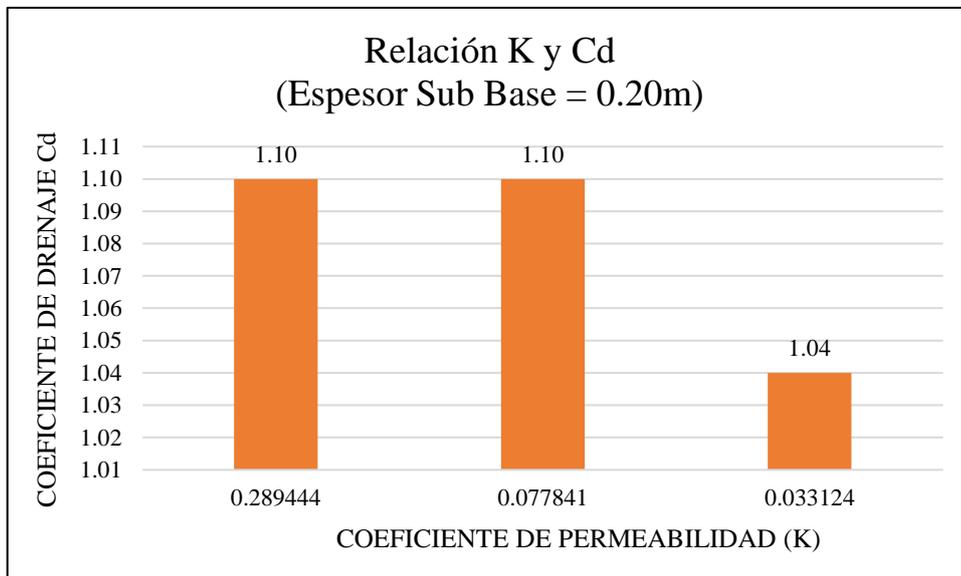
De la tabla anterior se puede apreciar la relación entre el valor del Coeficiente de Permeabilidad K y el Coeficiente de Drenaje Cd, a mayor valor de K, será mayor el valor de Cd.

Gráfico 31: *Relación entre el coeficiente de permeabilidad k y el coeficiente de drenaje cd (espesor de sub base = 0.15m)*



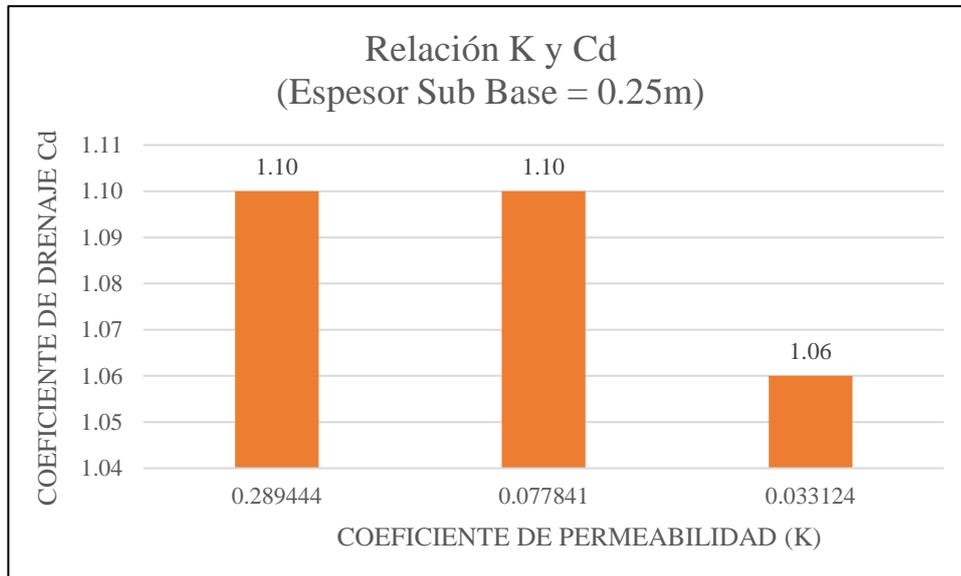
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 32: *Relación entre el coeficiente de permeabilidad k y el coeficiente de drenaje cd (espesor de sub base = 0.20m)*



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 33: Relación entre el coeficiente de permeabilidad  $k$  y el coeficiente de drenaje  $c_d$  (espesor de sub base = 0.25m)

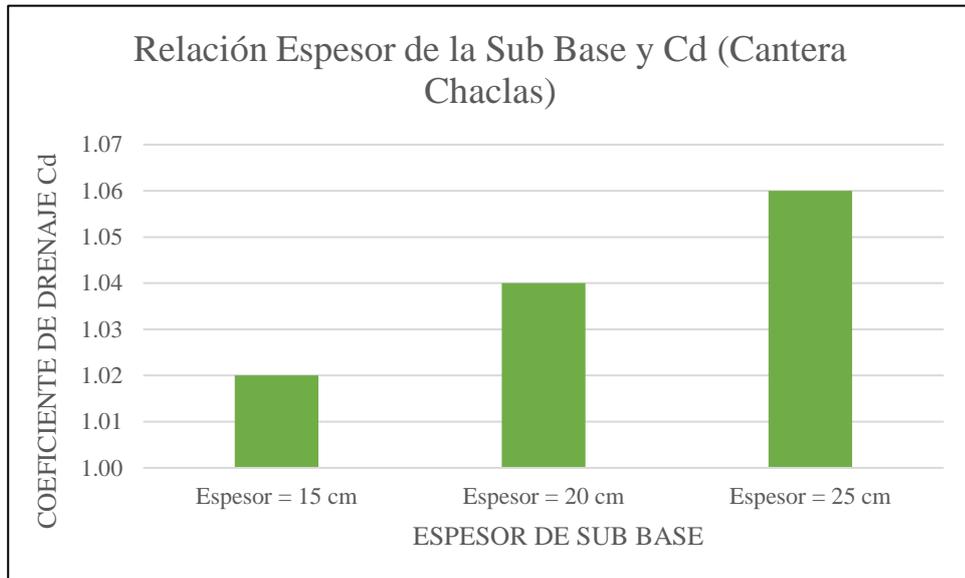


Fuente: Elaboración propia.

De los gráficos anteriores podemos apreciar la relación entre el valor del Coeficiente de Permeabilidad  $K$  y el Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , a mayor valor de  $K$ , será mayor el valor de  $C_d$ .

Asimismo, se ha podido apreciar que el valor del Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , también depende del espesor de la capa de Sub Base, donde a menor espesor de la Sub Base, será menor el valor del Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , esto se aprecia claramente con los valores de la Cantera de Chaclas, como se muestra a continuación:

Gráfico 34: *Relación entre el espesor de sub base y el coeficiente de drenaje cd.*



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior podemos apreciar la relación que existe entre el espesor de la sub base y el Coeficiente de Drenaje Cd, a menor espesor de la sub base se tendrá un menor valor de Cd.

Por lo tanto, los valores del Coeficiente de Drenaje Cd, para las canteras de material analizadas, de acuerdo a los espesores de la sub base serán los siguientes:

Tabla 73: *Coficiente de drenaje cd para la cantera Umuto.*

<b>Cantera</b>	<b>Umuto</b>														
Espesor de Sub Base	<b>Espesor = 15 cm</b>					<b>Espesor = 20 cm</b>					<b>Espesor = 25 cm</b>				
Ancho de Carril (cm)	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400
<b>Coficiente de Drenaje (Cd)</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74: *Coficiente de Drenaje Cd para la Cantera Orcotuna.*

<b>Cantera</b>	<b>Orcotuna</b>														
Espesor de Sub Base	<b>Espesor = 15 cm</b>					<b>Espesor = 20 cm</b>					<b>Espesor = 25 cm</b>				
Ancho de Carril (cm)	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400
<b>Coficiente de Drenaje (Cd)</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75: *Coficiente de Drenaje Cd para la Cantera Chaclas.*

<b>Cantera</b>	<b>Chaclas</b>														
Espesor de Sub Base	<b>Espesor = 15 cm</b>					<b>Espesor = 20 cm</b>					<b>Espesor = 25 cm</b>				
Ancho de Carril (cm)	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400	270	300	330	360	400
<b>Coficiente de Drenaje (Cd)</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.5 Diseño de Pavimento Rígido y Coeficiente de Drenaje Cd:

A fin de determinar cuál es la relación que existe entre la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos y el Coeficiente de Drenaje Cd, se ha procedido a realizar los diseños de pavimento rígido, utilizando un valor de Cd igual a 1.10, tal como los cálculos realizados lo han determinado, a fin de compararlo con el valor de Coeficiente de Drenaje utilizado en 5 de los principales proyectos viales actualmente en el distrito de Chilca, lo cuales son:

Tabla 76: Principales proyectos viales en el distrito de Chilca, Huancayo.

Nro.	Nombre del Proyecto	Código Único de Inversiones	Unidad Ejecutora de Inversiones
1	MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DE LA AV. PRÓCERES TRAMO: CANAL CIMIR - AV. PANAMERICANA SUR DEL, DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO – JUNÍN	2329654	Municipalidad Distrital de Chilca
2	MEJORAMIENTO DE PISTAS Y VEREDAS DE LA AV. JACINTO IBARRA TRAMO: RÍO CHILCA – AV. LEONCIO PRADO, DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO - JUNÍN	2450698	Municipalidad Distrital de Chilca
3	MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL JR. 28 DE JULIO, JR. A. B. LEGUÍA; JR. JORGE BASADRE; JR. PARAÍSO; JR. UNIÓN; JR. AREQUIPA; Y PASAJES: VEGA, C. ALEGRÍA, ROMANCOTO, COCHARCAS, ANDAMAYO, LOS INCAS, GUTARRA Y 14 DE FEBRERO, SECTOR PROGRESO DEL, DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO - JUNÍN	2098214	Municipalidad Distrital de Chilca
4	MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL JR. INTEGRACIÓN TRAMO: JR. HUMBOLDT - RIO AHALÍ; JR. SUCRE TRAMO: JR. PROGRESO – JR. PRECURSORES Y PASAJES: ANDRÉS A. CÁCERES, SAN GABRIEL, SIMÓN BOLÍVAR, JOSÉ SÁNCHEZ CARRIÓN, SAN PABLO, SAN PEDRO, BONILLA, ORELLANA, SAN MIGUEL, COLLASUYO Y ANTISUYO DEL DISTRITO DE CHILCA - PROVINCIA DE HUANCAYO - REGIÓN JUNÍN	2402065	Municipalidad Distrital de Chilca
5	MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DEL JR. LOS INCAS TRAMO: PUENTE OCOPILLA - PJE. MENDOZA Y PASAJES ADYACENTES DEL SECTOR SAN FERNANDO DEL DISTRITO DE CHILCA - PROVINCIA DE HUANCAYO - DEPARTAMENTO DE JUNÍN	2414429	Municipalidad Distrital de Chilca

Fuente: Gerencia de Obras Públicas de la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo.

En la tabla anterior podemos apreciar la relación de los 5 principales proyectos viales que contemplan un pavimento rígido, en los cuales, de acuerdo a la información obtenida de la Gerencia de Obras Públicas de la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo, el valor de Coeficiente de Drenaje  $C_d$  utilizado en los diseños de pavimentos rígidos, es de 1.00.

En ese sentido, habiéndose determinado en esta investigación que el valor del Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , es de 1.10, se ha procedido a realizar el diseño de pavimento rígido con este valor, a fin de comparar los diseños y determinar cuál es la incidencia de este parámetro.

A continuación, se muestran los parámetros de diseño utilizados y los espesores de capas de sub base y losas de concreto hidráulico calculados, para los 05 proyectos, tanto para un  $C_d=1.00$  y un  $C_d=1.10$ :

Tabla 77: Resumen de diseño de pavimentos rígidos con la metodología AASHTO 93

Parámetros de Diseño	Av. Próceres		Av. Jacinto Ibarra		Jr. 28 de Julio		Jr. Integración		Jr. Los Incas	
W8.2 =	2,640,206.63	2,640,206.63	4,011,876.59	4,011,876.59	1,980,654.65	1,980,654.65	1,469,357.58	1,469,357.58	2,106,358.45	2,106,358.45
CBR =	7.33	7.33	40.00	40.00	6.20	6.20	6.03	6.03	8.67	8.67
Zr =	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04	-1.04
So=	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
$\Delta$ PSI =	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Pt =	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Mr =	3.33	3.33	3.92	3.92	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33
f <sub>c</sub> =	210.00	210.00	280.00	280.00	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
<b>Cd =</b>	<b>1.00</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.10</b>
J =	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
E <sub>c</sub> =	21,461.18	21,461.18	24,781.23	24,781.23	21,461.18	21,461.18	21,461.18	21,461.18	21,461.18	21,461.18
K =	54.30	54.30	125.40	125.40	50.20	50.20	49.60	49.60	58.90	58.90
<b>Espesor Sub Base (cm)</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>	<b>15.00</b>
<b>Espesor Losa Concreto (cm)</b>	<b>25.00</b>	<b>21.00</b>	<b>22.50</b>	<b>19.00</b>	<b>22.50</b>	<b>20.00</b>	<b>20.00</b>	<b>19.00</b>	<b>25.00</b>	<b>20.00</b>

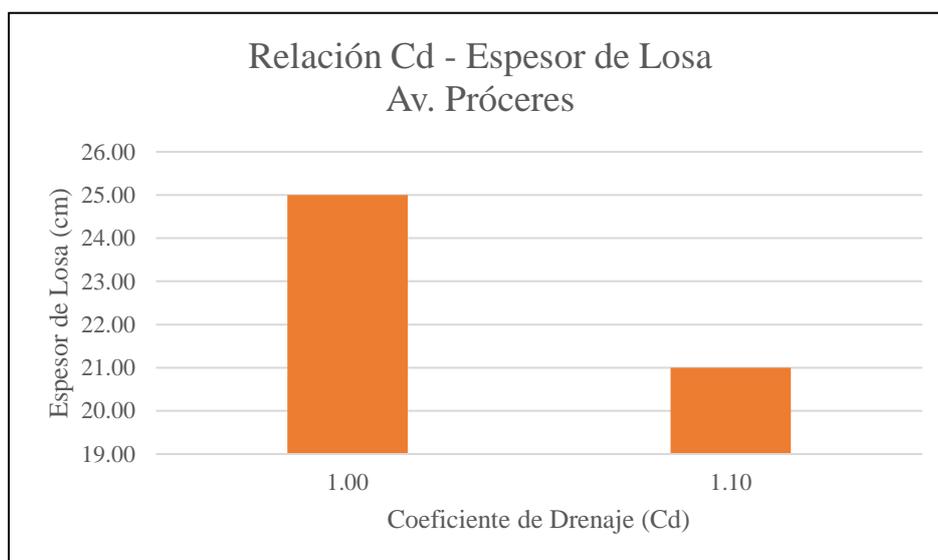
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior podemos apreciar el resumen de valores de diseños de pavimentos rígidos, para cada uno de los 5 proyectos, habiéndose utilizado los mismos parámetros de diseño, salvo el Coeficiente de Drenaje Cd, lo que ha conllevado a obtenerse diferentes espesores de losa de concreto.

Por lo tanto, en base a los valores de los diseños de pavimentos rígidos obtenidos, podemos concluir la siguiente relación: a mayor valor del Coeficiente de Drenaje Cd, el espesor de la losa de concreto hidráulico se reduce.

