

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS DE
LA VÍA ICP- CRUCE FALTRIQUERA CON GRANADILLO.**

**MARIO ANDRÉS BETANCURT PINZÓN
CARLOS ANDRÉS GUALDRON GÓMEZ
OSCAR HUMBERTO RODRÍGUEZ AMAYA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2012**

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS DE
LA VÍA ICP- CRUCE FALTRIQUERA CON GRANADILLO.**

**MARIO ANDRÉS BETANCURT PINZÓN
CARLOS ANDRÉS GUALDRON GÓMEZ
OSCAR HUMBERTO RODRÍGUEZ AMAYA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil**

Director

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN
Ingeniero Civil, M. Sc, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2012**

Este trabajo se lo dedico a todas aquellas
personas que contribuyeron a mi crecimiento
académico y personal.

A DIOS por permitirme alcanzar esta nueva meta
en mi vida.

A MIS PADRES Mario Ignacio y Elsa por su apoyo
incondicional porque todo lo que soy se los debo a
ellos y por enseñarme que lo difícil no es caer si
no saber levantarse.

A MI HERMANO por su apoyo en todo momento.

A MI NOVIA Susana por brindarme su cariño y
comprensión a lo largo de esta etapa de mi vida.

A MI FAMILIA, cuyos buenos deseos y
colaboración siempre estuvieron a mi lado.

A MIS AMIGOS, Carolina, Elizabeth, Zaira, Joan,
José Luis, Nicolás, Oscar, por su constante e
incondicional apoyo.

MARIO ANDRES

A DIOS por haberme dado la oportunidad de estudiar en esta universidad tan prestigiosa, gracias por cada segundo de vida que me brindas, por acompañarme y ser mi fortaleza en mis momentos de soledad y angustia.

A MIS PADRES les agradezco todo el esfuerzo que hicieron para que pudiera culminar mis estudios profesionales, gracias por cada segundo de su tiempo dedicado a mi formación como una persona útil para la sociedad.

A MI HERMANA Mayra, gracias por soportarme como hermano mayor y por apoyarme en mis situaciones de dificultad.

A CAROLINA, por dedicarme su tiempo en toda mi carrera universitaria, por estar siempre incondicionalmente acompañándome.

A MIS COMPAÑEROS DE PROYECTO quienes estuvieron siempre dispuestos para trabajar y sacar adelante el proyecto.

A TODOS MIS PROFESORES que durante toda la carrera me brindaron su conocimiento para formarme como profesional.

A TODOS MIS COMPAÑEROS que fui conociendo durante la carrera, gracias por enseñarme el valor de la amistad y de la importancia del trabajo en equipo.

CARLOS ANDRES

Este trabajo es el resultado del esfuerzo y dedicación que tuve, pero estoy seguro que los resultados obtenidos no hubiesen sido los mismos sin el apoyo de todas las personas que estuvieron conmigo a lo largo del proyecto. Agradezco:

A DIOS, por bendecirme siempre y a lo largo del trabajo poner en mi camino las herramientas necesarias para lograrlo.

A MIS PADRES, Flor Ángela Amaya Díaz y Humberto Rodríguez Rojas, porque con el esfuerzo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida hoy pude dar un paso importante para llegar a ser un gran profesional.

A MIS HERMANOS, Andrés y Angel porque estuvieron pendientes de mi a lo largo de mi carrera.

A MI NOVIA, Angie Lizeth Quiroz Jaimes, que me acompañó a lo largo de este tiempo, fue la persona que me apoyo, me escucho y me aconsejo en el transcurso del proyecto, y lo seguirá haciendo a lo largo de mi vida, estoy completamente agradecido con ella por todo lo que hasta el momento ha hecho en mi vida, la amo y deseo dedicarle este primer triunfo.

OSCAR HUMBERTO

AGRADECIMIENTOS

Presentamos nuestros más sinceros agradecimientos en primer lugar al profesor Eduardo Alberto Castañeda Pinzón, quien fue el director de este proyecto y el encargado de brindarnos su colaboración a través de sus amplios conocimientos.

A toda la comunidad de las veredas el Limonal, Faltriquera, Granadillo, la Palma, Cubin y las Rosas, quienes nos brindaron su colaboración en la realización de este proyecto, especialmente a Don Luis líder de la Acción Comunal de la vereda el Limonal.

Al Ingeniero Carlos Gualdron por poner a nuestro servicio sus conocimientos para poder llevar a cabo este proyecto.

Al laboratorista Germán por brindarnos su ayuda en la realización de los diferentes ensayos que realizamos.

A la Universidad Industrial de Santander por habernos formado como persona y profesionales.

A nuestras familias por su apoyo incondicional en todo momento.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. GENERALIDADES	25
1.1 LOCALIZACIÓN	25
1.2 GEOLOGÍA REGIONAL DE LA ZONA DEL PROYECTO	28
1.2.1 Rocas igneas y metamórficas de alta pendiente.	29
1.2.3 Neis de Bucaramanga (pdb)	29
1.2.4 Características geotécnicas	30
2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO	32
2.1 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA.	32
2.1.1 Según su funcionalidad: vía terciaria	32
2.1.2 Según el tipo de terreno: terreno escarpado	32
2.2 REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA ACTUAL DE LA VÍA.	33
2.2.1 Velocidad de diseño tramo homogéneo (vtr)	33
2.2.2 Velocidad específica de las curvas horizontales (vch)	34
2.2.3 Velocidad específica de la tangente vertical (vtrv)	35
2.2.4 Peralte máximo: vías terciarias	35
2.2.5 Radio de curvatura mínimo (rcmin)	36
2.2.6 Perfil del eje de la carretera	37
2.2.7 Curvas verticales	38
3 ESTUDIO DE TRANSITO	39
3.1 CONTEOS	39
3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
3.2.1 Volúmenes promedio	40
3.2.2 Variación en el flujo del transito	41
3.2.3 Variaciones Diarias	42
3.2.4 Variaciones Horarias	43
3.2.5 Determinación del tránsito promedio diario semanal y el volumen horario de diseño	43

3.2.6	Tránsito Promedio Diario Semanal	46
3.2.7	Volumen horario de diseño.	47
3.3	PRONOSTICO DEL TRAFICO	47
3.3.1	Transito normal.	48
3.3.2	Transito generado	48
3.4	Calculo del número de ejes equivalentes.	49
3.4.1	Determinación del factor de daño diario	49
3.4.2	Factor de corrección por estacionalidad	50
3.4.3	Calculo del número de ejes equivalentes para el año base	52
3.4.4	Calculo del número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 15 años	53
4	ESTUDIO GEOTÉCNICO DE SUBRASANTE	55
4.1	DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE SUBRASANTE CON CONO DINÁMICO	55
4.2	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (ESTUDIO DE SUELOS)	56
4.2.1	Análisis granulométrico de suelos (I.N.V.E-123-07)	56
4.2.2	Determinación del límite liquido de los suelos (I.N.V E-125-07)	56
4.2.3	Límite plástico E índice de plasticidad de suelos (I.N.V. E-126-07)	57
4.2.4	Ensayo Modificado de Compactación (I.N.V E-142-07)	57
4.2.5	Clasificación geotécnica de los suelos	58
4.3	DETERMINACIÓN DE CBR DE DISEÑO	59
4.3.1	Selección del valor de la capacidad de la fundación.	61
5	EL CLIMA	63
5.1	CATEGORÍA DEL CLIMA POR HUMEDAD CON BASE EN EL ÍNDICE DE THORNTHWITE	63
5.2	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)	65
5.3	CÁLCULO DE LA ETP	69
5.3.1	Cálculo del índice de calor anual (I)	69
5.3.2	Cálculo de la ETP mensual sin corregir (Tabla 29 ETP sin Corregir:	69
5.4	CATEGORÍA DEL CLIMA	72
5.5	CATEGORÍA DEL CLIMA POR TEMPERATURA	72
5.5.1	Criterios de evaluación	72