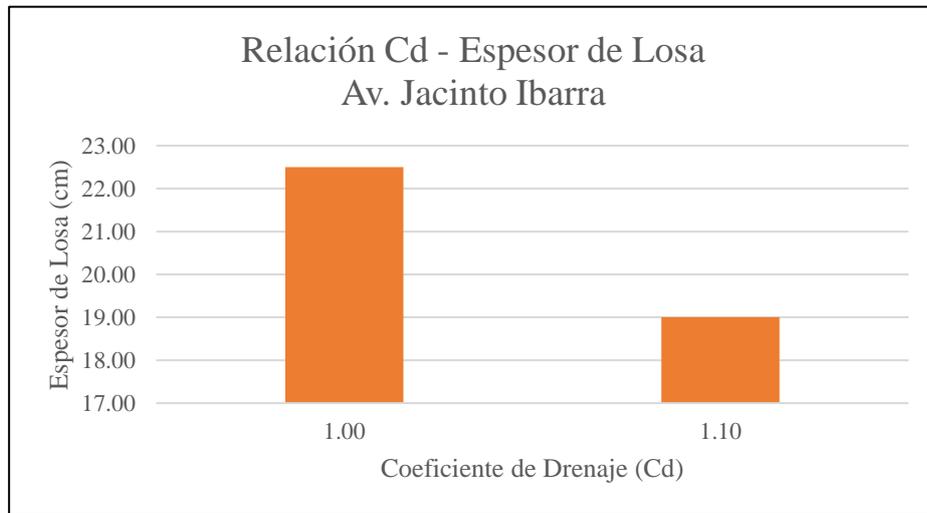
A continuación, se presentan los siguientes gráficos que muestran la relación del Coeficiente de Drenaje Cd y el espesor de losa de concreto hidráulico obtenida en el diseño de pavimentos rígidos:

Gráfico 35: *Relación Cd – Espesor de losa de concreto hidráulico (Av. Los Próceres)*



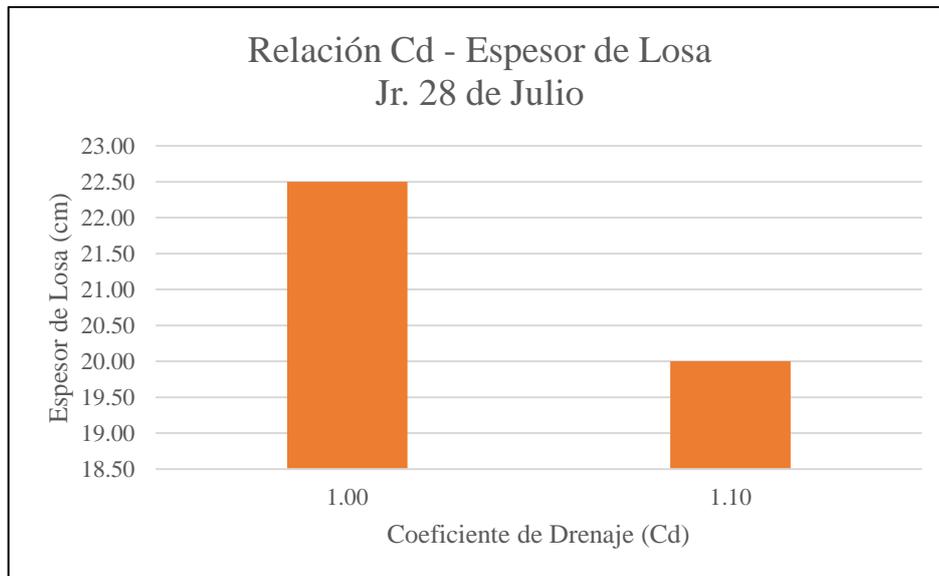
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 36: Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Av. Jacinto Ibarra)



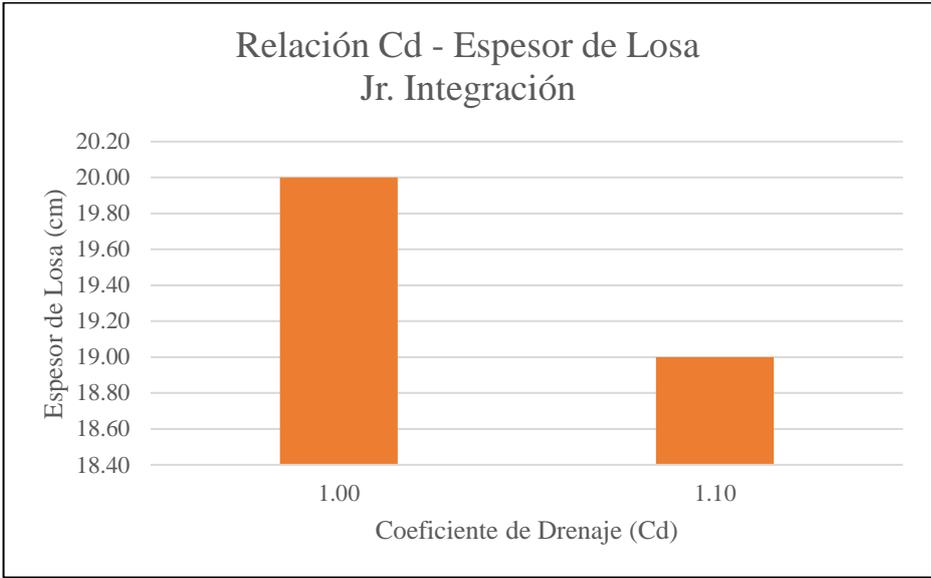
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 37: Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Jr. 28 de Julio)



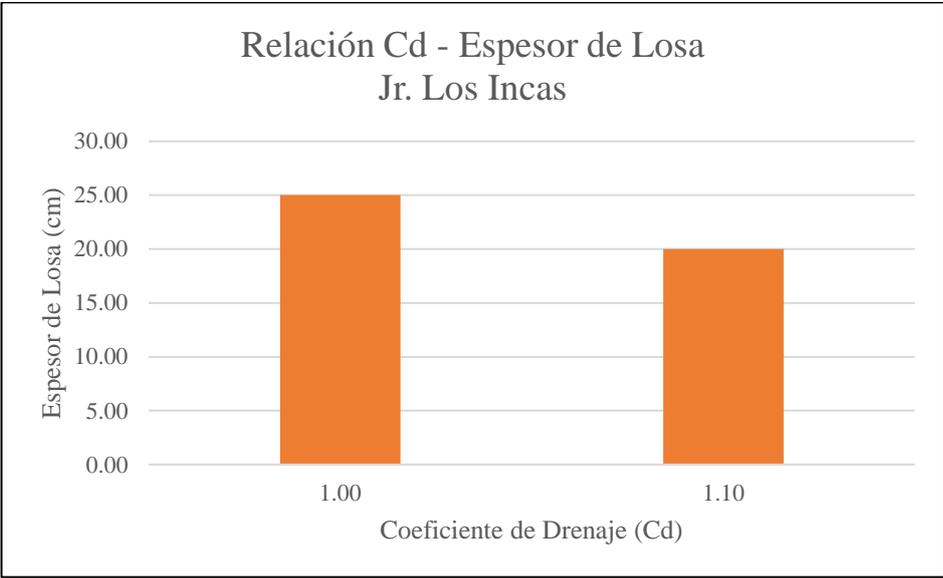
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 38: *Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Jr. Integración)*



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 39: *Relación Cd – espesor de losa de concreto hidráulico (Jr. Los Incas)*



Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas anteriores podemos verificar la relación que existe entre el Coeficiente de Drenaje Cd y el espesor de la losa de concreto hidráulico, apreciándose claramente que, a mayor valor de Cd, será menor el espesor de la losa.

En ese sentido, a fin de determinar el efecto de esta diferencia de espesores de la losa de concreto hidráulico del pavimento rígido, se ha cuantificado económicamente esta variación, para lo cual se ha determinado el precio unitario para una resistencia a la compresión del concreto premezclado  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y para un  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, las cuales han sido utilizadas en los proyectos mencionados anteriormente, de acuerdo a la información recabada de la Gerencia de Obras Públicas de la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo, indicándose que los precios incluyen el Impuesto General a las Ventas (IGV).

Tabla 78: *Análisis de precios unitarios para concreto premezclado  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>*

Partida	CONCRETO PREMEZCLADO FC=210 KG/CM2 EN PAVIMENTO RÍGIDO				
Rendimiento (m2/DÍA)	MO. 60.0000	EQ. 60.0000		Costo unitario directo por : m2 339.51	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1.0000	0.1333	22.92	3.06
OFICIAL	hh	1.0000	0.1333	18.13	2.42
PEÓN	hh	2.0000	0.2667	16.37	4.37
					<b>9.85</b>
<b>Materiales</b>					
CONCRETO PREMEZCLADO FC=210 KG/CM2	m3		1.0300	320.00	329.60
					<b>329.60</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.96	0.06
					<b>0.06</b>

Fuente: Elaboración propia en función a información proporcionada por la GOP-

MDCH.

Tabla 79: Análisis de precios unitarios para concreto premezclado  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$

CONCRETO PREMEZCLADO FC=280 KG/CM2 EN PAVIMENTO RÍGIDO					
Partida	MO. 60.0000		EQ. 60.0000		
Rendimiento (m2/DÍA)					Costo unitario directo por : m2 <b>401.31</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1.0000	0.1333	22.92	3.06
OFICIAL	hh	1.0000	0.1333	18.13	2.42
PEÓN	hh	2.0000	0.2667	16.37	4.37
					<b>9.85</b>
<b>Materiales</b>					
CONCRETO PREMEZCLADO FC=280 KG/CM2	m3		1.0300	380.00	391.40
					<b>391.40</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.96	0.06
					<b>0.06</b>

Fuente: Elaboración propia en función a información proporcionada por la GOP-

MDCH.

En los cuadros anteriores podemos apreciar el precio unitario para concreto premezclado  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , utilizados en los expedientes técnicos de los proyectos evaluados, los cuales son  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  (S/ 339.51) y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  (S/ 401.31)

Conociéndose el costo por metro cúbico (S/) para cada resistencia a la compresión del concreto, se ha procedido a determinar la diferencia de costos entre los diferentes espesores de losas obtenidos al utilizar un Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.10 (valor obtenido en la investigación) o igual a 1.00 (valor utilizado en los proyectos de la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo), como se aprecia a continuación:

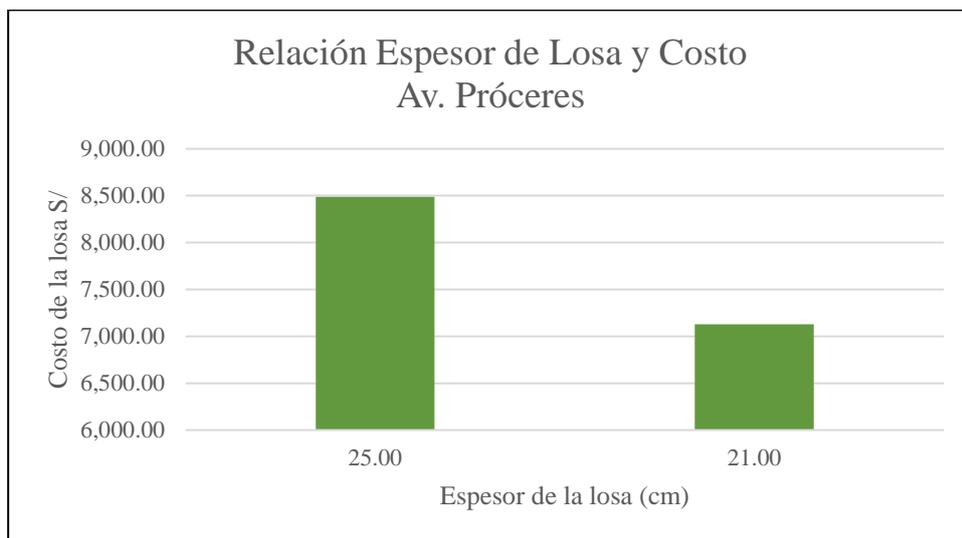
Tabla 80: Comparativo de costos para diferentes espesores de losas de concreto hidráulico en función del coeficiente de drenaje Cd.

Parámetros de Diseño	Av. Próceres		Av. Jacinto Ibarra		Jr. 28 de Julio		Jr. Integración		Jr. Los Incas	
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	210	210	280	280	210	210	210	210	210	210
Coeficiente de Drenaje (Cd)	1.00	1.10	1.00	1.10	1.00	1.10	1.00	1.10	1.00	1.10
Espesor Losa (cm)	25.00	21.00	22.50	19.00	22.50	20.00	20.00	19.00	25.00	20.00
Costo Unitario por m <sup>3</sup> (S/)	339.51	339.51	401.31	401.31	339.51	339.51	339.51	339.51	339.51	339.51
Costo Total (S/)	8,487.72	7,129.68	9,029.45	7,624.87	7,638.95	6,790.18	6,790.18	6,450.67	8,487.72	6,790.18
<b>Diferencia (S/)</b>	<b>1,358.04</b>		<b>1,404.58</b>		<b>848.77</b>		<b>339.51</b>		<b>1,697.54</b>	
Porcentaje (%)	84.00%		84.44%		88.89%		95.00%		80.00%	
<b>Diferencia en Porcentaje (%)</b>	<b>-16.00%</b>		<b>-15.56%</b>		<b>-11.11%</b>		<b>-5.00%</b>		<b>-20.00%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

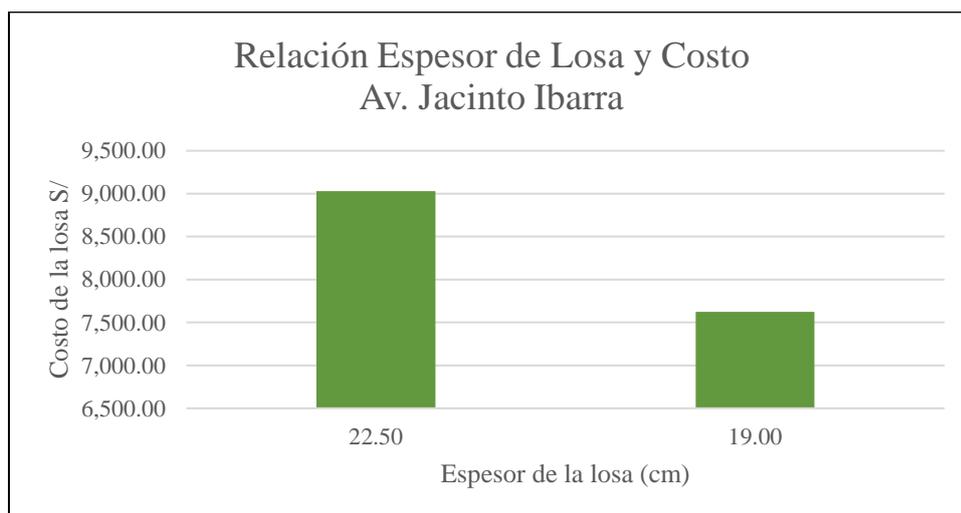
En la tabla anterior podemos apreciar la diferencia de costos que produce la utilización del  $Cd=1.10$ , al obtenerse menores espesores de losa de concreto hidráulico, se reducirán los costos de ejecución de obra.

Gráfico 40: *Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Av. Próceres)*



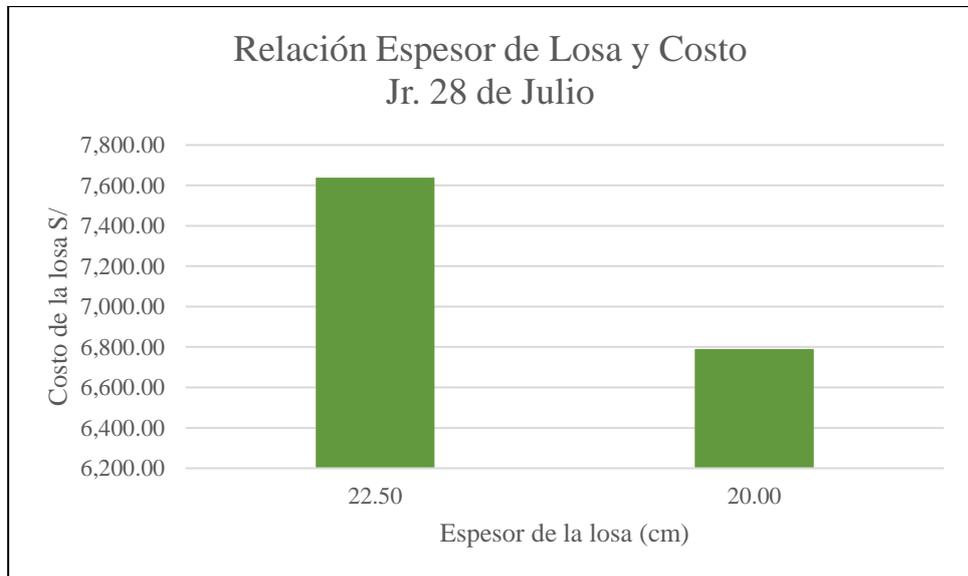
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 41: *Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Av. Jacinto Ibarra)*



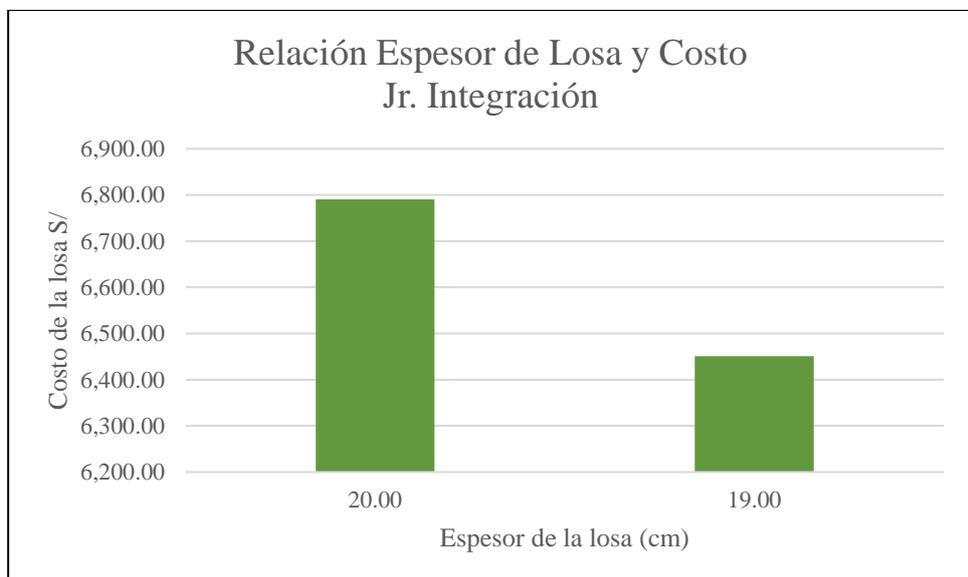
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 42: *Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Jr. 28 de Julio)*



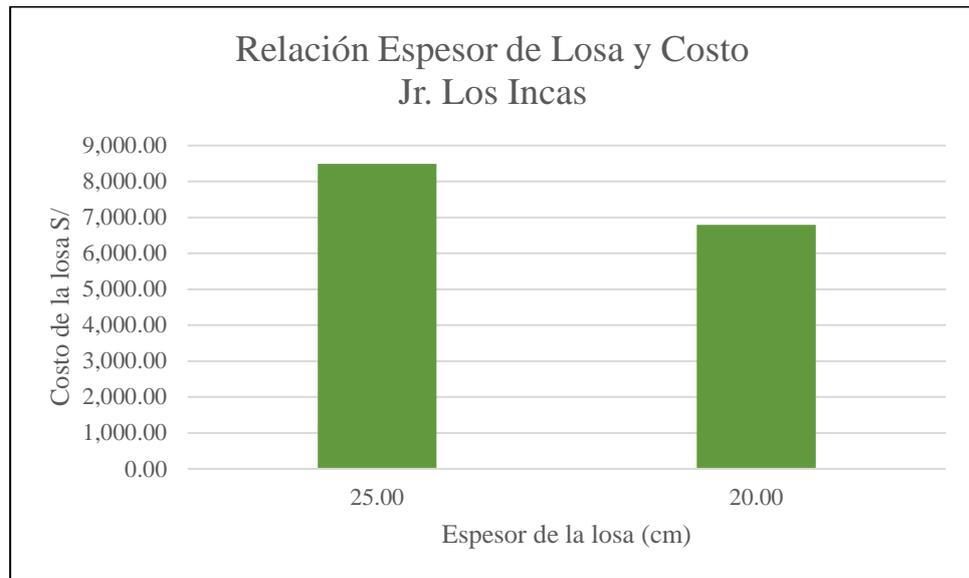
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 43: *Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Jr. Integración)*



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 44: *Relación entre el espesor de losa y el costo de ejecución (Jr. Los Incas)*



Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas anteriores podemos apreciar que cuanto mayor es el espesor de la losa de concreto hidráulico, el costo de ejecución será mayor.

Por lo tanto, como se ha podido apreciar, el Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , para el diseño de pavimentos rígidos por la metodología del AASHTO 93, incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico, donde a mayor espesor de la losa, será mayor el costo de ejecución del proyecto.

Tabla 81: *Relación entre el coeficiente de drenaje Cd y el costo de ejecución*

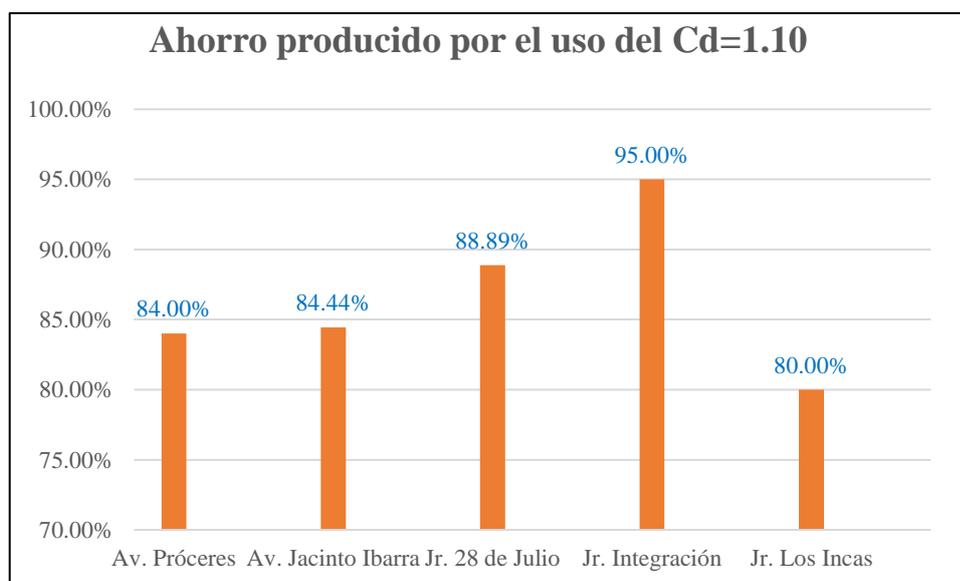
<b>Parámetros de Diseño</b>	<b>Av. Próceres</b>		<b>Av. Jacinto Ibarra</b>		<b>Jr. 28 de Julio</b>		<b>Jr. Integración</b>		<b>Jr. Los Incas</b>	
Cd =	1.00	1.10	1.00	1.10	1.00	1.10	1.00	1.10	1.00	1.10
Espesor Losa (cm)	25.00	21.00	22.50	19.00	22.50	20.00	20.00	19.00	25.00	20.00
Porcentaje (%)	84.00%		84.44%		88.89%		95.00%		80.00%	
Diferencia en Porcentaje (%)	-16.00%		-15.56%		-11.11%		-5.00%		-20.00%	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior podemos apreciar el porcentaje de ahorro que se produce al utilizarse un  $Cd=1.10$ , teniéndose para la Av. Próceres un 16% de ahorro, Av. Jacinto Ibarra un 15.56% de ahorro, Jr. 28 de Julio un 11.11% de ahorro, Jr. Integración un 5.00% de ahorro y Jr. Los Incas un 20.00% de ahorro.

En ese sentido, al haberse utilizado un Coeficiente de Drenaje  $Cd=1.00$  en los proyectos realizados por la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo, se tiene un mayor costo para su ejecución, que de haberse utilizado el valor de Coeficiente de Drenaje  $Cd=1.10$ , obtenido en la presente investigación, lo cual incide directamente en el ahorro de recursos del Estado, asegurando la calidad del diseño de pavimento rígido proyectado.

Gráfico 45: Ahorro en costos de ejecución al utilizarse un  $Cd=1.10$ .



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se puede apreciar los porcentajes de ahorro obtenidos al haberse utilizado un valor de  $Cd=1.10$ , frente al valor de  $Cd=1.00$  utilizado originalmente por la Municipalidad Distrital de Chilca.

## 5.2 Contratación de hipótesis

### 5.2.1 Contratación de la hipótesis general

En este proceso consiente en realizar el contraste de hipótesis general requirió ciertos procedimientos estadísticos. Se ha podido verificar los planteamientos de diversos autores y cada uno de ellos con sus respectivas características y peculiaridades, motivo por el cual era necesario decidir por uno de ellos para ser aplicado en la investigación.

Ahora bien, respecto a la prueba de hipótesis general, se utilizó el estadígrafo “r” de Pearson, que se define como

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Donde:

*r* : Coeficiente de correlación entre: Calidad de drenaje de la sub base “x” y Diseño de pavimentos rígidos AASHTO 93 “y”

*S<sub>x</sub>*: Desviación típica de “x”

*S<sub>y</sub>*: Desviación típica de “y”

*S<sub>x,y</sub>*: Covarianza entre “x” e “y”

Tabla 82: *Coefficiente de correlación hipótesis general*

		<b>Correlaciones</b>	
		CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUB BASE	DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93
CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUB BASE	Correlación de Pearson	1	,986**
	Sig. (bilateral)		,002
	N	5	5
DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93	Correlación de Pearson	,986**	1
	Sig. (bilateral)	,002	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**“r” de Pearson = 0,986**

Ahora bien, teniendo como referencia a Oseda, et al. (2011) se tiene la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74
Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
Correlación positiva media: +0,50 a +0,74
Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89
<b>Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99</b>
Correlación positiva perfecta: +1

Y puesto que la “r” de Pearson es 0,986; éste es considerado como correlación positiva muy fuerte. Ahora veamos la contrastación de hipótesis general.

**a) Planteamiento de hipótesis**

**Hipótesis nula:**  $H_0$ : La calidad de drenaje de la sub base no incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de pavimentos rígidos AASHTO 93.

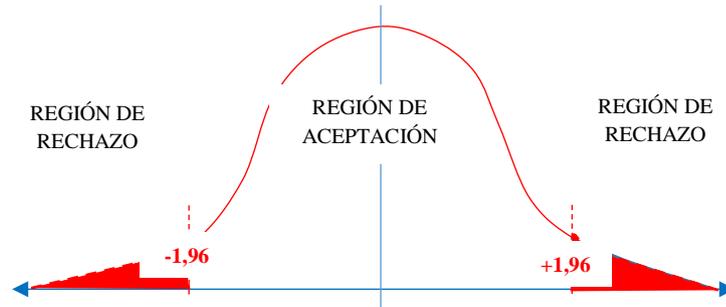
**Hipótesis alterna:**  $H_1$ : La calidad de drenaje de la sub base incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de pavimentos rígidos AASHTO 93.

**b) Nivel de significancia o riesgo**

$$\alpha=0,05.$$

$$gl = N - 2 = 5 - 2 = 3$$

$$\text{Valor crítico} = 1,96$$



Aceptar  $H_0$  si  $-1,96 < t_c < 1,96$

Rechazar  $H_0$  si  $-1,96 \leq t_c \leq 1,96$

**c) Cálculo del estadístico de prueba**

$$N = 5$$

$$r = 0,986$$

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t = 11,58$$

**d) Decisión estadística:**

Puesto que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $11,58 > 1,96$ ), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_i$ ).

**e) Conclusión estadística:**

Se concluye que existe una correlación positiva muy fuerte y significativa por lo cual se acepta la Hipótesis Alterna: La calidad de drenaje de la sub base incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de pavimentos rígidos AASHTO 93.

## 5.2.2 Contrastación de las hipótesis específicas

### - Hipótesis específica N° 01:

Tabla 83: *Coefficiente de correlación hipótesis específica 01*

		Características geométricas	DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93
Características geométricas	Correlación de Pearson	1	,995**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	5	5
DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93	Correlación de Pearson	,995**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**“r” de Pearson = 0,995**

Ahora bien, teniendo como referencia a Oseda, et al. (2011) se tiene la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74
Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
Correlación positiva media: +0,50 a +0,74
Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89
<b>Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99</b>
Correlación positiva perfecta: +1

Y puesto que la “r” de Pearson es 0,995; éste es considerado como correlación positiva muy fuerte. Ahora veamos la contrastación de la hipótesis específica N° 1.

**a) Planteamiento de la hipótesis específica 1:**

**Hipótesis nula:**  $1H_0$ : Las características geométricas de la sub base no condicionan el tiempo de drenaje del agua.

**Hipótesis alterna:**  $1H_1$ : Las características geométricas de la sub base condicionan el tiempo de drenaje del agua.

**b) Nivel de significancia o riesgo:**

$$\alpha = 0,05 = 5\%.$$

$$gl = N - 2 = 5 - 2 = 3$$

$$\text{Valor crítico} = t \text{ teórica} = t \text{ de tabla} = 1,96$$

**c) Cálculo del estadístico de prueba:**

$$N = 5$$

$$r = 0,995$$

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t = 17,25$$

**d) Decisión estadística:**

Puesto que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $17,25 > 1,96$ ), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula específica 1 ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna específica 1 ( $H_1$ ).

**e) Conclusión estadística:**

Se concluye que existe una correlación positiva muy fuerte y significativa por lo cual se acepta la Hipótesis alterna: Las características geométricas de la sub base condicionan el tiempo de drenaje del agua.

- **Hipótesis específica N° 02:**

Tabla 84: *Coefficiente de correlación hipótesis específica 02*

		Agregados de la sub base	DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93
Agregados de la sub base	Correlación de Pearson	1	,997**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	5	5
DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93	Correlación de Pearson	,997**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**“r” de Pearson = 0,997**

Ahora bien, teniendo como referencia a Oseda, et al. (2011) se tiene la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74
Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
Correlación positiva media: +0,50 a +0,74
Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89
<b>Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99</b>
Correlación positiva perfecta: +1

Y puesto que la “r” de Pearson es 0,997, éste es considerado como correlación positiva muy fuerte. Ahora veamos la contrastación de la hipótesis específica N° 2.

**a) Planteamiento de la hipótesis específica 2:**

**Hipótesis nula:**  $2H_0$ : Las características de los agregados de la sub base no determinan las condiciones de permeabilidad.

**Hipótesis alterna:**  $2H_1$ : Las características de los agregados de la sub base determinan las condiciones de permeabilidad.

**b) Nivel de significancia o riesgo:**

$$\alpha = 0,05 = 5\%$$

$$gl = N - 2 = 5 - 2 = 3$$

$$\text{Valor crítico} = t \text{ teórica} = t \text{ de tabla} = 1,96$$

**c) Cálculo del estadístico de prueba:**

$$N = 5$$

$$r = 0,997$$

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t = 22,31$$

**d) Decisión estadística:**

Puesto que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $22,31 > 1,96$ ), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula específica  $2(H_0)$  y se acepta la hipótesis alterna específica  $2(H_1)$ .

**e) Conclusión estadística:**

Se concluye que existe una correlación positiva muy fuerte y significativa por lo cual se acepta la Hipótesis alterna: Las características de los agregados de la sub base determinan las condiciones de permeabilidad.

- **Hipótesis específica N° 03:**

Tabla 85: *Coefficiente de correlación hipótesis específica 03*

		Precipitación pluvial	DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93
Precipitación pluvial	Correlación de Pearson	1	,996**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	5	5
DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93	Correlación de Pearson	,996**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**“r” de Pearson = 0,996**

Ahora bien, teniendo como referencia a Oseda, et al. (2011) se tiene la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74
Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
Correlación positiva media: +0,50 a +0,74
Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89
<b>Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99</b>
Correlación positiva perfecta: +1

Y puesto que la “r” de Pearson es 0,996, éste es considerado como correlación positiva débil. Ahora veamos la contrastación de la hipótesis específica N° 3.