6	DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE DRENAJE SUPERFICIAL REQUERIDOS POR LA VÍA	74
6.1	DISEÑO DE CUNETAS	74
6.2	SELECCIÓN DEL DISEÑO (FORMA Y DIMENSIONES) DE LAS CUNETAS Y SU LONGITUD MÁXIMA	79
6.2.1	Cunetas revestidas en concreto	79
6.3	ALCANTARILLAS	82
7	DISEÑO DEL PAVIMENTO	86
7.1	DISEÑO A 15 AÑOS	86
7.2	ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL DISEÑO	90
	8. PRESUPUESTO	91
	CONCLUSIONES	95
	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA	98
	ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Localización del proyecto en el municipio de Piedecuesta	25
Figura 2 Cuadrante de ubicación geológica del proyecto	28
Figura 3 Variación de diaria por vehículo tipo	41
Figura 4 Porcentajes por vehículo tipo	41
Figura 5 Variación diaria del tránsito en la vía de estudio	42
Figura 6 Volúmenes Horarios	43
Figura 7 Apiques realizados en el terreno.	55
Figura 8 Ranurador curvo	57
Figura 9 Familia de curvas I-D-F para la zona de la estación meteorológica Sevilla.	79
Figura 10 Dimensiones de la Cuneta	80
Figura 11 Software para el cálculo de la estructura del Pavimento	87
Figura 12 Estructura de pavimento flexible 1	88
Figura 13 estructura de pavimento flexible 2	89

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Valores de las velocidades de Diseño vía ICP- cruce faltriquera con granadillo	33
Tabla 2 Velocidades Específicas de curvas Horizontales (VCH)	34
Tabla 3 Radio mínimo según (VCH) y $e_{max}=6\%$	36
Tabla 4 Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV)	38
Tabla 5 Valores de $K_{mín}$ para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales	38
Tabla 6 Intensidad horaria en los conteos	39
Tabla 7 Volúmenes promedio diario vehicular	40
Tabla 8 Variación diaria del tránsito en la vía de estudio	42
Tabla 9 Discriminación vehicular del proyecto en estudio.	44
Tabla 10 TPD y Porcentajes de Distribución sin aplicar el factor de expansión para las horas de la madrugada y la noche.	44
Tabla 11 Factor de expansión por tipo en día ordinario.	45
Tabla 12 Factor de expansión por tipo en día festivo.	45
Tabla 13 Discriminación vehicular aplicando el factor de expansión.	46
Tabla 14 TPD y Porcentajes de Distribución aplicando el factor de expansión para las horas de la madrugada y la noche.	46
Tabla 15 Niveles de tránsito	48
Tabla 16 Tasas promedio de crecimiento de tránsito.	48
Tabla 17 Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal	49
Tabla 18 Factores de daño por tipo según INVIAS.	50
Tabla 19 Factor de corrección por estacionalidad	51
Tabla 20 Factor direccional según el manual de diseño de pavimento asfáltico para vías con bajos volúmenes de tránsito	52
Tabla 21 Valores del parámetro Z_r suponiendo una distribución normal	53
Tabla 22 Lista de ubicación de apiques vía ICP- cruce faltriquera con granadillo K0+000 – K3+800N	58
Tabla 23 Resumen de clasificación de suelos extraídos de los apiques vía ICP- Cruce faltriquera con granadillo K0+000 –K3+800	59

Tabla 24 Resumen de ensayo de CBR laboratorio para la vía ICP- Cruce faltriquera con granadillo K0+000 –K3+800	60
Tabla 25 Clasificación climática de Thornthwite	64
Tabla 26 Valores mensuales totales de precipitación (mm)	67
Tabla 27 Temperatura Media mensual	68
Tabla 28 Índice de Calor Mensual	69
Tabla 29 ETP sin Corregir	70
Tabla 30 Valores ETP mensual corregida	71
Tabla 31 Parámetros para la determinación del índice de Thornthwite	71
Tabla 32 Categorías de clima por temperatura	72
Tabla 33 Valor promedio de la temperatura media del aire de los siete (7) días consecutivos más calientes del año	73
Tabla 34 Calculo de la Intensidad histórica para diferentes duraciones de aguacero	77
Tabla 35 Cálculo de la intensidad según la duración del aguacero y el periodo de retorno	78
Tabla 36 Valores de los parámetros A y B y las intensidades de diseño para una duración y período de retorno dados	78
Tabla 37 Dimensiones de la Cuneta	80
Tabla 38 Caudal según el Diametro	83
Tabla 39 Inventario de Alcantarillas Existentes	83
Tabla 40 Complementos de las obras de drenaje Existentes	84
Tabla 41 Coeficientes estructurales <i>ai</i>	88
Tabla 42 Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas <i>mi</i>	88
Tabla 43 Análisis de Precios Unitarios de las Estructuras	90
Tabla 44 Presupuesto Oficial	92

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A ANÁLISIS TOPOGRÁFICO	100
ANEXO B CONTEOS VEHICULARES	104
ANEXO C PRUEBAS DE LABORATORIO	109
ANEXO D CAJA COLECTORA TÍPICA	158
ANEXO E ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN	159

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS DE LA VÍA ICP- CRUCE FALTRIQUERA CON GRANADILLO*

AUTORES: MARIO ANDRES BETANCURT PINZON**
CARLOS ANDRES GUALDRON GOMEZ **
OSCAR HUMBERTO RODRIGUEZ AMAYA**

PALABRAS CLAVES: topografía, tránsito, suelo, clima, cunetas, alcantarillas, diseño, presupuesto.

CONTENIDO:

El diseño de la estructura de pavimento fue elaborado mediante diferentes factores: el estudio topográfico, el estudio del tránsito, el estudio geotécnico de la subrasante y la caracterización del clima, se realizaron conteos vehiculares durante una semana para así encontrar el número de ejes equivalentes de la vía, se tomaron las muestras necesarias en el terreno para realizar todos los respectivos ensayos de laboratorio, permitiendo encontrar el CBR de diseño y el respectivo módulo resiliente que posee el suelo, algunas fuentes importantes que aportaron a la obtención de datos fueron la CDMB (clima, temperatura) y el INGEOMINAS (tipo de formación geológica del lugar, falla del terreno).