**a) Planteamiento de la hipótesis específica 3:**

**Hipótesis nula:**  $3H_0$ : La precipitación pluvial no incide en el porcentaje de tiempo en el que la sub base se encuentra expuesta a saturación.

**Hipótesis alterna:**  $3H_1$ : La precipitación pluvial incide en el porcentaje de tiempo en el que la sub base se encuentra expuesta a saturación.

**b) Nivel de significancia o riesgo:**

$$\alpha = 0,05 = 5\%$$

$$gl = N - 2 = 5 - 2 = 3$$

$$\text{Valor crítico} = t \text{ teórica} = t \text{ de tabla} = 1,96$$

**c) Cálculo del estadístico de prueba:**

$$N = 5$$

$$r = 0,996$$

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t = 19,31$$

**d) Decisión estadística:**

Puesto que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $19,31 > 1,96$ ), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula específica 3( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna específica 3( $H_1$ ).

**e) Conclusión estadística:**

Se concluye que existe una correlación positiva muy fuerte y significativa por lo cual se acepta la Hipótesis alterna: La precipitación pluvial incide en el porcentaje de tiempo en el que la sub base se encuentra expuesta a saturación.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### **Respecto a la hipótesis general: La calidad de drenaje de la sub base incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de pavimentos rígidos AASHTO 93**

A fin de determinar la relación entre la calidad de drenaje de la capa de sub base granular y el diseño de pavimentos rígidos por el método AASHTO, se ha establecido la relación que existe entre las características geométricas de la capa de sub base y las características de los agregados del material de sub base, a fin de determinar la capacidad de drenaje que presenta esta capa en función a las características de las precipitaciones pluviales en el distrito de Chilca, Huancayo.

Para tal fin, se han considerado las canteras que abastecen de material granular para sub base de pavimentos rígidos en el distrito de Chilca, habiéndose realizado los ensayos correspondientes para determinar las características propias del agregado, así como, se han determinado las características de precipitaciones pluviales propias del área en investigación, estos parámetros se han expresado a través de la calificación del drenaje para cada cantera, y con este, de acuerdo a la metodología AASHTO 93, se ha determinado el Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , obteniéndose el valor de 1.10 para la cantera Umuto y la cantera Orcotuna, así como, para la cantera Chaclas, se ha obtenido el valor de 1.00.

La práctica local y nacional, generalmente utiliza el valor de 1.00 para este Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , habiéndose encontrado, en la presente investigación, que este parámetro puede ser diferente.

A fin de determinar cuál es la relación que existe entre la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos y el Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , se ha procedido

a realizar los diseños de pavimento rígido, utilizando un valor de  $C_d$  igual a 1.10, tal como la presente investigación lo ha determinado, a fin de compararlo con el valor de Coeficiente de Drenaje  $C_d$  utilizado en 5 de los principales proyectos viales actualmente en el distrito de Chilca, el cual es de 1.00.

En ese sentido, tal como lo indican los gráficos del 34 al 38, a mayor valor del Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , el espesor de la losa de concreto hidráulico del pavimento rígido, es menor.

Debido a esto, para determinar el efecto de esta diferencia de espesores de la losa de concreto hidráulico del pavimento rígido, se ha cuantificado económicamente esta variación, para lo cual se ha determinado el precio unitario para una resistencia a la compresión del concreto premezclado  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y para un  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, las cuales han sido utilizadas en los proyectos mencionados anteriormente, de acuerdo a la información recabada de la Gerencia de Obras Públicas de la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo, lo cual se puede apreciar en la Tabla N° 91 y gráficos del 39 al 43, en los cuales podemos concluir que el Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , para el diseño de pavimentos rígidos por la metodología del AASHTO 93, incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico, en ese sentido, a mayor espesor de la losa, será mayor el costo de ejecución del proyecto.

Habiéndose realizado la contrastación de la hipótesis general se ha obtenido un coeficiente “r” de Pearson de 0,986, el cual indica una correlación positiva muy fuerte, así como, el cálculo del estadístico de prueba indica que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $11,58 > 1,96$ ), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

En cuanto a los antecedentes de la investigación. se concuerda con Becerra (2013) al indicar que el método AASTHO 93 castiga a los espesores de la estructura de

pavimento rígido. Se concuerda con Zelada (2014), en que, para reducir el costo de inversión, se debe disminuir el espesor de las losas de concreto hidráulico. Se concuerda con Mora y Argüelles (2015), quien señala que, en los pavimentos rígidos, es importante construcción las pendientes transversales y longitudinales adecuadas, a fin de evitar estancamientos de agua sobre el pavimento. Se concuerda con Herrera (2014), en que, la sección transversal de la vía en corte o relleno, influye principalmente en las condiciones de drenaje de la vía y en el procedimiento constructivo.

Por lo tanto, se ha determinado la relación entre la calidad de drenaje de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASHTO 93, la cual se expresa en el costo de ejecución.

El aporte de la presente investigación, es que, para los diseños de pavimento rígido por la metodología AASHTO 93, la calidad del drenaje de la sub base, expresado a través del Coeficiente de Drenaje Cd recomendado por el MTC y utilizado de manera común en el ámbito local y nacional, el cual es de 1.00, puede tener otros valores, propios de cada área donde se realice el diseño, debiendo considerarse en su cálculo las características propias de cada material de sub base, la cual dependerá de la cantera de la que se obtienen el material, también considerarse las características geométricas de la capa de la sub base y las características de precipitación pluvial propias, ya que, como se ha encontrado en la investigación, el Coeficiente de Drenaje Cd, tiene un relación directa con el espesor de la losa de concreto hidráulico del pavimento rígido, conociéndose que cuanto mayor es el espesor de la losa, mayor será el costo de ejecución de esta.

Por lo tanto, en función de la investigación realizada, para el distrito de Chilca, Huancayo, al utilizarse material de sub base granular proveniente de las canteras Umuto y Orcotuna, el valor del Coeficiente de Drenaje Cd, para el diseño de pavimentos rígidos por la metodología AASHTO 93, es de 1.10.

## **Respecto a la hipótesis específica 01: Las características geométricas de la sub base condicionan el tiempo de drenaje del agua**

Se identificó cuál es la relación que existe entre las características geométricas de la capa de sub base, las cuales son el ancho del carril, la pendiente longitudinal y la pendiente transversal, y el tiempo de drenaje del agua fuera de esta capa, habiéndose determinado el tiempo de remoción del agua para el 50% de la saturación para cada una de las tres canteras analizadas, encontrándose que cuanto mayor es el ancho del carril, se requerirá de mayor tiempo para el drenaje del agua, tal como se ha podido apreciar en los gráficos del 5 al 19, en los cuales se han analizado diferentes anchos de carril, desde el valor mínimo de carril establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones (2.70m) hasta el mayor valor recomendado (4.00m), así como se han considerado los valores mínimos normados para las pendientes longitudinales (0.5%) y transversales (1.5%), a fin de considerar las condiciones más críticas de la vía. De acuerdo a la investigación realizada, para las canteras de Umuto y Orcotuna, tal como se puede apreciar en la Tabla 79 y Tabla 80, la relación que existe entre las características geométricas y el tiempo de drenaje no se aprecia, ya que la calificación de drenaje es de excelente, pero para la cantera Chaclas, tal como se aprecia en la Tabla 81, el tiempo de drenaje se hace mayor, requiriéndose de 2 horas para este fin para un ancho de carril de 2.70m y llegando hasta 4 horas cuando el carril tiene un ancho de 4.00m. Habiéndose realizado la contrastación de la hipótesis específica 01 se ha obtenido un coeficiente “r” de Pearson de 0,995, el cual indica una correlación positiva muy fuerte, así como, el cálculo del estadístico de prueba indica que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $17,25 > 1,96$ ), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula específica 1( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna específica 1( $H_1$ ).

Por lo tanto, se ha identificado la relación que se manifiesta entre las características geométricas de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASHTO

93, la cual se expresa a través del tiempo de drenaje del agua, ya que, si es que se tienen anchos de carril de mayores dimensiones, más será el tiempo que tarde el agua en ser drenada.

Asimismo, para los diseños de pavimentos rígidos de acuerdo a la metodología AASHTO 93, deben de considerarse las características geométricas que tendrá la capa de sub base granular, las cuales serán establecidas para cada proyecto en particular, algo que en la práctica actual no se realiza.

### **Respecto a la hipótesis específica 02: Las características de los agregados de la sub base determinan las condiciones de permeabilidad**

De los análisis realizados para la presente investigación, se ha podido determinar que entre las canteras Umuto y Orcotuna, los tiempos de remoción del agua, son similares, mientras que para la cantera Chaclas, este tiempo es diferente, esto se debe al coeficiente de permeabilidad (K) que presentan, notándose que, a mayor valor de este coeficiente, será menor el tiempo de remoción del agua, tal como se puede sustentar en los gráficos del 29 al 32.

Asimismo, podemos apreciar que el valor del coeficiente de permeabilidad se encuentra en función del diámetro nominal D10 propio de las características granulométricas del material de sub base de cada cantera, donde a mayor valor de D10, será menor el tiempo de drenaje, ya que, este parámetro indica que, si el diámetro es mayor, la granulometría será más abierta, por lo que tendremos mayor facilidad para el drenaje del agua.

Habiéndose realizado la contrastación de la hipótesis específica 02 se ha obtenido un coeficiente “r” de Pearson de 0,997, el cual indica una correlación positiva muy fuerte, así como, el cálculo del estadístico de prueba indica que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica (22,31

> 1,96), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula específica 2( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna específica 2( $H_1$ ).

En ese sentido, se ha evaluado la relación que existe entre las características de los agregados de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93, la cual se expresa a través de las características de los agregados de la sub base y la permeabilidad, ya que como se ha indicado anteriormente, este parámetro tiene relación directa con el tiempo de drenaje del agua, afectando el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.

**Respecto a la hipótesis específica 03: La precipitación pluvial incide en el porcentaje de tiempo en el que la sub base se encuentra expuesta a saturación**

De acuerdo a la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos, considera al Coeficiente de Drenaje  $C_d$ , como aquel parámetro que representa las características de drenaje de la sub base granular, cuyo valor depende del tiempo en que este material se encuentra expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación y del tiempo de remoción del agua. En ese sentido, la metodología AASHTO 93 estipula tablas para la determinación de este parámetro, tanto para pavimentos flexibles como rígidos.

De acuerdo a los parámetros solicitados por la metodología para la calificación del drenaje, se requiere del porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación y del Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre.

De los resultados obtenidos en la presente investigación se ha podido determinar qué tal como lo sustentan las tablas del 64 al 78, la calificación del drenaje dependerá de las características de precipitación pluvial, las cuales han sido determinadas para el distrito de Chilca, Huancayo, así mismo, de acuerdo a los tiempos de drenaje del agua, siendo estos propios de cada cantera evaluada. Al contarse con estos parámetros se ha obtenido que para las canteras Umuto y Orcotuna, la calificación del drenaje es de

excelente y para la cantera Chaclas se tiene una calificación del drenaje de buena, esta calificación ha determinado que para establecer el Coeficiente de Drenaje Cd, en base a la calificación de drenaje, para las canteras Umuto y Orcotuna, el valor es de 1.10, mientras que para la cantera Chaclas es de 1.00.

La práctica actual, utiliza un valor de Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.00, habiéndose establecido que no es cierto en su totalidad, obteniéndose un valor diferente de 1.10 para el distrito de Chilca, Huancayo.

Habiéndose realizado la contrastación de la hipótesis específica 02 se ha obtenido un coeficiente “r” de Pearson de 0,996, el cual indica una correlación positiva muy fuerte, así como, el cálculo del estadístico de prueba indica que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica (19,31 > 1,96), en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula específica 3( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna específica 3( $H_i$ ).

Por lo tanto, se ha determinado la relación de la precipitación pluvial con el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93, la cual se expresa a través de la calificación del drenaje, siendo este parámetro incidente en la determinación del valor del Coeficiente de Drenaje Cd.

## CONCLUSIONES

1. Al determinarse adecuadamente la calidad de drenaje de la sub base podemos optimizar el diseño de pavimentos rígidos por la metodología AASHTO 93, al obtenerse espesores de diseño más económicos, asegurándose el correcto desempeño del mismo.
2. El tiempo en el cual el agua puede drenar fuera de la capa de sub base es un parámetro muy importante de determinar, este depende de las características geométricas propias y particulares que se proyecten para esta capa, la cual tendrá una relación directa con este tiempo de drenaje y este, a su vez, incidirá en la calidad del drenaje del pavimento.
3. La procedencia del material de sub base granular, es un parámetro muy importante de analizar, ya que cada cantera posee diferentes características de los agregados, los cuales tienen relación con la permeabilidad de la capa de sub base, y esta a su vez se relaciona con la calidad de drenaje del pavimento.
4. Las características propias de precipitaciones pluviales deben ser analizadas correctamente a fin de dotar a la capa de sub base granular de las características adecuadas para su drenaje, a fin de conocer el porcentaje del tiempo que la sub base se encuentra expuesta a saturación, debiendo tener este material granular una calificación de drenaje acorde a la intensidad pluvial, ya que este parámetro incidirá en el espesor de la losa de concreto hidráulico.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Chilca, utilizar el valor de Coeficiente de Drenaje Cd igual a 1.10, al utilizarse la cantera Umuto o cantera Orcotuna, ya que con este valor podrán optimizar sus diseños de pavimentos rígidos, en términos económicos.
2. Se recomienda a los bachilleres de ingeniería civil, continuar la presente investigación para otros lugares, ya que cada lugar presenta diferentes canteras que abastecen el material de sub base granular, cada una con características diferentes, así como se tienen diferentes características de precipitación pluvial, y determinarse Coeficientes de Drenaje Cd propios de cada lugar.
3. Se recomienda a los ingenieros proyectistas de obras de pavimentación, realizar los análisis de las canteras de donde se obtendrá el material de sub base granular, ya que estos incidirán en los espesores de la losa de concreto hidráulico diseñados.
4. Se recomienda a los bachilleres en ingeniería civil e investigadores realizar investigaciones respecto a los parámetros utilizados en las metodologías de diseño de pavimentos, a fin de ser adecuados a la realidad de cada lugar.
5. Se recomienda a las entidades públicas contar con un banco de características técnicas de las canteras que los abastecen de materiales granulares, a fin de que sean utilizados en los diseños de pavimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila H. (2006). *“Introducción a la Metodología de la Investigación”*, México, México: UDG.
- Becerra (2013). *“Comparación Técnica–Económica de las Alternativas de Pavimentación Flexible Y Rígida A Nivel de Costo de Inversión”*. Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Becerril y Miranda (2016), *“Procedimiento Constructivo de Pavimentos Flexibles en la Carretera: Barranca Larga en el Estado de Oaxaca”*, México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castañeda (2017). *“Propuesta Técnica para Mejoramiento de Vías en la Zona Urbana del C.P. Paratushiali, Distrito y Provincia de Satipo-Junín”*. Huancayo, Perú: Universidad Peruana Los Andes.
- Ccanto G. (2010). *“Metodología de la Investigación Científica en Ingeniería Civil”*, Huancayo, Perú: Gerccantom.
- DNP (2017). *“Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito”*, Bogotá, Colombia: Dirección Nacional de Planeamiento-Mintransporte.
- Facultad de Ciencias y Tecnología - UMSS (2014). *“Manual Completo de Diseño de Pavimentos”*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Fernández, M. (2016). *“Cómo iniciarse en la investigación académica”*, Lima, Perú: PUCP.
- Fontalba (2015). *“Diseño de Un Pavimento Alternativo Para la Avenida Circunvalación Sector Guacamayo 1ºEtapa”*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Hernández, R; Fernández, R; Baptista, L. (2014). *“Metodología de la Investigación”* (6ta edición), México: Mc Graw Hill.