Mediante los estudios realizados y los ensayos de laboratorio, se determinó la cantidad de base y pavimento que requería la vía, fue necesario la implementación de un software creado por el ingeniero civil Luis Vásquez basándose de las ecuaciones del método AASHTO 1993, por medio de este software se hallaron los respectivos espesores de base y pavimento flexible que necesita la vía, se manejaron dos propuestas de diferentes espesores cada una, para efectos de economía se estableció el costo por metro cuadrado de cada una de las alternativas, escogiendo así la más económica, mediante el levantamiento topográfico se observó que la vía requería el diseño de cunetas y la reconstrucción de alcantarillas por lo que se plantearon diseños basados en el manual de drenajes para carreteras INVIAS 2009, posibilitando la durabilidad de la vía.

El presupuesto de la obra se obtuvo con base en precios del 2011, proyectados al 2012 por medio de la variación del índice de precios al consumidor (IPC) que fue de 5.76%, por medio de los análisis de precios unitarios (APU) se hizo una descripción detallada de los elementos y las cantidades necesarias para la ejecución de la obra.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería civil.
Director: Ing. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF THE PAVEMENT STRUCTURE AND COMPLEMENTARY WORKS OF THE ROAD ICP-CROSSING FALTRIQUERA WITH GRANADILLO

AUTHORS: MARIO ANDRES BETANCURT PINZON**
CARLOS ANDRES GUALDRON GOMEZ **
OSCAR HUMBERTO RODRIGUEZ AMAYA**

KEY WORDS: topography, traffic, ground, climate, ditches, sewers, design, budget.

DESCRIPTION:

The design of the pavement structure was made by different factors such as the topographic survey, traffic study, geotechnical study of the subgrade and the characterization of climate, vehicle counts were made during one week in order to find the number of axles equivalent of the road. Likewise, were taken the necessary field samples to perform all the respective laboratory tests, allowing to find the design CBR and resilient modulus corresponding to the ground, some important sources that contributed to the data collection were the CDMB (climate, temperature) and INGEOMINAS (type of geological formation of the place, ground failure).

Through studies and laboratory testing, it was determined the amount of base and pavement that the road requires, it was necessary to implement a software created by civil engineer Luis Vasquez based on the equations of AASHTO 1993 method, through this software were found the respective thicknesses base and flexible pavement that the road needs, two proposals were handled with different thicknesses each one, for economy purposes, it was established the cost per square meter of each alternative, and the cheapest was chosen, through topographical survey it was observed that the road needed the design of ditches and the rebuilding of sewers, therefore, there were proposed designs based on the manual de drenajes para carreteras INVIAS 2009, allowing the durability of the road.

The budget of the work was obtained using prices of 2011, projected to 2012 using the change in consumer price index (CPI), it was 5.76%, through unit price analysis (UPA) it was made a detailed description of the elements and the amounts necessary for the execution of the work.

* Degree work

**Physical-Mechanic Science Department. School Civil Engineering
.Director: Eng. Eduardo Alberto Castañeda Pinzón

INTRODUCCIÓN

En nuestro país las vías terciarias están muy olvidadas, produciendo así un deterioro significativo que afecta considerablemente la movilidad de las personas, la seguridad, el progreso económico de los habitantes y en su gran mayoría las cosechas producidas no dejan mayor rentabilidad debido a lo difícil que resulta comercializarlas con otras veredas y municipios aledaños. Por lo que resulta indispensable enfocarse más en este problema social que afecta no solo a nuestro departamento, sino a gran parte del país.

Por esta razón este proyecto de grado se desarrollo bajo la modalidad de practica Social, con el fin de ayudar a la comunidad de estas veredas a ser más competitivas a nivel regional y nacional. Se realizaron varias reuniones con la comunidad donde se solicito la su ayuda para poder llevar a cabo las distintas tareas que eran necesarias para llevar poder terminar el proyecto lo más rápido posible.

Dentro de estas tareas, se organizo a la comunidad para que prestara su ayuda en la recolección de las muestras de suelo, en la realización de la topografía por medio de un cadenero y su ayuda económica para pagar parte de la topografía.

Gracias a esta valiosa ayuda se logro culminar el proyecto, el cual se presenta en este documento.

En el proyecto se busca principalmente solventar este problema, contribuyendo de gran manera a solucionar cada uno de los perjuicios que se producen al transitar, laborar o habitar en sectores cercanos a este tipo de vías, el proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Piedecuesta y las veredas que se verán beneficiadas al momento de la ejecución del mismo, son :Vereda Limonal, Vereda Faltriquera, Vereda Granadillo, Vereda La Palma, Vereda Cubín, Vereda Las Rosas, las cuales tienen una población aproximada de de 4500 habitantes .A lo largo del proyecto se contó con el apoyo incondicional de toda la comunidad que se va a beneficiar con el diseño del pavimento y las obras complementarias de la vía, facilitando así nuestro trabajo en campo.

Como se había mencionado anteriormente la vía objeto del proyecto se considera como una vía terciaria, se clasifico el terreno como un terreno montañoso por lo tanto al momento de diseñar el pavimento se debió cumplir con las condiciones que nos estipula el manual de diseño Geométrico de Carreteras INVIAS, así mismo para cada una de las obras complementarias de Drenaje (cunetas, alcantarillas, disipadores), se baso en el manual de Drenajes para Carreteras de INVIAS, la vía comprende una longitud de 3.9km, iniciando en el instituto colombiano del petróleo (ICP) y finalizando en el cruce faltriquera con granadillo. Realizando un estudio detallado de las mejoras que requiere la vía podemos concluir que del tramo a mejorar, actualmente tiene un 75% de su longitud con residuos crudo de Castilla que se construyó allí hace casi 20 años, y el 25% restante ya perdió esta capa de crudo de castilla, acerca de las obras de drenaje a lo largo de la extensión del proyecto se pudo observar que se encuentran en un estado regular, por lo cual es necesario la recuperación de alcantarillas y la construcción de cunetas y disipares de Energía en concreto.

Para la elaboración del proyecto se emplearon diversos mecanismos que permitieron recopilar la información necesaria permitiendo la interpretación adecuada de cada uno de los datos, algunas fuentes importantes que nos aportaron a la obtención de ellos fueron la CDMB (clima, temperatura) y el INGEOMINAS (tipo de formación geológica del lugar, falla del terreno), así mismo los datos de los factores como el tránsito y el análisis del suelo se obtuvieron en base a trabajos de campo como conteos de toda clase de vehículos que transitaban por la vía, así mismo se realizaron apiques cada 600m a aproximadamente 1 metro de profundidad, permitiendo recopilar las muestras necesarias para realizar los respectivos ensayos de laboratorio.

Mediante el estudio del tránsito y la clasificación del suelo se obtuvieron los datos necesarios para determinar la cantidad de base y de pavimento que requería el proyecto, así mismo se necesitó de una herramienta disponible para en análisis de diseños de pavimentos empíricamente, como el método AASHTO-93.

Como se había mencionado anteriormente el proyecto no solo incluye el diseño del pavimento sino a su vez el diseño de obras complementarias como lo son las cunetas, las alcantarillas y disipadores de energía, para el diseño de las cunetas se necesitaron datos

de la escorrentía durante los últimos 12 años, por medio de la escorrentía se pudo estimar el caudal base, mediante el cual y por medio del manual de drenajes para carreteras INVIAS 2009 se pudo escoger una cuneta tipo utilizada a lo largo del tramo vial, para las demás obras complementarias se realizaron visitas al lugar y se pudo obtener un reporte de las alcantarillas que se debían reconstruir debido a daños producidos, el mismo proceso se hizo para los disipadores de energía.