- Herrera (2014). “*Estudio del Pavimento de las Vías del Barrio Salacalle, Perteneciente a la Parroquia Saquisilí, Cantón Saquisilí, Provincia de Cotopaxi u Su Incidencia en la Calidad de Vida de los Habitantes*”. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Menéndez, J. (2016). “*Ingeniería de Pavimentos-Materiales*”. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Menéndez, J. (2016). “*Ingeniería de Pavimentos-VARIABLES de Diseño*”. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Menéndez, J. (2016). “*Ingeniería de Pavimentos-Diseño de Pavimentos*”. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Miranda (2010). “*Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos*”. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Montejo, A. (2006). “*Ingeniería de Pavimentos*”. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Morat et al (2015). “*Diseño de Pavimento Rígido para la Urbanización Caballero Y Góngora, Municipio De Honda - Tolima*”. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- MTC (2013). “*Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*” EG-2013. Lima, Perú: ed., Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- MTC (2014). “*Sección de Suelos y Pavimentos, R.D. N° 10-2014-MTC/14.*” “*Manual de Carreteras*”, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles”. Lima, Perú: ed., Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- MTC (2014). “*Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*”. Lima, Perú: ed., Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

- MVCS (2010). “*Norma Técnica CE.010: Pavimentos Urbanos*”, Lima, Perú: ed., Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- Naghi M. (2005). “*Metodología de la investigación*” México, México: Ed. Limusa S.A.
- Niño, J. (2010). “*Tecnología del concreto Tomo 1. Materiales, propiedades y diseño de mezclas*”. Colombia: Tercera.
- Núñez (2018). “*Propuesta de Rehabilitación de Pavimento de Concreto Utilizando Sobrecapas de Refuerzo en la Avenida Todos los Santos de la Ciudad de Chota*”. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Oседа, D., Cori, S., Alvarado, H. y Zevallos, H. (2011). “*Metodología de la Investigación*”. (3° Ed.). Huancayo: Pirámide.
- Oседа, D., Gonzales, A., Ramírez, F. y Gave, J. L. (2011). “*¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?*” Huancayo: Pirámide.
- Pasquel, E. (1998). “*Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*”. Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.
- Puente (2012). “*Manual de Procesos Para Fiscalización de Proyectos Viales Para Instituciones Públicas En Zonas Urbanas*”. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Rodríguez et al (2016). “*Estudio del Comportamiento de Pavimentos Rígidos Debido a Fallas Estructurales*”. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Sánchez, H y Reyes, C (2002). “*Metodología y diseños en la investigación científica*”. Lima, Perú: Editorial Universitaria.
- Vivar (1995). “*Diseño y Construcción de Pavimentos*”. Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Zelada (2019). “*Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca – Puno (Km 44+000 – Km. 45+000)*”. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

## **ANEXOS**

## Matriz de consistencia

Título del Proyecto:

RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUBBASE Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASTHO 93

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES		METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPÓTESIS GENERAL:			<b>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN:</b> * GENERAL: Científico. * ESPECIFICO: Descriptivo.
¿Cuál es la relación entre la calidad de drenaje de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?	Determinar la relación entre la calidad de drenaje de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.	La calidad de drenaje de la sub base incide en el espesor de la losa de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>	<b>CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUB BASE</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> * Aplicada.  <b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b> * Correlacional.  <b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:</b> * Descriptivo - Correlacional.  <b>POBLACIÓN Y MUESTRA:</b> * POBLACIÓN: Canteras de producción de sub base para pavimentos para el distrito de Chilca-Huancayo-Junín.  * MUESTRA: No probabilística intencional o de conveniencia (censal). El 100% de las canteras de producción de sub base para pavimentos para el distrito de Chilca-Huancayo-Junín.  <b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS:</b> <b>TÉCNICAS:</b> * Observación. * Estadística Descriptiva * Estadística Inferencial  <b>INSTRUMENTOS:</b> * Ficha de observación * Tablas * Formatos de ensayos
			<b>DIMENSIONES:</b>	<b>Características geométricas</b>	
				<b>Agregados de la sub base</b>	
				<b>Precipitación pluvial</b>	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS:	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	HIPÓTESIS ESPECIFICAS:			
¿Cómo se manifiesta la relación entre las características geométricas de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?	Identificar la relación que se manifiesta entre las características geométricas de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.	Las características geométricas de la sub base condicionan el tiempo de drenaje del agua.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>	<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASTHO 93</b>	
¿Qué relación existe entre las características de los agregados de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?	Evaluar la relación que existe entre las características de los agregados de la sub base y el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.	Las características de los agregados de la sub base determinan las condiciones de permeabilidad.			
¿De qué manera se relaciona la precipitación pluvial con el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93?	Determinar la relación de la precipitación pluvial con el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93.	La precipitación pluvial incide en el porcentaje de tiempo en el que la sub base se encuentra expuesta a saturación.	<b>DIMENSIONES:</b>	<b>Tráfico y Carga</b>	
				<b>Medioambiente</b>	
				<b>Materiales</b>	

## Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES (FACTORES)	INDICADORES (DEFINICIÓN CONCEPTUAL)	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
<b>CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUB BASE</b>	Representa la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga agua libre o humedad por un cierto tiempo. En general el nivel de drenaje de las capas intermedias depende de los tipos de drenaje diseñados, el tipo de permeabilidad de las capas de subbase, tipo de sub rasante, condiciones climáticas, grado de precipitaciones, entre otras. (MTC, 2014)	Características geométricas	Ancho de carril	cm	Ficha de observación
			Pendiente Transversal	%	Ficha de observación
			Pendiente Longitudinal	%	Ficha de observación
		Agregados de la sub base	Tamaño del grano	mm	Ficha de tamaño efectivo
			Granulometría	mm	Curva granulométrica
		Precipitación pluvial	Precipitación diaria	mm/día	Ficha de observación
<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93</b>	Mediante un proceso iterativo, se asumen espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 93 llegue al equilibrio. El espesor de concreto calculado finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado. (MTC, 2014)	Tráfico y Carga	Número de vehículos por tipo	Índice Medio Diario Anual (IMDA)	Ficha IMD - MTC
			Carga por eje	Toneladas (Tn)	Tablas MTC
			Número de repeticiones	Ejes Equivalentes (EE)	Tabla de cálculo
		Medioambiente	Temperatura del medioambiente y en cada capa	°C	Ficha de observación
			Gradiente Térmico	°C	Ficha de observación
			Precipitación pluvial horaria	mm/h	Tabla estadística
		Materiales	Capacidad de soporte de la subrasante	psi (lb/pulg <sup>2</sup> )	Formato CBR
			Características del concreto	f <sub>c</sub> / Mr	Tablas MTC
			Acero de refuerzo	J	Tablas MTC

### Matriz de operacionalización del instrumento

VARIABLE	DIMENSIONES (FACTORES)	INDICADORES (DEFINICIÓN CONCEPTUAL)	ÍTEMS	
<b>CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUB BASE</b>	Características geométricas	Ancho de carril	Espesor de la sub base ( E )	Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación
			Ancho de carril ( L )	
		Pendiente Transversal	Inclinación transversal ( Sx )	
		Pendiente Longitudinal	Inclinación longitudinal ( S )	
	Pendiente resultante (Sr)			
	Agregados de la sub base	Tamaño del grano	D10 Sub base	Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación
			D60 Sub base	
			P200	
		Granulometría	Clasificación SUCS	
			IP	
			Densidad seca sub base	
			Peso específico de sólidos	
			Porosidad (n)	
	Porosidad efectiva (ne)			
	Coeficiente de permeabilidad (Hazen (K))			
	Precipitación pluvial	Precipitación diaria	Meses más lluviosos al año	Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación
			Cantidad total de días (meses más lluviosos)	
			Límite de precipitación pluvial determinado por día	
			Días que superan el límite establecido	
			Número de días al año	
			Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	
Calificación de drenaje (calidad)				

**Instrumento de investigación y constancia de aplicación**

<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos</b>		
CANTERA OBSERVADA:	OBSERVADOR:	
MATERIAL PARA:		UBICACIÓN:
FECHA:		
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS</b>		
Espesor de la sub base	E=	cm
Ancho de carril	L=	cm
Pendiente transversal:	Sx=	%
Pendiente longitudinal:	S=	%
Pendiente resultante:	Sr=	%
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		
<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos</b>		

CANTERA OBSERVADA:	OBSERVADOR:	
MATERIAL PARA :		UBICACIÓN:
FECHA:		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS</b>		
Espesor de la sub base	E=	cm
Clasificación SUCS		%
IP		%
Densidad seca sub base		gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de sólidos		gr/cm <sup>3</sup>
D10 Sub base		mm
D60 Sub base		mm
P200		%
Porosidad	n=	
Porosidad efectiva	ne=	
Coeficiente de permeabilidad (Hazen)	K=	cm/seg
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación		

<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b> <b>Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos</b>
---

ESTACIÓN PLUVIAL OBSERVADA:	OBSERVADOR:	

PARÁMETRO OBSERVADO:		UBICACIÓN:

AÑO DE OBSERVACIÓN		MES DE OBSERVACIÓN:

<b>PRECIPITACIÓN PLUVIAL</b>	
Meses más lluviosos al año	
Cantidad total de días (meses más lluviosos)	días
Límite de precipitación pluvial determinado por día	mm/día
Días que superan el límite establecido	días
Número de días al año	días
Porcentaje de tiempo que la estructura se encuentra expuesta a la saturación	%
Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación	
Calificación de drenaje (calidad)	

<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b> <b>Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos</b>
---

CANTERA OBSERVADA:	OBSERVADOR:	

PARÁMETRO OBSERVADO:		UBICACIÓN:

AÑO DE OBSERVACIÓN		MES DE OBSERVACIÓN:

<b>COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd)</b>			
Espesor de Sub Base			
Ancho de Carril (cm)			
Precipitación Pluvial (%)			
Coeficiente de Permeabilidad			

Tiempo de remoción del agua para el 50% de saturación (horas)				
Calificación del Drenaje				
<b>Coefficiente de Drenaje (Cd)</b>				

<b>FICHA DE OBSERVACIÓN</b> <b>Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos</b>
---

PROYECTO OBSERVADO:	OBSERVADOR:	
---------------------	-------------	--

<b>COSTOS DE EJECUCIÓN</b>	
Proyecto:	
Coefficiente de Drenaje (Cd) utilizado por la Municipalidad Distrital de Chilca	
Espesor de losa de concreto original	
Coefficiente de Drenaje (Cd) determinado en la investigación	
Nuevo espesor de losa de concreto	
Precio Unitario del concreto (m3)	Costo Total Original (S/):
	Costo Total Optimizado(S/):
Porcentaje de ahorro (%)	

## Confiabilidad y validez del instrumento



UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES  
ESCUELA DE POSGRADO  
Maestría en Ingeniería Civil



### FICHAS DE VALIDACIÓN

#### INFORME DE OPINIÓN DEL JUICIO DE EXPERTO

##### DATOS GENERALES

- 1.1. Título de la Investigación: **RELACION ENTRE LA CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUBBASE Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS AASTHO 93.**
- 1.2. Nombre de los instrumentos motivo de Evaluación: **Ficha de Observación sobre Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos.**

##### ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Indicadores	Criterios	Muy deficiente				Deficiente				Regular				Buena				Muy buena				
		0	5	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado																				✓	
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables																				✓	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia pedagógica																				✓	
4. Organización	Existe una organización lógica.																				✓	
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																				✓	
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar los instrumentos de investigación																				✓	
7. Consistencia	Basado en aspectos técnicos científicos																				✓	
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores																				✓	
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.																				✓	
10. Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación																				✓	

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

86%

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: a) Muy deficiente b) Deficiente c) Regular d) Buena e) Muy buena

Nombres y Apellidos:	Edward Eddie Bustinza Zuasnabar	DNI N°	20111231
Dirección domiciliar:	Calle. Santo Beatriz # 192 - Huancayo	Teléfono/Celular:	990202665
Grado Académico:	Doctor en Sistemas de Ingeniería.		
Mención:	Ingeniería de Sistemas		

Maestrando: Bach. Javier Reynoso Oscanoa

Firma  
Lugar y fecha: .....





## FICHAS DE VALIDACIÓN

### INFORME DE OPINIÓN DEL JUICIO DE EXPERTO

#### DATOS GENERALES

- 1.1. Título de la Investigación: RELACION ENTRE LA CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUBBASE Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS AASTHO 93.
- 1.2. Nombre de los instrumentos motivo de Evaluación: Ficha de Observación sobre Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos.

#### ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Indicadores	Criterios	Muy deficiente				Deficiente				Regular				Buena				Muy buena				
		0	5	11	16	21	26	31	35	41	46	51	55	61	66	71	76	81	86	91	96	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado																		✓			
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables																		✓			
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia pedagógica																		✓			
4. Organización	Existe una organización lógica.																			✓		
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																		✓			
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar los instrumentos de investigación																			✓		
7. Consistencia	Basado en aspectos técnicos científicos																			✓		
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores																			✓		
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.																				✓	
10. Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación																				✓	

PROMEDIO DE VALORACIÓN: **85%**

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: a) Muy deficiente b) Deficiente c) Regular d) Buena e) Muy buena

Nombres y Apellidos:	MAGNO TEÓFILO BALDEÓN TOSAR	DNI N°	19942994
Dirección domiciliar:	AV. GRAL GAMARRA 1021 CHILCA	Teléfono/Celular:	954026201
Grado Académico:	DOCTOR		
Mención:	ADMINISTRACIÓN DE LA EDUCACIÓN		

  
 Firma  
 Lugar y fecha: .....

Maestrando: Bach. Javier Reynoso Oscanoa







## FICHAS DE VALIDACIÓN

### INFORME DE OPINIÓN DEL JUICIO DE EXPERTO

#### DATOS GENERALES

- 1.1. Título de la Investigación: **RELACION ENTRE LA CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUBBASE Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS AASTHO 93.**
- 1.2. Nombre de los instrumentos motivo de Evaluación: **Ficha de Observación sobre Calidad de drenaje de la sub base de pavimentos rígidos.**

#### ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Indicadores	Criterios	Muy deficiente				Deficiente				Regular				Buena				Muy buena				
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado																				X	
2. Objetividad	Está expresado en conclusiones observables																				X	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia pedagógica																				X	
4. Organización	Existe una organización lógica																				X	
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad																				X	
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar los instrumentos de investigación																				X	
7. Consistencia	Basado en aspectos teóricos científicos																				X	
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores																				X	
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico																				X	
10. Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación																				X	

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 90%

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: a) Muy deficiente b) Deficiente c) Regular d) Buena e) Muy buena

Nombres y Apellidos:	Washington Neuman Abregú Jaucha	DNI N°	8015 2067
Dirección domiciliar:	Av. Los Andes 1202. El Tambo	Teléfono/Celular:	984346518
Grado Académico:	MAESTRO		
Mención:	EDUCACIÓN SUPERIOR		

Mg. Washington Neuman Abregú Jaucha  
 C.P.S.P. 3584  
 Firma N° 000

Lugar y fecha: ... 24 - 02 - 2020 ... HYP

Maestrando: Bach. Javier Reynoso Oscanoa

## CONFIABILIDAD Y VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

La validación de los instrumentos se realizó principalmente en el marco teórico de la categoría “validez del instrumento” utilizando el procedimiento de criterio de expertos calificados, que determinarán la adecuación muestral de los ítems de los instrumentos.

El Coeficiente de Validez de la Ficha de Observación sobre la “CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUB BASE” y el “DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS AASHTO 93” se muestran en las fichas de validación que a continuación se anexan. Porcentualmente, las puntuaciones alcanzan el 96.30%.

Como quiera que para los ítems sea válido se necesita un completo acuerdo entre los jueces (Oseda, 2011), concluimos que ambos instrumentos son válidos.

Cuadro N° 01: *Validez de juicio de experto*

JUECES	ITEMS										Total Fila
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dr. Edward Eddie Bustinza Zuasnabar	90	90	85	85	90	85	85	85	90	85	870.00
Dr. Magno Teofilo Baldeón Tovar	85	85	85	90	85	90	90	85	90	85	870.00
Mg. Jorge Vladimir Pachas Huaytán	95	95	100	95	95	95	95	95	95	95	955.00
Mg. Jorge Santiago Lopez Yarango	90	85	85	90	85	85	85	85	85	90	865.00
Mg. Washington Neuman Abregú Jaucha	90	85	85	90	85	85	85	85	85	90	865.00
<b>Total Columna</b>	450.00	440.00	440.00	450.00	440.00	440.00	440.00	435.00	445.00	445.00	4425.00
<b>Promedio</b>	90.00	88.00	88.00	90.00	88.00	88.00	88.00	87.00	89.00	89.00	885.00
<b>Desv. Standard</b>	3.54	4.47	6.71	3.54	4.47	4.47	4.47	4.47	4.18	4.18	39.21

Aplicando la siguiente fórmula para calcular el alfa de Cronbach:

$$\begin{array}{l}
 S_1^2 = 205.00 \\
 S_2^2 = 1537.50 \\
 K = 10
 \end{array}
 \quad \rightarrow \quad
 \alpha = \left[ \frac{K}{K-1} \right] \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S^2} \right] = 0.9630$$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 02: *Escala: Validación Instrumento*

**Resumen de procesamiento de casos**

		N	%
Casos	Válido	5	100,0
	Excluido <sup>a</sup>	0	,0
	Total	5	100,0

La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

**Estadísticas de fiabilidad**

Alfa de Cronbach	N de elementos
,963	10

Ahora bien, teniendo de referencia a (Oseda, 2011) los valores hallados pueden ser comprendidos en los datos del siguiente cuadro:

Cuadro N° 03: *Escala valorativa del Instrumento*

0.53 a menos	Validez Nula
0.54 a 0.59	Validez baja
0.60 a 0.65	Valida
0.66 a 0.71	Muy Valida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.00	Validez perfecta

Se deduce que ambos instrumentos de ficha de observación tienen una excelente validez, ya que el valor arrojado es de 0.963.

**Data de procesamiento de datos**

- Días de mayor precipitación pluvial diaria 1993-2013 (Estación Santa Ana).
- Resumen de días con precipitaciones  $\geq 10$  mm (Estación Santa Ana 1993-2013).
- Resultados de CBR de las canteras.

*ESTACIÓN SANTA ANA: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2017)

**Estación : SANTA ANA**

Departamento : JUNÍN                      Provincia : HUANCAYO                      Distrito : EL TAMBO                      Año: 2017  
 Latitud : 12°0'15"                      Longitud : 75°13'15"                      Altitud : 3295 msnm.                      Código : 112083

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2017	9.00	01/02/2017	0.00	01/03/2017	3.20	01/12/2017	0.00
02/01/2017	5.00	02/02/2017	3.00	02/03/2017	2.10	02/12/2017	9.20
03/01/2017	6.90	03/02/2017	0.00	03/03/2017	9.00	03/12/2017	0.00
04/01/2017	14.00	04/02/2017	0.00	04/03/2017	0.00	04/12/2017	0.00
05/01/2017	0.00	05/02/2017	2.70	05/03/2017	2.00	05/12/2017	8.90
06/01/2017	0.40	06/02/2017	3.80	06/03/2017	1.00	06/12/2017	0.00
07/01/2017	0.80	07/02/2017	0.00	07/03/2017	9.00	07/12/2017	0.00
08/01/2017	0.20	08/02/2017	8.70	08/03/2017	1.70	08/12/2017	0.00
09/01/2017	2.40	09/02/2017	1.20	09/03/2017	9.20	09/12/2017	0.00
10/01/2017	9.60	10/02/2017	2.60	10/03/2017	2.90	10/12/2017	0.00
11/01/2017	4.50	11/02/2017	16.70	11/03/2017	0.70	11/12/2017	0.00
12/01/2017	10.80	12/02/2017	11.60	12/03/2017	0.00	12/12/2017	0.00
13/01/2017	4.20	13/02/2017	9.80	13/03/2017	2.30	13/12/2017	2.70
14/01/2017	2.70	14/02/2017	0.00	14/03/2017	6.50	14/12/2017	1.20
15/01/2017	15.10	15/02/2017	0.00	15/03/2017	4.20	15/12/2017	0.00
16/01/2017	3.70	16/02/2017	20.00	16/03/2017	3.80	16/12/2017	0.00
17/01/2017	7.20	17/02/2017	8.10	17/03/2017	15.00	17/12/2017	10.40
18/01/2017	0.00	18/02/2017	0.20	18/03/2017	0.00	18/12/2017	2.10
19/01/2017	17.50	19/02/2017	22.50	19/03/2017	0.00	19/12/2017	0.00
20/01/2017	3.60	20/02/2017	0.00	20/03/2017	0.00	20/12/2017	4.30
21/01/2017	1.20	21/02/2017	1.60	21/03/2017	0.00	21/12/2017	5.20
22/01/2017	2.60	22/02/2017	3.10	22/03/2017	2.00	22/12/2017	3.00
23/01/2017	2.70	23/02/2017	7.00	23/03/2017	0.80	23/12/2017	5.60
24/01/2017	12.50	24/02/2017	0.80	24/03/2017	0.90	24/12/2017	0.00
25/01/2017	4.20	25/02/2017	3.20	25/03/2017	26.40	25/12/2017	0.00
26/01/2017	12.30	26/02/2017	13.20	26/03/2017	0.60	26/12/2017	0.00
27/01/2017	7.40	27/02/2017	0.80	27/03/2017	0.50	27/12/2017	3.80
28/01/2017	0.00	28/02/2017	1.00	28/03/2017	3.10	28/12/2017	5.50
29/01/2017	0.00			29/03/2017	0.00	29/12/2017	0.40
30/01/2017	0.00			30/03/2017	2.50	30/12/2017	16.00
31/01/2017	0.00			31/03/2017	0.00	31/12/2017	0.50
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>6.00</b>		<b>5.00</b>		<b>2.00</b>		<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN SANTA ANA: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2018)

**Estación : SANTA ANA**

Departamento : JUNÍN      Provincia : HUANCAYO      Distrito : EL TAMBO      Año: 2018  
 Latitud : 12°0'15"      Longitud : 75°13'15"      Altitud : 3295 msnm.      Código : 112083

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2018	0.70	01/02/2018	48.00	01/03/2018	2.60	01/12/2018	0.00
02/01/2018	5.60	02/02/2018	0.30	02/03/2018	7.00	02/12/2018	0.00
03/01/2018	0.00	03/02/2018	0.00	03/03/2018	5.40	03/12/2018	0.00
04/01/2018	0.00	04/02/2018	3.20	04/03/2018	2.00	04/12/2018	0.00
05/01/2018	0.00	05/02/2018	0.00	05/03/2018	1.00	05/12/2018	0.00
06/01/2018	2.80	06/02/2018	1.00	06/03/2018	0.00	06/12/2018	0.00
07/01/2018	19.10	07/02/2018	0.00	07/03/2018	0.00	07/12/2018	0.00
08/01/2018	0.20	08/02/2018	21.40	08/03/2018	3.90	08/12/2018	0.00
09/01/2018	5.10	09/02/2018	1.10	09/03/2018	0.90	09/12/2018	0.00
10/01/2018	3.10	10/02/2018	0.00	10/03/2018	9.30	10/12/2018	0.00
11/01/2018	10.50	11/02/2018	3.10	11/03/2018	6.20	11/12/2018	0.00
12/01/2018	7.70	12/02/2018	8.10	12/03/2018	8.20	12/12/2018	0.00
13/01/2018	4.00	13/02/2018	0.80	13/03/2018	8.60	13/12/2018	0.00
14/01/2018	8.10	14/02/2018	7.60	14/03/2018	9.00	14/12/2018	0.00
15/01/2018	2.40	15/02/2018	1.60	15/03/2018	2.10	15/12/2018	5.80
16/01/2018	28.50	16/02/2018	9.00	16/03/2018	16.50	16/12/2018	4.00
17/01/2018	20.00	17/02/2018	10.70	17/03/2018	2.60	17/12/2018	6.30
18/01/2018	7.30	18/02/2018	0.00	18/03/2018	7.10	18/12/2018	21.00
19/01/2018	8.40	19/02/2018	0.00	19/03/2018	5.10	19/12/2018	0.00
20/01/2018	5.30	20/02/2018	4.60	20/03/2018	0.00	20/12/2018	3.90
21/01/2018	6.10	21/02/2018	6.00	21/03/2018	0.30	21/12/2018	0.00
22/01/2018	2.10	22/02/2018	0.00	22/03/2018	1.40	22/12/2018	0.00
23/01/2018	1.10	23/02/2018	0.00	23/03/2018	15.00	23/12/2018	0.00
24/01/2018	0.00	24/02/2018	5.80	24/03/2018	3.10	24/12/2018	0.00
25/01/2018	0.00	25/02/2018	1.20	25/03/2018	1.00	25/12/2018	0.00
26/01/2018	3.50	26/02/2018	4.60	26/03/2018	0.00	26/12/2018	4.40
27/01/2018	0.00	27/02/2018	2.30	27/03/2018	0.00	27/12/2018	2.80
28/01/2018	0.00	28/02/2018	0.20	28/03/2018	27.40	28/12/2018	0.00
29/01/2018	9.30			29/03/2018	2.90	29/12/2018	1.20
30/01/2018	3.30			30/03/2018	0.00	30/12/2018	5.00
31/01/2018	0.00			31/03/2018	0.00	31/12/2018	0.00
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>4.00</b>		<b>3.00</b>		<b>3.00</b>		<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN SANTA ANA: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2019)

**Estación : SANTA ANA**

Departamento : JUNÍN      Provincia : HUANCAYO      Distrito : EL TAMBO      Año: 2019  
 Latitud : 12°0'15"      Longitud : 75°13'15"      Altitud : 3295 msnm.      Código : 112083

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2019	0.00	01/02/2019	1.90	01/03/2019	2.10	01/12/2019	0.00
02/01/2019	1.70	02/02/2019	2.70	02/03/2019	1.00	02/12/2019	19.30
03/01/2019	0.00	03/02/2019	2.90	03/03/2019	0.80	03/12/2019	1.00
04/01/2019	7.50	04/02/2019	14.40	04/03/2019	9.40	04/12/2019	10.10
05/01/2019	0.00	05/02/2019	2.80	05/03/2019	7.60	05/12/2019	7.70
06/01/2019	3.70	06/02/2019	20.00	06/03/2019	5.00	06/12/2019	3.50
07/01/2019	0.00	07/02/2019	8.00	07/03/2019	2.80	07/12/2019	5.70
08/01/2019	0.00	08/02/2019	0.90	08/03/2019	8.30	08/12/2019	7.10
09/01/2019	0.00	09/02/2019	1.80	09/03/2019	3.50	09/12/2019	0.00
10/01/2019	5.10	10/02/2019	18.70	10/03/2019	4.70	10/12/2019	2.70
11/01/2019	1.00	11/02/2019	15.20	11/03/2019	0.70	11/12/2019	0.00
12/01/2019	7.10	12/02/2019	7.50	12/03/2019	1.90	12/12/2019	1.40
13/01/2019	11.90	13/02/2019	0.10	13/03/2019	1.40	13/12/2019	3.80
14/01/2019	2.30	14/02/2019	1.10	14/03/2019	5.50	14/12/2019	0.00
15/01/2019	5.00	15/02/2019	3.30	15/03/2019	7.10	15/12/2019	7.10
16/01/2019	9.70	16/02/2019	0.00	16/03/2019	0.00	16/12/2019	18.30
17/01/2019	4.10	17/02/2019	2.60	17/03/2019	0.20	17/12/2019	0.00
18/01/2019	5.40	18/02/2019	0.00	18/03/2019	7.80	18/12/2019	34.00
19/01/2019	0.00	19/02/2019	14.80	19/03/2019	0.00	19/12/2019	3.00
20/01/2019	13.00	20/02/2019	1.60	20/03/2019	2.60	20/12/2019	1.00
21/01/2019	6.70	21/02/2019	0.40	21/03/2019	4.70	21/12/2019	20.90
22/01/2019	10.40	22/02/2019	0.90	22/03/2019	1.70	22/12/2019	1.50
23/01/2019	10.00	23/02/2019	0.00	23/03/2019	4.70	23/12/2019	0.00
24/01/2019	4.40	24/02/2019	0.00	24/03/2019	6.20	24/12/2019	21.00
25/01/2019	0.00	25/02/2019	0.00	25/03/2019	0.40	25/12/2019	2.00
26/01/2019	8.80	26/02/2019	0.00	26/03/2019	3.80	26/12/2019	21.40
27/01/2019	10.10	27/02/2019	3.10	27/03/2019	1.20	27/12/2019	0.00
28/01/2019	2.60	28/02/2019	0.80	28/03/2019	0.50	28/12/2019	3.50
29/01/2019	23.70			29/03/2019	2.60	29/12/2019	1.80
30/01/2019	2.00			30/03/2019	0.00	30/12/2019	0.00
31/01/2019	1.00			31/03/2019	0.00	31/12/2019	1.00
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>6.00</b>		<b>5.00</b>		<b>0.00</b>		<b>7.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN VIQUES: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2017)

**Estación : VIQUES**

Departamento : JUNÍN      Provincia : HUANCAYO      Distrito : VIQUES      Año: 2017  
 Latitud : 12°9'47"      Longitud : 75°14'7"      Altitud : 3186 msnm.      Código : 112037

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2017	14.50	01/02/2017	0.00	01/03/2017	3.40	01/12/2017	0.00
02/01/2017	11.40	02/02/2017	0.00	02/03/2017	0.00	02/12/2017	3.80
03/01/2017	7.10	03/02/2017	0.00	03/03/2017	5.20	03/12/2017	0.00
04/01/2017	8.60	04/02/2017	0.00	04/03/2017	0.80	04/12/2017	3.60
05/01/2017	2.90	05/02/2017	6.40	05/03/2017	1.30	05/12/2017	10.70
06/01/2017	4.60	06/02/2017	2.60	06/03/2017	2.70	06/12/2017	0.00
07/01/2017	1.90	07/02/2017	0.00	07/03/2017	9.20	07/12/2017	0.00
08/01/2017	0.00	08/02/2017	4.80	08/03/2017	6.20	08/12/2017	0.00
09/01/2017	2.40	09/02/2017	3.00	09/03/2017	1.70	09/12/2017	0.00
10/01/2017	6.70	10/02/2017	2.90	10/03/2017	0.00	10/12/2017	0.00
11/01/2017	5.60	11/02/2017	6.30	11/03/2017	0.00	11/12/2017	0.00
12/01/2017	3.00	12/02/2017	13.20	12/03/2017	0.00	12/12/2017	0.00
13/01/2017	3.70	13/02/2017	7.20	13/03/2017	4.90	13/12/2017	0.00
14/01/2017	6.30	14/02/2017	0.00	14/03/2017	9.60	14/12/2017	0.00
15/01/2017	10.20	15/02/2017	0.00	15/03/2017	3.90	15/12/2017	3.60
16/01/2017	4.60	16/02/2017	13.60	16/03/2017	0.00	16/12/2017	4.00
17/01/2017	6.10	17/02/2017	3.60	17/03/2017	0.00	17/12/2017	10.40
18/01/2017	0.00	18/02/2017	0.00	18/03/2017	0.00	18/12/2017	0.00
19/01/2017	26.30	19/02/2017	26.40	19/03/2017	0.00	19/12/2017	0.00
20/01/2017	7.90	20/02/2017	0.00	20/03/2017	0.00	20/12/2017	3.10
21/01/2017	4.20	21/02/2017	0.90	21/03/2017	0.00	21/12/2017	4.50
22/01/2017	10.30	22/02/2017	5.10	22/03/2017	0.00	22/12/2017	1.20
23/01/2017	1.30	23/02/2017	18.70	23/03/2017	4.80	23/12/2017	2.20
24/01/2017	12.70	24/02/2017	1.80	24/03/2017	0.00	24/12/2017	0.00
25/01/2017	0.00	25/02/2017	3.50	25/03/2017	0.00	25/12/2017	0.00
26/01/2017	8.10	26/02/2017	11.60	26/03/2017	0.00	26/12/2017	9.10
27/01/2017	12.60	27/02/2017	1.30	27/03/2017	3.70	27/12/2017	2.20
28/01/2017	0.00	28/02/2017	0.00	28/03/2017	12.00	28/12/2017	0.00
29/01/2017	0.00			29/03/2017	0.00	29/12/2017	0.80
30/01/2017	0.00			30/03/2017	13.50	30/12/2017	3.60
31/01/2017	0.00			31/03/2017	0.00	31/12/2017	0.00
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>7.00</b>		<b>5.00</b>		<b>2.00</b>		<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN VIQUES: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2018)