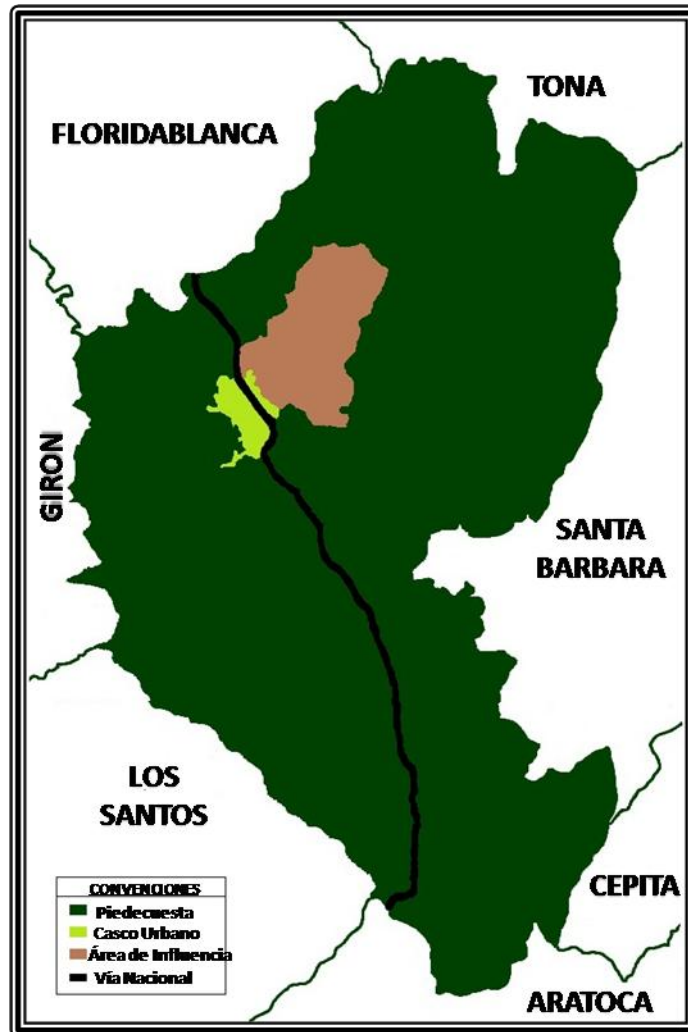
Para finalizar se realizó el presupuesto para la ejecución del proyecto hacia un futuro, cabe mencionar que los análisis de precios unitarios (APU) se realizaron siguiendo el índice de precios al consumidor (IPC) y la variación que tuvo en el 2012, subiendo 5.76% con respecto al 2011, dentro de él se hace una detallada descripción de todos los elementos y las cantidades necesarias para la ejecución de la obra, llegando así a obtener un valor total del contrato

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Piedecuesta (Santander). Y beneficia a comunidad de las veredas: el Limonal, Faltriquera, Granadillo, la Palma, Cubin y las Rosas. El área de influencia se observa en la Figura 1.

Figura 1 Localización del proyecto en el municipio de Piedecuesta



FUENTE Autor

La red vial rural de Piedecuesta está conformada por aproximadamente 300 Km, de vía de carácter terciario con ancho de calzada entre 4 y 5 m en promedio que comunican a casi un 90% de las veredas del municipio con el casco urbano.

Un alto porcentaje de estas vías se derivan de la vía Bogotá – Bucaramanga, como lo son la vía El Molino – Sevilla-Km 40, vía San Francisco–Alto de Mira flores, Vía Curos–Miraflores-San Pedro, vía Málaga-Curos-San Isidro, vía Quince Letras–Umpala, vía Curos-Mesa de Jéridas, vía Tres Esquinas-Blanquiscal-Punta de la Mesa, vía La don Juana-Quebrada Grande-Los Guamos, vía ICP-Faltriquera-Granadillo-La Palma, vía La Mata Baja-Mata Alta, vía Mensuly Bajo-Mensuly Alto y vía a la Mesa de Ruitoque.

Las vías rurales de ICP - EL GRANADILLO - LA PALMA, tienen aproximadamente 24 km de Longitud, y algunas vías que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto son: Granadillo - Meseta grande - Casco urbano (5km), La palma - Cubin (3 km) y el granadillo – faltriquera (6km)¹.

Las actividades económicas del municipio de piedecuesta son la agricultura, la ganadería y el comercio. Según el plan de desarrollo 2008-2011 de piedecuesta, la población de piedecuesta estimada para el año 2011 es de 135,899 habitantes,

El sector agropecuario, ha sido contribuyente del PIB regional en el departamento. Con productos representativos como la mora, la caña de azúcar, el café, cacao, maíz, frijol, tabaco, yuca, y en los últimos años los hortifrutícolas entre otros.

El municipio de Piedecuesta cuenta con aproximadamente 19.500 Has dedicadas a la agricultura, la cual, pese a ser uno de los renglones económicos de mayor interés en el departamento y en el país, se ha visto seriamente afectado por problemáticas como el desequilibrio en los precios, las débiles políticas agropecuarias, la falta de acceso a formas de crédito, tecnología apropiada y la falta de vías en un buen estado que permitan sacar los productos más fácilmente, los cuales a su vez, han propiciado cambios en el

¹ ALCALDIA MUNICIPAL DE PIEDECUESTA Plan de Desarrollo Piedecuesta Incluyente, Solidaria, viable y Productiva 2008-2011 Alcaldía Municipal, 2008

área rural permitiendo el establecimiento de nuevas formas de utilización de los recursos naturales especialmente el paisajismo rural con todos y cada uno de sus atributos propiciando valiosas posibilidades para el desarrollo del ecoturismo y el agroturismo.

Las situaciones irregulares del uso de la tierra ha hecho que los pequeños agricultores y los campesinos sin tierra en su afán de subsistencia incrementen cada día la frontera agrícola hacia las zonas de ladera, partes media y alta de la zona rural del municipio, estableciendo cultivos Hortifrutícolas especialmente representados por la Mora, Habichuela, Arveja y el Tomate que han crecido en importancia para el mercado local, sin embargo, su estructura productiva es muy débil lo cual los hace altamente vulnerables a la variación de precios en el mercado.

En la actividad pecuaria, representada por la ganadería tenía un fuerte peso en el sector; sin embargo, la producción ha descendido por debajo del 10.15%, según reportes del PBOT, en los últimos años esta actividad se realiza en las veredas Guatiguará, Mesa de Jéridas, Llanitos, Las Vegas, Mensuly, La Mata, El Granadillo, Curos, Cristales, La Vega y San Isidro.²

Es por lo anteriormente dicho que las veredas interesadas en el proyecto planteado están buscando los recursos necesarios para implementar la nueva vía en sus comunidades y con ello generar mayor calidad de vida a las personas que viven allí; pero necesariamente para conseguir los recursos es necesario que las comunidades cuenten con el diseño de la estructura de pavimento junto con las obras de drenaje para que puedan justificar los recursos necesarios para el proyecto de manera correcta.

Es importante mencionar que a la zona de las veredas que se verán beneficiadas con el este proyecto, pertenecen importantes microcuencas del municipio de Piedecuesta como lo son las microcuencas de: Quebrada Faltriqueras, Rio de Oro Alto y Rio Hato. Razón por

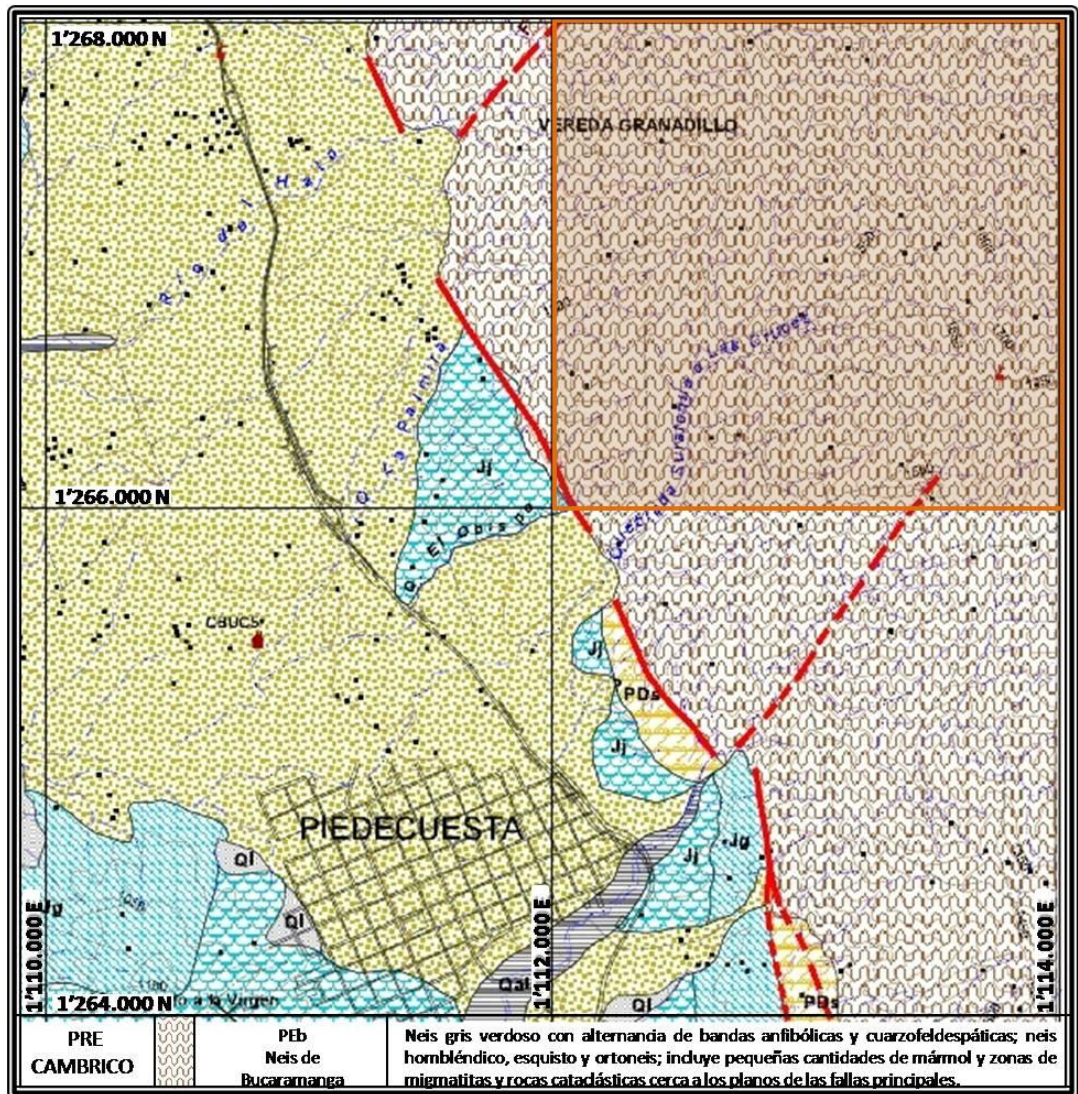
² ALCALDIA MUNICIPAL DE PIEDECUESTA Plan de Desarrollo Piedecuesta Incluyente, Solidaria, viable y Productiva 2008-2011 Alcaldía Municipal, 2008

la cual en el área de influencia del proyecto se encuentra la planta de tratamiento de Agua potable de la empresa Ruitoque S.A. E.S.P.

1.2 GEOLOGÍA REGIONAL DE LA ZONA DEL PROYECTO

El marco geológico regional está basado en el mapa geológico del INGEOMINAS, “Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga”, como se puede observar en la Figura 2.

Figura 2 Cuadrante de ubicación geológica del proyecto



FUENTE Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, INGEOMINAS.

1.2.1 Rocas ígneas y metamórficas de alta pendiente.

El proyecto se localiza en el sector oriental del área metropolitana, por encima de la zona de mayor influencia del sistema de fallas Bucaramanga-Santamarta, conformando el denominado macizo de Santander donde se incluyen las cuencas medias de los ríos y quebradas que nacen en el mismo.

El drenaje es dendrítico a subdendrítico, con cauces de ríos y quebradas profundas en V, geomorfológicamente se identifican unidades de tipo estructural denudacional representados por pendientes abruptas con nichos asociados a lomos, pendientes con procesos denudacionales y depósitos de ladera. Esta zona está conformada por rocas de origen metamórfico e ígneo del Gneis de Bucaramanga (Peb).

1.2.3 Neis de Bucaramanga (pdb)

El nombre original de Neis de Bucaramanga fue utilizado por Goldsmith, R. et al. (1971) y posteriormente propuesto por Ward, D. et al (1973). Esta unidad tiene como localidad tipo el frente montañoso (Cerro La Judía y Morro Negro) al Oriente de Bucaramanga. Presenta buenas exposiciones en las carreteras Bucaramanga-Pamplona, Bucaramanga-Matanza y Berlín-Vetas.

El complejo Bucaramanga consta de una secuencia de paraneiss cuarzofeldespático, hornbléndicos, micáceos y granotíferos; cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas.

Las unidades que suprayacen Complejo Bucaramanga son del Paleozoico, Jurásico y aún del Cretácico. El contacto de esta unidad con la Formación Silgará que la suprayace en muchos sitios, no se ha podido determinar con exactitud, porque existe mucha similitud litológica entre estas unidades. El Complejo Bucaramanga ha sido instruido por plutones félsicos del Paleozoico y Jurásico (WARD, D. et al., 1973).

Las dataciones radiométricas de Rb/Sr en roca total, de un neis biotítico cerca a la

Quebrada El Volcán (Plancha 110, Pamplona) dio 680 ± 140 m.a. Otra datación K/Ar al W de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, en neis hornbléndico cerca a Ocaña (Plancha 76, Ocaña) presentó una edad de 950 ± 40 m.a. (GOLDSMITH, R. et al., 1971), que lo ubica en el Proterozoico superior.

La localización en el área de estudio se encuentra expuesta como una franja alargada al margen N-NE en la vereda de Felizco. Presentándose como una secuencia de Paraneiss cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granotíferos; cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas.