**Estación : VIQUES**

Departamento : JUNÍN      Provincia : HUANCAYO      Distrito : VIQUES      Año: 2018  
 Latitud : 12°9'47"      Longitud : 75°14'7"      Altitud : 3186 msnm.      Código : 112037

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2018	0.00	01/02/2018	3.40	01/03/2018	9.30	01/12/2018	0.00
02/01/2018	10.20	02/02/2018	0.00	02/03/2018	5.70	02/12/2018	0.00
03/01/2018	1.30	03/02/2018	2.40	03/03/2018	1.90	03/12/2018	0.00
04/01/2018	0.00	04/02/2018	1.20	04/03/2018	3.50	04/12/2018	0.00
05/01/2018	3.60	05/02/2018	0.00	05/03/2018	0.00	05/12/2018	0.00
06/01/2018	0.00	06/02/2018	0.00	06/03/2018	0.00	06/12/2018	0.00
07/01/2018	10.60	07/02/2018	0.00	07/03/2018	0.00	07/12/2018	0.00
08/01/2018	0.40	08/02/2018	5.30	08/03/2018	3.60	08/12/2018	2.10
09/01/2018	0.00	09/02/2018	0.00	09/03/2018	1.70	09/12/2018	0.00
10/01/2018	7.30	10/02/2018	14.50	10/03/2018	5.30	10/12/2018	1.60
11/01/2018	0.00	11/02/2018	0.00	11/03/2018	8.00	11/12/2018	0.00
12/01/2018	4.30	12/02/2018	7.10	12/03/2018	7.50	12/12/2018	0.00
13/01/2018	0.80	13/02/2018	0.00	13/03/2018	8.50	13/12/2018	0.00
14/01/2018	0.00	14/02/2018	9.60	14/03/2018	11.10	14/12/2018	0.00
15/01/2018	2.20	15/02/2018	1.30	15/03/2018	0.00	15/12/2018	0.00
16/01/2018	18.60	16/02/2018	12.10	16/03/2018	9.00	16/12/2018	0.90
17/01/2018	16.80	17/02/2018	3.50	17/03/2018	3.10	17/12/2018	11.40
18/01/2018	11.20	18/02/2018	0.00	18/03/2018	20.00	18/12/2018	9.30
19/01/2018	1.70	19/02/2018	1.60	19/03/2018	4.30	19/12/2018	0.00
20/01/2018	5.50	20/02/2018	11.80	20/03/2018	1.80	20/12/2018	3.40
21/01/2018	9.50	21/02/2018	2.40	21/03/2018	0.00	21/12/2018	0.00
22/01/2018	4.00	22/02/2018	2.10	22/03/2018	12.30	22/12/2018	0.00
23/01/2018	4.70	23/02/2018	0.70	23/03/2018	12.40	23/12/2018	0.00
24/01/2018	0.00	24/02/2018	0.00	24/03/2018	4.20	24/12/2018	4.90
25/01/2018	0.00	25/02/2018	2.90	25/03/2018	3.40	25/12/2018	0.00
26/01/2018	15.90	26/02/2018	5.80	26/03/2018	0.00	26/12/2018	4.70
27/01/2018	0.00	27/02/2018	1.70	27/03/2018	0.00	27/12/2018	14.60
28/01/2018	20.90	28/02/2018	0.00	28/03/2018	21.40	28/12/2018	0.00
29/01/2018	7.20			29/03/2018	20.80	29/12/2018	0.00
30/01/2018	13.50			30/03/2018	0.00	30/12/2018	9.20
31/01/2018	0.00			31/03/2018	0.00	31/12/2018	5.70
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>8.00</b>		<b>3.00</b>		<b>6.00</b>		<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN VIQUES: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2019)

**Estación : VIQUES**

Departamento : JUNÍN      Provincia : HUANCAYO      Distrito : VIQUES      Año: 2019  
 Latitud : 12°9'47"      Longitud : 75°14'7"      Altitud : 3186 msnm.      Código : 112037

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2019	0.00	01/02/2019	5.30	01/03/2019	0.00	01/12/2019	0.00
02/01/2019	0.00	02/02/2019	12.30	02/03/2019	0.00	02/12/2019	23.80
03/01/2019	0.00	03/02/2019	4.20	03/03/2019	1.60	03/12/2019	0.00
04/01/2019	0.00	04/02/2019	1.30	04/03/2019	2.40	04/12/2019	10.50
05/01/2019	0.00	05/02/2019	0.00	05/03/2019	1.20	05/12/2019	0.00
06/01/2019	0.00	06/02/2019	18.20	06/03/2019	2.70	06/12/2019	4.10
07/01/2019	0.00	07/02/2019	4.20	07/03/2019	0.00	07/12/2019	0.00
08/01/2019	2.40	08/02/2019	0.80	08/03/2019	3.50	08/12/2019	8.20
09/01/2019	0.00	09/02/2019	10.70	09/03/2019	0.00	09/12/2019	0.00
10/01/2019	4.30	10/02/2019	3.50	10/03/2019	2.10	10/12/2019	2.60
11/01/2019	2.60	11/02/2019	11.10	11/03/2019	3.40	11/12/2019	0.00
12/01/2019	4.80	12/02/2019	10.00	12/03/2019	0.00	12/12/2019	1.20
13/01/2019	18.10	13/02/2019	0.00	13/03/2019	0.00	13/12/2019	3.50
14/01/2019	3.70	14/02/2019	3.70	14/03/2019	9.80	14/12/2019	0.00
15/01/2019	14.10	15/02/2019	2.60	15/03/2019	6.80	15/12/2019	7.50
16/01/2019	12.40	16/02/2019	1.30	16/03/2019	0.00	16/12/2019	1.40
17/01/2019	3.20	17/02/2019	0.00	17/03/2019	0.00	17/12/2019	0.00
18/01/2019	1.50	18/02/2019	4.30	18/03/2019	4.80	18/12/2019	17.60
19/01/2019	0.80	19/02/2019	3.50	19/03/2019	0.00	19/12/2019	4.50
20/01/2019	3.50	20/02/2019	0.00	20/03/2019	1.50	20/12/2019	12.20
21/01/2019	4.80	21/02/2019	0.00	21/03/2019	9.20	21/12/2019	19.30
22/01/2019	8.10	22/02/2019	0.00	22/03/2019	5.00	22/12/2019	0.00
23/01/2019	8.30	23/02/2019	0.00	23/03/2019	0.00	23/12/2019	3.40
24/01/2019	0.00	24/02/2019	0.00	24/03/2019	9.30	24/12/2019	6.50
25/01/2019	0.00	25/02/2019	2.40	25/03/2019	0.00	25/12/2019	0.80
26/01/2019	0.00	26/02/2019	1.30	26/03/2019	5.40	26/12/2019	10.40
27/01/2019	16.20	27/02/2019	0.00	27/03/2019	3.50	27/12/2019	0.00
28/01/2019	6.40	28/02/2019	0.00	28/03/2019	0.00	28/12/2019	0.00
29/01/2019	10.30			29/03/2019	0.00	29/12/2019	4.10
30/01/2019	13.10			30/03/2019	0.00	30/12/2019	0.00
31/01/2019	2.60			31/03/2019	0.00	31/12/2019	0.00
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>6.00</b>		<b>5.00</b>		<b>0.00</b>		<b>6.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN HUAYAO: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2017)

**Estación : HUAYAO**

Departamento : JUNÍN      Provincia : CHUPACA      Distrito : HUACHAC      Año: 2017  
 Latitud : 12°2'18"      Longitud : 75°20'17"      Altitud : 3360 msnm.      Código : 112056

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2017	15.10	01/02/2017	0.00	01/03/2017	1.00	01/12/2017	0
02/01/2017	10.90	02/02/2017	0.00	02/03/2017	0.80	02/12/2017	4
03/01/2017	2.50	03/02/2017	0.00	03/03/2017	4.20	03/12/2017	0
04/01/2017	13.30	04/02/2017	4.90	04/03/2017	0.00	04/12/2017	0.8
05/01/2017	0.60	05/02/2017	0.50	05/03/2017	0.60	05/12/2017	11.1
06/01/2017	5.80	06/02/2017	1.60	06/03/2017	1.20	06/12/2017	0.1
07/01/2017	2.20	07/02/2017	0.00	07/03/2017	10.50	07/12/2017	0.1
08/01/2017	2.20	08/02/2017	14.20	08/03/2017	2.00	08/12/2017	0
09/01/2017	1.60	09/02/2017	2.70	09/03/2017	4.00	09/12/2017	0
10/01/2017	0.60	10/02/2017	0.60	10/03/2017	3.90	10/12/2017	0
11/01/2017	1.40	11/02/2017	10.60	11/03/2017	8.00	11/12/2017	0
12/01/2017	7.40	12/02/2017	7.50	12/03/2017	0.00	12/12/2017	0
13/01/2017	1.70	13/02/2017	33.70	13/03/2017	5.30	13/12/2017	0
14/01/2017	4.50	14/02/2017	0.00	14/03/2017	1.90	14/12/2017	0
15/01/2017	12.00	15/02/2017	0.00	15/03/2017	0.00	15/12/2017	4.8
16/01/2017	4.30	16/02/2017	18.30	16/03/2017	1.50	16/12/2017	6.8
17/01/2017	18.10	17/02/2017	5.60	17/03/2017	4.60	17/12/2017	10.7
18/01/2017	2.00	18/02/2017	0.40	18/03/2017	0.00	18/12/2017	0.7
19/01/2017	18.50	19/02/2017	6.80	19/03/2017	0.00	19/12/2017	0
20/01/2017	4.10	20/02/2017	1.10	20/03/2017	0.00	20/12/2017	3.6
21/01/2017	1.70	21/02/2017	1.60	21/03/2017	0.00	21/12/2017	5.6
22/01/2017	13.70	22/02/2017	14.90	22/03/2017	0.00	22/12/2017	4.5
23/01/2017	1.10	23/02/2017	13.60	23/03/2017	0.00	23/12/2017	8.2
24/01/2017	20.80	24/02/2017	0.00	24/03/2017	0.00	24/12/2017	0
25/01/2017	3.30	25/02/2017	1.00	25/03/2017	25.50	25/12/2017	0
26/01/2017	17.50	26/02/2017	18.30	26/03/2017	3.70	26/12/2017	0
27/01/2017	4.50	27/02/2017	0.30	27/03/2017	1.70	27/12/2017	0.9
28/01/2017	0.00	28/02/2017	2.80	28/03/2017	3.40	28/12/2017	2.9
29/01/2017	0.00			29/03/2017	0.80	29/12/2017	0.4
30/01/2017	0.00			30/03/2017	2.40	30/12/2017	9.6
31/01/2017	0.00			31/03/2017	0.00	31/12/2017	0
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>9.00</b>		<b>7.00</b>		<b>2.00</b>		<b>2.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN HUAYAO: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2018)

**Estación : HUAYAO**

Departamento : JUNÍN      Provincia : CHUPACA      Distrito : HUACHAC      Año: 2018  
 Latitud : 12°2'18"      Longitud : 75°20'17"      Altitud : 3360 msnm.      Código : 112056

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2018	0.00	01/02/2018	3.50	01/03/2018	3.50	01/12/2018	0.00
02/01/2018	6.90	02/02/2018	0.70	02/03/2018	8.90	02/12/2018	0.00
03/01/2018	0.00	03/02/2018	2.70	03/03/2018	3.70	03/12/2018	0.00
04/01/2018	0.00	04/02/2018	3.80	04/03/2018	5.10	04/12/2018	0.00
05/01/2018	4.00	05/02/2018	0.70	05/03/2018	9.50	05/12/2018	0.00
06/01/2018	0.60	06/02/2018	0.00	06/03/2018	5.30	06/12/2018	0.00
07/01/2018	13.80	07/02/2018	0.00	07/03/2018	0.00	07/12/2018	0.00
08/01/2018	1.80	08/02/2018	2.00	08/03/2018	0.80	08/12/2018	0.00
09/01/2018	0.80	09/02/2018	7.70	09/03/2018	1.00	09/12/2018	0.00
10/01/2018	2.90	10/02/2018	1.00	10/03/2018	15.50	10/12/2018	1.00
11/01/2018	23.60	11/02/2018	0.00	11/03/2018	10.80	11/12/2018	0.00
12/01/2018	2.30	12/02/2018	2.50	12/03/2018	10.00	12/12/2018	0.00
13/01/2018	3.20	13/02/2018	0.70	13/03/2018	5.10	13/12/2018	0.00
14/01/2018	3.40	14/02/2018	7.20	14/03/2018	9.80	14/12/2018	5.10
15/01/2018	2.70	15/02/2018	2.00	15/03/2018	2.10	15/12/2018	1.00
16/01/2018	30.90	16/02/2018	7.60	16/03/2018	2.30	16/12/2018	22.60
17/01/2018	31.80	17/02/2018	8.40	17/03/2018	15.00	17/12/2018	2.00
18/01/2018	8.50	18/02/2018	0.10	18/03/2018	3.10	18/12/2018	7.60
19/01/2018	7.20	19/02/2018	0.00	19/03/2018	4.30	19/12/2018	0.00
20/01/2018	0.80	20/02/2018	1.70	20/03/2018	0.00	20/12/2018	6.00
21/01/2018	3.60	21/02/2018	10.70	21/03/2018	0.30	21/12/2018	0.00
22/01/2018	3.60	22/02/2018	0.70	22/03/2018	3.80	22/12/2018	0.00
23/01/2018	1.70	23/02/2018	0.20	23/03/2018	15.60	23/12/2018	0.00
24/01/2018	0.00	24/02/2018	1.00	24/03/2018	4.60	24/12/2018	3.40
25/01/2018	0.00	25/02/2018	1.50	25/03/2018	0.00	25/12/2018	0.10
26/01/2018	5.60	26/02/2018	11.10	26/03/2018	0.00	26/12/2018	1.60
27/01/2018	0.00	27/02/2018	1.20	27/03/2018	0.00	27/12/2018	0.90
28/01/2018	0.00	28/02/2018	1.20	28/03/2018	22.10	28/12/2018	0.00
29/01/2018	2.50			29/03/2018	0.00	29/12/2018	0.00
30/01/2018	4.50			30/03/2018	0.80	30/12/2018	1.50
31/01/2018	0.00			31/03/2018	0.00	31/12/2018	3.50
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>4.00</b>		<b>2.00</b>		<b>6.00</b>		<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

*ESTACIÓN HUAYAO: Precipitación diaria (mm)*  
(Año 2019)

**Estación : HUAYAO**

Departamento : JUNÍN      Provincia : CHUPACA      Distrito : HUACHAC      Año: 2019  
 Latitud : 12°2'18"      Longitud : 75°20'17"      Altitud : 3360 msnm.      Código : 112056

ENERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	FEBRERO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	MARZO	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	DICIEMBRE	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)
01/01/2019	0.00	01/02/2019	1.50	01/03/2019	1.10	01/12/2019	0.00
02/01/2019	0.00	02/02/2019	11.50	02/03/2019	0.00	02/12/2019	14.20
03/01/2019	0.00	03/02/2019	3.40	03/03/2019	0.00	03/12/2019	0.70
04/01/2019	2.30	04/02/2019	5.60	04/03/2019	6.00	04/12/2019	7.50
05/01/2019	0.00	05/02/2019	6.10	05/03/2019	0.50	05/12/2019	1.60
06/01/2019	0.70	06/02/2019	11.00	06/03/2019	5.60	06/12/2019	0.60
07/01/2019	0.00	07/02/2019	2.10	07/03/2019	11.20	07/12/2019	0.10
08/01/2019	0.30	08/02/2019	1.20	08/03/2019	5.30	08/12/2019	4.80
09/01/2019	0.00	09/02/2019	2.00	09/03/2019	1.80	09/12/2019	0.00
10/01/2019	3.80	10/02/2019	9.10	10/03/2019	16.50	10/12/2019	6.00
11/01/2019	1.10	11/02/2019	8.70	11/03/2019	0.00	11/12/2019	0.00
12/01/2019	4.10	12/02/2019	8.80	12/03/2019	2.10	12/12/2019	3.00
13/01/2019	15.70	13/02/2019	1.30	13/03/2019	0.00	13/12/2019	11.80
14/01/2019	0.00	14/02/2019	7.40	14/03/2019	12.40	14/12/2019	0.00
15/01/2019	6.00	15/02/2019	2.60	15/03/2019	1.30	15/12/2019	11.40
16/01/2019	9.00	16/02/2019	0.60	16/03/2019	0.00	16/12/2019	4.00
17/01/2019	1.80	17/02/2019	0.00	17/03/2019	0.00	17/12/2019	10.90
18/01/2019	6.20	18/02/2019	0.00	18/03/2019	7.60	18/12/2019	30.30
19/01/2019	2.40	19/02/2019	11.90	19/03/2019	0.10	19/12/2019	3.30
20/01/2019	2.10	20/02/2019	0.30	20/03/2019	0.60	20/12/2019	0.20
21/01/2019	2.20	21/02/2019	0.00	21/03/2019	3.60	21/12/2019	20.70
22/01/2019	3.90	22/02/2019	0.50	22/03/2019	2.60	22/12/2019	1.20
23/01/2019	10.50	23/02/2019	0.00	23/03/2019	6.50	23/12/2019	7.20
24/01/2019	13.20	24/02/2019	0.00	24/03/2019	1.90	24/12/2019	7.40
25/01/2019	0.00	25/02/2019	9.80	25/03/2019	0.50	25/12/2019	0.10
26/01/2019	4.90	26/02/2019	1.70	26/03/2019	3.50	26/12/2019	30.80
27/01/2019	8.10	27/02/2019	0.70	27/03/2019	3.20	27/12/2019	0.00
28/01/2019	11.10	28/02/2019	0.50	28/03/2019	3.00	28/12/2019	45.80
29/01/2019	28.70			29/03/2019	3.40	29/12/2019	2.10
30/01/2019	11.50			30/03/2019	0.00	30/12/2019	0.00
31/01/2019	0.90			31/03/2019	0.00	31/12/2019	0.00
<b>Número de días con valores ≥ 10mm</b>	<b>6.00</b>		<b>3.00</b>		<b>3.00</b>		<b>8.00</b>

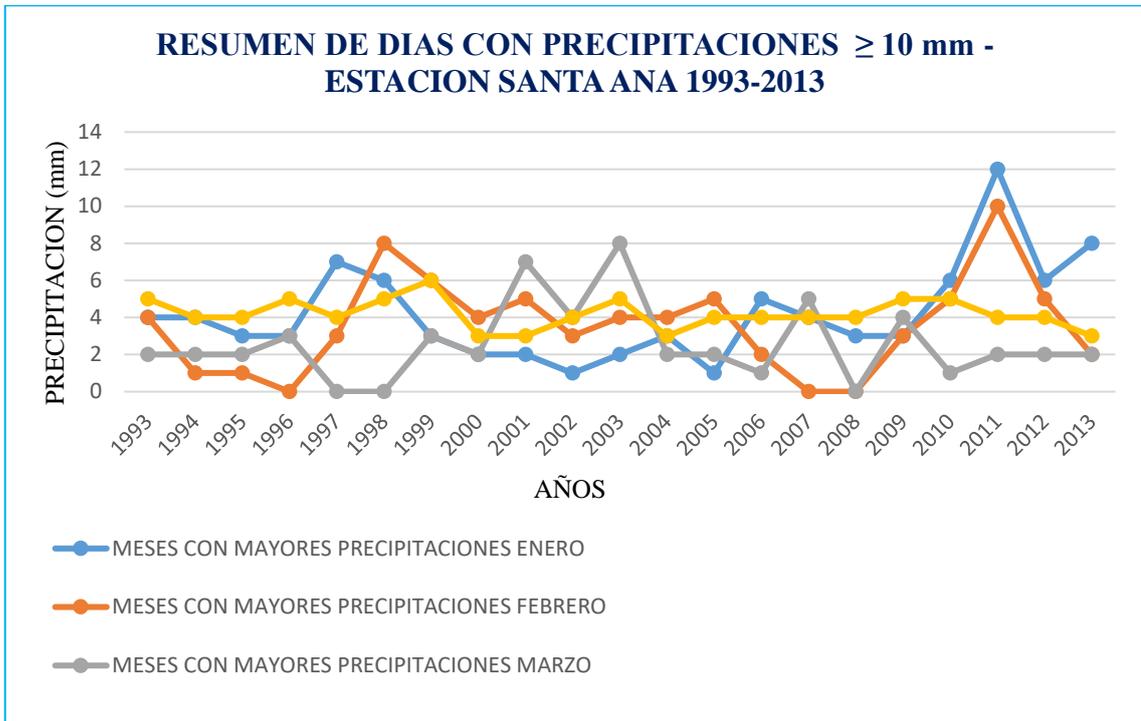
Fuente: Elaboración propia.

*Resumen de días con precipitaciones  $\geq 10$  mm - Estación Santa Ana 1993-2013*

AÑO	MESES CON MAYORES PRECIPITACIONES			
	ENERO	FEBRERO	MARZO	DICIEMBRE
1993	4	4	2	5
1994	4	1	2	4
1995	3	1	2	4
1996	3	0	3	5
1997	7	3	0	4
1998	6	8	0	5
1999	3	6	3	6
2000	2	4	2	3
2001	2	5	7	3
2002	1	3	4	4
2003	2	4	8	5
2004	3	4	2	3
2005	1	5	2	4
2006	5	2	1	4
2007	4	0	5	4
2008	3	0	0	4
2009	3	3	4	5
2010	6	5	1	5
2011	12	10	2	4
2012	6	5	2	4
2013	8	2	2	3
<b>PROMEDIO</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>TOTAL DE DÍAS</b>			<b>17</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de días con precipitaciones  $\geq 10$  mm  
Estación Santa Ana 1993-2013



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE CBR DE LAS CANTERAS



**TERRALAB SAC**  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
 CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES

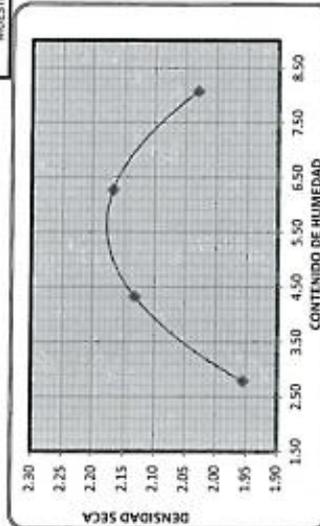
RUC 20568403038

EXPEDIENTE N°  
 ESTUDIO  
 PROYECTO

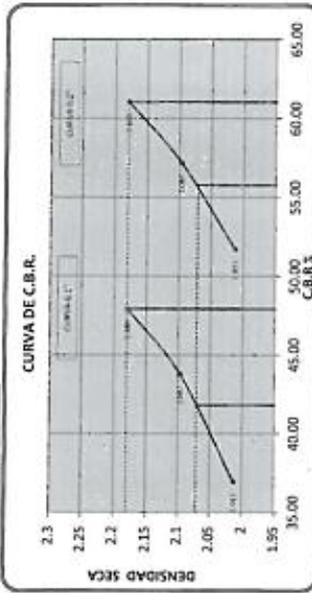
UBICACIÓN  
 FECHA DE RECEPCIÓN  
 FECHA DE EMISIÓN

DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR ASTM D1883

CANTERA	LIMITO
MUESTRA	M-1



MÁXIMA DENSIDAD SECA : 2.15 (g/cm<sup>3</sup>)  
 CONTENIDO DE HUMEDAD : 5.50 (%)



Penetración (mm)	S.M.D.S.	CBR %
0.1	100	47.91
0.1	95	41.01
0.2	100	61.03
0.2	95	55.76

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD (INIA-FEPROSA/INICOP/OP-004/1991)

AV. MARISCAL CASTILLA 3950 INT. A SAÑOS CHICO EL TAMBO HUANCAYO  
 CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES  
 RUC. 20568403038, CEL 984926008, RPM #984926008



**TERRALAB SAC**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES

RUC 20568403038

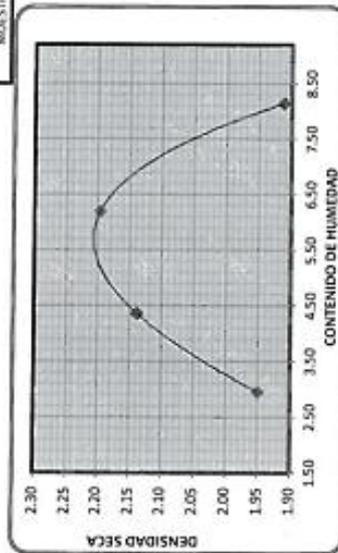
EXPEDIENTE N°  
ESTUDIO

PROYECTO

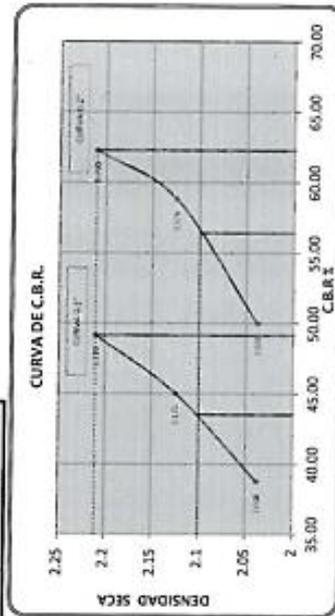
UBICACIÓN  
FECHA DE RECEPCIÓN  
FECHA DE EMISIÓN

**DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR - ASTM D1883**

CANTERA	ORCOTUNA
MUESTRA	M1



MÁXIMA DENSIDAD SECA : 2.18 (g/cm³)  
CONTENIDO DE HUMEDAD : 5.8% (%)



Penetración (mm)	3 M.D.S.	CBR %
0.1	100	49.15
0.1	55	43.50
0.2	100	62.27
0.2	95	56.41

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD, SOLO PARA PERSONAS INSCRITAS (UP 004 - 1991)

AV. MARISCAL CASTILLA 3950 INT. A SAÑOS CHICO EL TAMBO HUANCAYO  
CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES.  
RUC. 20568403038, CEL 984926008, RPM #984926008



**TERRALAB SAC**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES

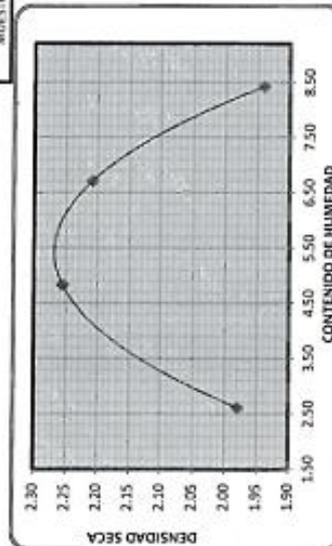
RUC 20568403038

EXPEDIENTE N°  
ESTUDIO  
PROYECTO

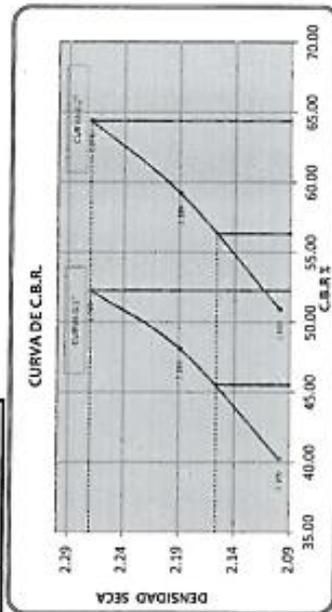
UBICACIÓN  
FECHA DE RECEPCIÓN  
FECHA DE EMISIÓN

**DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE CBR - ASTM D1883**

CANTERA	CHACLAS
MUESTRA	M-1



MÁXIMA DENSIDAD SECA : 2.27 (gr/cm<sup>3</sup>)  
CONTENIDO DE HUMEDAD : 5.96 (%)



Penetración (p/ig)	% M.O.S.	C.B.R. %
0.1	100	52.26
0.1	95	45.52
0.2	100	64.37
0.2	95	56.32

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO. SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD (SIN PLUMA INDECOR) (SP-004-1997)

AV. MARISCAL CASTILLA 3950 INT. A SAÑOS CHICO EL TAMBO HUANCAYO  
CONSULTORIA DE OBRAS CIVILES.  
RUC. 20568403038, CEL 984926008, RPM #984926008

## Consentimiento informado



GERENCIA DE OBRAS PÚBLICAS

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

ENTIDAD : Municipalidad Distrital de Chilca - Huancayo  
AREA : Gerencia de Obras Públicas  
INVESTIGACIÓN : RELACION ENTRE LA CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUBBASE Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS AASTHO 93  
INVESTIGADOR : Ing. Javier Reynoso Oscanoa

Por medio del presente, se deja constancia que el Ing. Javier Reynoso Oscanoa realizará la investigación "RELACION ENTRE LA CALIDAD DE DRENAJE DE LA SUBBASE Y EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS AASTHO 93", para lo cual obtendrá muestras de las canteras de material de sub base granular que abastecen a las obras del distrito como son: Orcotuna, Chaclas y Umuto, así como, utilizará información de expedientes técnicos realizados por la Gerencia de Obras Públicas-MDCH, como son:

- MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DE LA AV. PROCERES TRAMO: CANAL CIMIR - AV. PANAMERICANA SUR DEL DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO - JUNIN
- MEJORAMIENTO DE PISTAS Y VEREDAS DE LA AV. JACINTO IBARRA TRAMO: RIO CHILCA - AV. LEONCIO PRADO, DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO - JUNIN
- MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL JR. 28 DE JULIO, JR. A. B. LEGUIA; JR. JORGE BASADRE; JR. PARAISO; JR. UNION; JR. AREQUIPA; Y PASAJES: VEGA, C. ALEGRIA, ROMANCOTO, COCHARCAS, ANDAMAYO, LOS INCAS, GUTARRA Y 14 DE FEBRERO, SECTOR PROGRESO DEL, DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO - JUNIN
- MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD DEL JR. INTEGRACIÓN TRAMO: JR. HUMBOLT - RIO AHALI; JR. SUCRE TRAMO: JR. PROGRESO - JR. PRECURSORES Y PASAJES: ANDRÉS A. CÁCERES, SAN GABRIEL, SIMÓN BOLÍVAR, JOSÉ SÁNCHEZ CARRIÓN, SAN PABLO, SAN PEDRO, BONILLA, ORELLANA, SAN MIGUEL, COLLASUYO Y ANTISUYO DEL DISTRITO DE CHILCA - PROVINCIA DE HUANCAYO - REGIÓN JUNIN
- MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DEL JR. LOS INCAS TRAMO: PUENTE OCOPILLA - PJE. MENDOZA Y PASAJES ADYACENTES DEL SECTOR SAN FERNANDO DEL DISTRITO DE CHILCA - PROVINCIA DE HUANCAYO - DEPARTAMENTO DE JUNIN

Para lo cual, en mi calidad de Gerente de Obras-MDCH, doy mi libre consentimiento, habiendo sido explicado que la información proporcionada al investigador será manejada adecuadamente en confidencialidad y ética, sin generar repercusiones negativas hacia la entidad o mi persona, en aras de fomentar la investigación y beneficio del distrito de Chilca.



Cc.  
Archivo

## Fotos de la aplicación del instrumento