1.2.4 Características geotécnicas³

Los suelos corresponden a suelos residuales con perfil de meteorización profundo a muy profundo y gran cantidad de estructuras heredadas. La mayoría de los suelos corresponden a arenas arcillosas y limosas de color claro.

En las temporadas lluviosas se forman corrientes subterráneas de agua especialmente en la zona de roca fracturada por debajo del perfil de suelo; la mayoría de estas corrientes están controladas por las discontinuidades de la estructura de la roca. En algunos sitios, junto a las cañadas, se presentan afloramientos de agua los cuales incrementan ligeramente el caudal de las quebradas.

1.2.4.1 Problemas geotécnicos

Se presenta una susceptibilidad muy fuerte a problemas geotécnicos entre las que tenemos:

- Deslizamientos masivos de los suelos residuales.
- Formación de cárcavas profundas de erosión en el suelo residual.
- Erosión por profundización acelerada de las cañadas.

³ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga. INGEOMINAS, 2001

- Susceptibilidad a la denudación generalizada en eventos lluviosos de gran magnitud.

En algunos sectores existen procesos activos de deslizamiento o erosión, los cuales están siendo acelerados por la intervención antrópica.

1.2.4.3 Observaciones Especiales

- Las características geológicas, geotécnicas y morfológicas de estas áreas no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano. Por lo tanto, cualquier edificación u obra de infraestructura que se localice en esta área, estará en grave peligro de ser afectada severamente por procesos de inestabilidad del terreno.
- Se recomienda la realización de proyectos con manejo adecuado de suelos, desarrollos agroforestales y control del establecimiento de asentamientos humanos.
- La construcción de cortes y terraplenes para vías de comunicación o desarrollos de infraestructura puedan inducir a deslizamientos masivos de tierra.

2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA.

2.1.1 Según su funcionalidad: vía terciaria

Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias.

La vía de este proyecto es una vía terciaria debido a la comunicación que hace con diferentes veredas entre sí (vereda Limonal, Vereda Faltriquera, Vereda Granadillo, Vereda la palma, Vereda Cubin, Vereda las rosas), además de la comunicación que se hace con el municipio de Piedecuesta (Santander).

2.1.2 Según el tipo de terreno: terreno escarpado

Las pendientes transversales del eje de la vía son generalmente superiores a cuarenta grados (40°). Estos exigen un máximo movimiento de tierras durante la construcción, lo que acarrea grandes dificultades en el trazado y en la explanación, puesto que generalmente los alineamientos se encuentran definidos por divisorias de aguas. Generalmente sus pendientes longitudinales son superiores a ocho por ciento (8%). Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que en aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas y en oportunidades frecuentes.

Como se puede observar en el levantamiento topográfico (Perfil de la vía) se presentan pendientes mayores al 8% en la mayoría del corredor vial, por lo que se considera que la vía está construida sobre un terreno escarpado presentando altas pendientes longitudinales.

2.2 REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA ACTUAL DE LA VÍA.

2.2.1 Velocidad de diseño tramo homogéneo (v_{tr})

En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido. El diseñador, para garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificar a lo largo del corredor de ruta tramos homogéneos a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad. Esta velocidad, denominada Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (VTR), es la base para la definición de las características de los elementos geométricos incluidos en dicho tramo.

La Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (VTR) está definida en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno. A un tramo homogéneo se le puede asignar una Velocidad de diseño (VTR) en el rango que se indica en la Tabla 1. En ella se resume el equilibrio entre el mejor nivel de servicio que se puede ofrecer a los usuarios de las carreteras colombianas y las posibilidades económicas del país⁴.

Tabla 1 Valores de las velocidades de Diseño vía ICP- cruce faltriquera con granadillo

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

FUENTE Manual de diseño Geométrico de carreteras. Capítulo 2 Instituto Nacional de vías

⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá INVIAS, 2008

Como se menciona anteriormente la velocidad de diseño de la vía ICP- Cruce Faltriquera con granadillo está dada por el tipo del terreno y la funcionalidad, al observar la gráfica anterior se puede observar que la velocidad de diseño para vías terciarias con terreno escarpado varía entre (20km/h – 30km/h). Mediante el levantamiento Topográfico se llegó a la conclusión que la vía ICP- Cruce Faltriquera con granadillo cuenta con una velocidad de diseño de **20km/h**, debido a que la vía se encuentra en un terreno montañoso.

2.2.2 Velocidad específica de las curvas horizontales (vch)

La Velocidad Específica de cada una de las curvas horizontales se debe establecer atendiendo a los siguientes criterios:

1) La Velocidad Específica de una curva horizontal (VCH) no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo ($VCH \geq VTR$) ni superior a ésta en veinte kilómetros por hora ($VCH \leq VTR + 20$).

2) La Velocidad Específica de una curva horizontal debe ser asignada teniendo en cuenta la Velocidad Específica de la curva horizontal anterior y la longitud del segmento recto anterior.

Cuando la Velocidad de Diseño del tramo (VTR) es relativamente baja (entre 30 y 50 km/h) la longitud del Segmento Recto, en función de la cual los conductores toman la decisión para ajustar su velocidad, es menor, tal como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2 Velocidades Específicas de curvas Horizontales (VCH)

Velocidad Específica de la Curva horizontal anterior V_{CH} (km/h)	Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) \leq 50 km/h					Velocidad de Diseño del Tramo (V_{TR}) $>$ 50 km/h				
	Longitud del Segmento recto anterior (m)					Longitud del Segmento recto anterior (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$	$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$		$400 < L \leq 600$	$L > 600$
$\Delta < 45^\circ$		$\Delta \geq 45^\circ$	$\Delta < 45^\circ$				$\Delta \geq 45^\circ$			
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

FUENTE Manual de diseño Geométrico de carreteras. Capítulo 2 Instituto Nacional de vías

El caso que se presenta en cada una de las velocidades específicas de nuestras curvas es el siguiente⁵:

CASO 1. Los conductores, al salir de la curva anterior, juzgan que la longitud del segmento recto es inferior a la distancia recorrida en aproximadamente cinco segundos (5 s) a la Velocidad de Diseño del Tramo (150 metros en promedio). En éste caso no disponen del tiempo suficiente para obtener plena claridad sobre la situación y en consecuencia no alcanzan a realizar ajustes a su velocidad. La condición de seguridad indica que a la curva horizontal siguiente se le debe asignar la misma Velocidad Específica que la asignada a la curva que se acaba de recorrer.

Como podemos observar en este proyecto las longitudes de los segmentos rectos son muy pequeñas ($L < 70$), así mismo sabemos que la velocidad de diseño es de aproximadamente 30 km/h, mediante todos estos parámetros y gracias a la tabla 2 podemos observar que todas las curvas van a tener una velocidad específica (**VCH**) igual a la velocidad de diseño de la vía (VTR), entonces **VCH= VTR =20km/h en toda su longitud.**

2.2.3 Velocidad específica de la tangente vertical (vtv)

Dado que la carretera es una sola, la velocidad específica con la que se diseñen los elementos geométricos en perfil debe coincidir con la velocidad específica asignada a los elementos geométricos en planta. La pendiente máxima que se le puede asignar a una tangente vertical es la asociada a la velocidad específica de la entretangencia horizontal coincidente. En consecuencia, La Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV) es igual a la Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (VETH).

Las velocidades específicas de la tangente vertical (VTV) de nuestro proyecto son iguales a las velocidades específicas (**VCH**) de cada una de las curvas, por consiguiente $VTV=20\text{km/h}$.

2.2.4 Peralte máximo: vías terciarias

En carreteras Terciarias, especialmente en terreno montañoso y escarpado, es difícil disponer de longitudes de entretangencia amplias, por lo que no es fácil hacer la

⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá INVIAS, 2008

transición de peralte. Por lo anterior se considera que el peralte máximo más adecuado para este caso es de seis por ciento (6%).

Por medio del levantamiento topográfico trabajaron peraltes permitidos en la norma por lo que el peralte máximo fue de seis por ciento (6%), así mismo el peralte mínimo utilizado fue el expuesto en la norma (Bombeo normal), este peralte fue de (2%), por lo que la variación de peraltes es de (2% < e < 6%)

2.2.5 Radio de curvatura mínimo (rcmin)

El radio mínimo (RCmín) es el valor límite de curvatura para una Velocidad Específica (VCH) de acuerdo con el peralte máximo (emáx) y el coeficiente de fricción transversal máxima (fTmáx). El Radio mínimo de curvatura solo debe ser usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores. El radio mínimo se calcula de acuerdo al criterio de seguridad ante el deslizamiento mediante la aplicación de la ecuación de equilibrio:

$$R_{Cmin} = \frac{(V_{CH})^2}{127 \times (e_{max} + f_{Tmáx})}$$

En la Tabla 3 se puede observar los diferentes valores Radios mínimos utilizados para su correspondiente peralte, esta tabla es utilizada para vías terciarias con un peralte máximo de seis por ciento (6%), así mismo cabe aclarar que todas las curvas del proyecto son circulares simples.

Algunas de las curvas no están cumpliendo con el radio mínimo (Rc=15m), esto debido al diseño geométrico existente, el cuadro de curvas con sus respectivas propiedades se puede observar en el ANEXO A.

Tabla 3 Radio mínimo según (VCH) y emax=6%

e (%)	V _{CH} = 20 km/h R (m)	V _{CH} = 30 km/h R (m)	V _{CH} = 40 km/h R (m)	V _{CH} = 50 km/h R (m)	V _{CH} = 60 km/h R (m)
6.0	15	21	43	79	123

FUENTE Manual de diseño Geométrico de carreteras. Capítulo 3 Instituto Nacional de vías

2.2.6 Perfil del eje de la carretera

El alineamiento vertical está formado por una serie de rectas enlazadas por arcos parabólicos, a los que dichas rectas son tangentes. La inclinación de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.

2.2.6.1 Pendiente mínima

La pendiente mínima longitudinal de la rasante debe garantizar especialmente el escurrimiento fácil de las aguas lluvias en la superficie de rodadura y en las cunetas. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero punto cinco por ciento (0.5%) como pendiente mínima deseable y cero punto tres por ciento (0.3%) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable. En la selección de uno de los dos valores anteriores se debe tener en cuenta el criterio de frecuencia, intensidad de las lluvias y el espaciamiento de las obras de drenaje tales como alcantarillas y aliviaderos.

La pendiente mínima de nuestro proyecto es de **(0.206%)**, cumpliendo con la condición anterior.

2.2.6.2 Pendiente máxima

La pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia el tipo de vía que se desea diseñar.

En las vías Terciarias las pendientes máximas se ajustan a velocidades entre veinte y sesenta kilómetros por hora (20 - 60 km/h), en donde la necesidad de minimizar los movimientos de tierra y pobre superficie de rodadura son las condiciones dominantes.

Tabla 4 Relación entre la pendiente máxima (%) y la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV)

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECIFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

FUENTE Manual de diseño Geométrico de carreteras. Capítulo 4 Instituto Nacional de vías

Como podemos observar en la Tabla 4 la pendiente máxima para este caso debería ser de aproximadamente 12% o 14% pero observando el diseño geométrico vertical elaborado sobre la subrasante existente se observa que la pendiente máxima encontrada a lo largo de la vía fue del **21.208%**

2.2.7 Curvas verticales

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida.

Observando el perfil de la vía, se verifica que todas las curvas verticales están cumpliendo con los requisitos de la norma en cuanto a la longitud mínima que deben tener, este criterio se puede observar en la Tabla 5. En donde se encuentran valores de K_{min} para los diferentes tipos de curvas verticales (cóncavas y convexas), el cuadro de curvas lo podemos encontrar en el ANEXO A. con sus respectivas características, la longitud mínima se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$L_{min} = K_{min} * A$$

Tabla 5 Valores de K_{min} para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales

VELOCIDAD ESPECIFICA V_{cv} (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K_{min}				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CÓNCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20 ⁽¹⁾
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 ⁽¹⁾

FUENTE: Manual de diseño Geométrico de carreteras. Capítulo 4 Instituto Nacional de vías

3 ESTUDIO DE TRANSITO

3.1 CONTEOS

Se realizaron conteos manuales durante una semana tomando como punto de aforo la entrada a la vía ICP cruce faltriquera - granadillo, los cuales se llevaron a cabo en la semana comprendida desde el día martes 18 de octubre hasta el día lunes 24 de octubre del 2011, los conteos se hicieron por horas determinando la composición del tránsito con los diferentes tipos de vehículos. Los conteos se realizaron con la siguiente intensidad horaria expresada en la Tabla 6.

Tabla 6 Intensidad horaria en los conteos

Día	N° de horas
Martes	12
Miércoles	18
Jueves	12
Viernes	12
Sábado	12
Domingo	18
Lunes	12

FUENTE Autor

La intensidad horaria de 12 horas se llevo a cabo en el intervalo de 6 a.m. a 6 p.m. mientras que la intensidad horaria de 18 horas se llevo acabo en el intervalo de 4 a.m. a 10 p.m. Los datos obtenidos se encuentran en el ANEXO B.

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los datos obtenidos en el aforo realizado en el tramo de estudio se procede a calcular los volúmenes promedio, volúmenes horarios y porcentaje de vehículos tipo.

3.2.1 Volúmenes promedio

Los volúmenes promedio para los dos sentidos de circulación se resumen en la Tabla 7. En ella se excluye el conteo de las motos y se estudia el conteo realizado solo en 12 horas.

Tabla 7 Volúmenes promedio diario vehicular

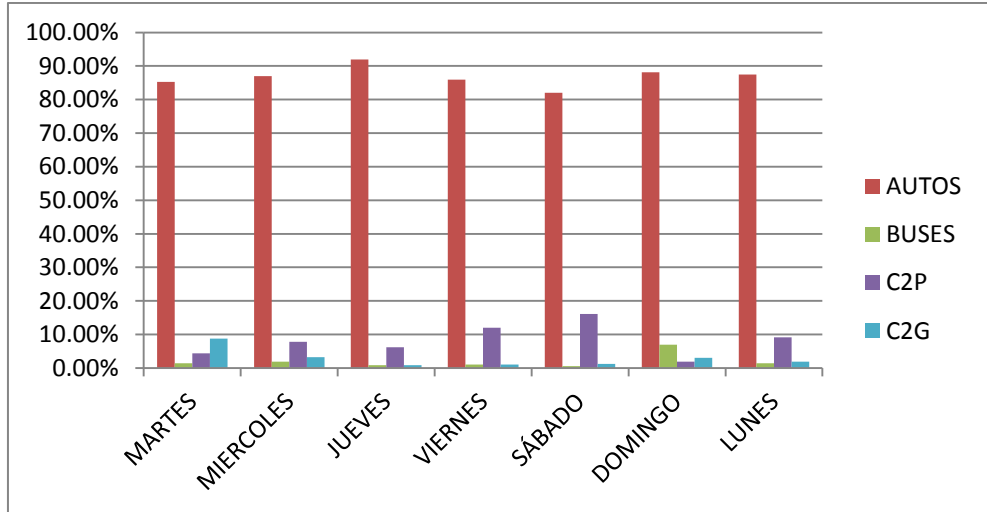
FECHA	18 Oct.	19 Oct.	20 Oct.	21 Oct.	22 Oct.	23 Oct.	24 Oct.	TPDs
DÍA	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	
AUTOS	58	134	103	165	132	377	182	164
BUSES	1	3	1	2	1	30	3	6
C2P	3	12	7	23	26	8	19	14
C2G	6	5	1	2	2	13	4	5
T.D.	68	154	112	192	161	428	208	189
%AUTOS	85,29%	87,01%	91,96%	85,94%	81,99%	88,08%	87,50%	86,83%
%BUSES	1,47%	1,95%	0,89%	1,04%	0,62%	7,01%	1,44%	2,06%
%C2P	4,41%	7,79%	6,25%	11,98%	16,15%	1,87%	9,13%	8,23%
%C2G	8,82%	3,25%	0,89%	1,04%	1,24%	3,04%	1,92%	2,89%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100,00%

FUENTE Autor

Donde T.D. es el transito diario en vehículos mixto contado para cada uno de los días de la semana de estudio.

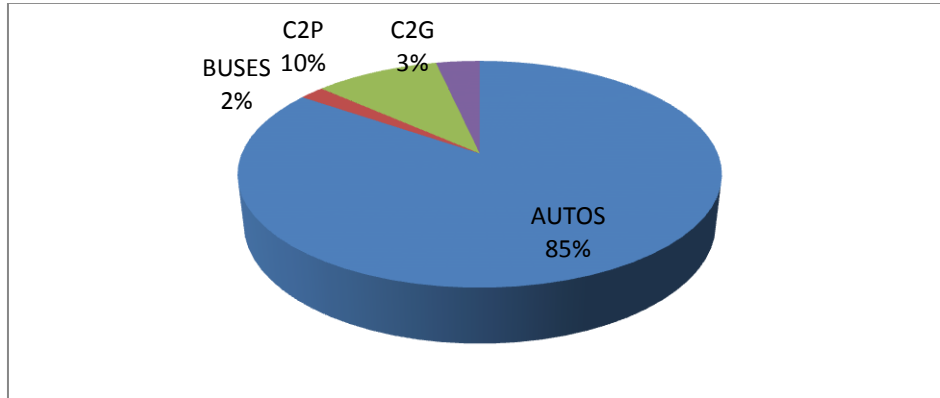
En la Figura 3 y Figura 4 se pueden apreciar la distribución de cada tipo de vehículo en el sector de estudio durante la semana en que se realizaron los conteos manuales.

Figura 3 Variación de diaria por vehículo tipo



FUENTE Autor

Figura 4 Porcentajes por vehículo tipo



FUENTE Autor

3.2.2 Variación en el flujo del tránsito

Con base en el estudio de la información sobre volúmenes de tránsito registrado en la estación de conteo manual ubicada en el costado norte de la entrada al ICP se establecerá el comportamiento diario y horario del flujo vehicular, tal como se describen a continuación.

3.2.3 Variaciones Diarias

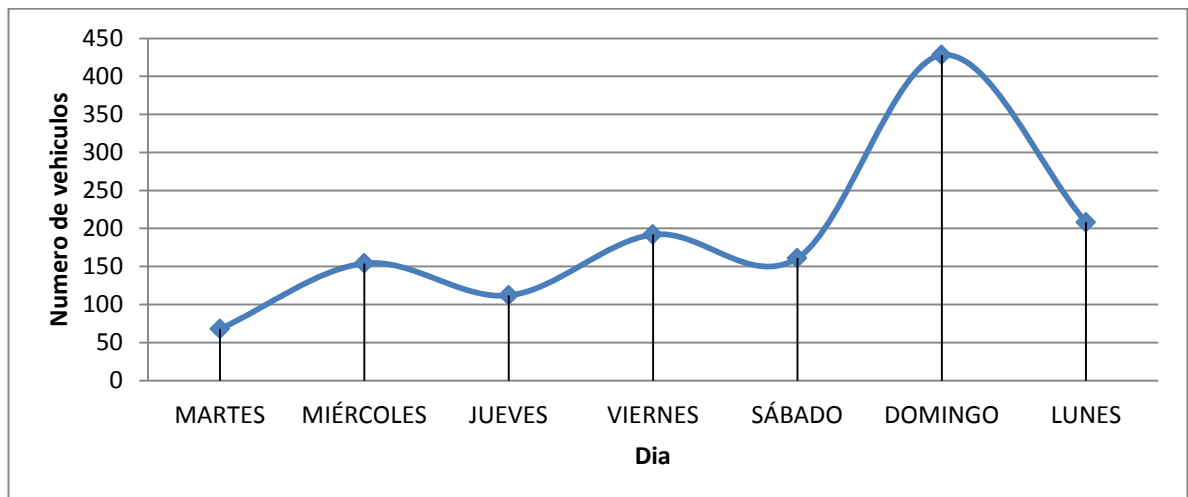
En lo que respecta a las variaciones de volumen vehicular en los diferentes días de la semana, se determinaron las variaciones diarias para la vía objeto de estudio. Los resultados se pueden observar en la Tabla 8 y la Figura 5.

Tabla 8 Variación diaria del tránsito en la vía de estudio

Hora	MARTES	MIÉRC.	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMIN.	LUNES	TPHs	%TPHs
6 - 7	3	7	6	6	5	18	6	7	3,85%
7 - 8	10	19	17	30	26	38	31	24	12,93%
8 - 9	6	14	9	21	18	64	19	22	11,41%
9 - 10	2	4	4	6	6	47	6	11	5,67%
10 - 11	7	14	6	13	12	29	16	14	7,33%
11 - 12	9	22	12	32	23	25	30	22	11,56%
12 - 13	6	9	8	11	10	54	13	16	8,39%
13 - 14	4	13	10	15	12	27	15	14	7,26%
14 - 15	6	16	12	18	14	19	22	15	8,09%
15 - 16	5	7	6	6	7	27	13	10	5,37%
16 - 17	4	8	8	10	9	47	10	14	7,26%
17 - 18	6	21	14	24	19	33	27	21	10,88%
TOTAL	68	154	112	192	161	428	208	189	100%
%TPD	36%	81%	59%	102%	85%	226%	110%		

FUENTE Autor

Figura 5 Variación diaria del tránsito en la vía de estudio



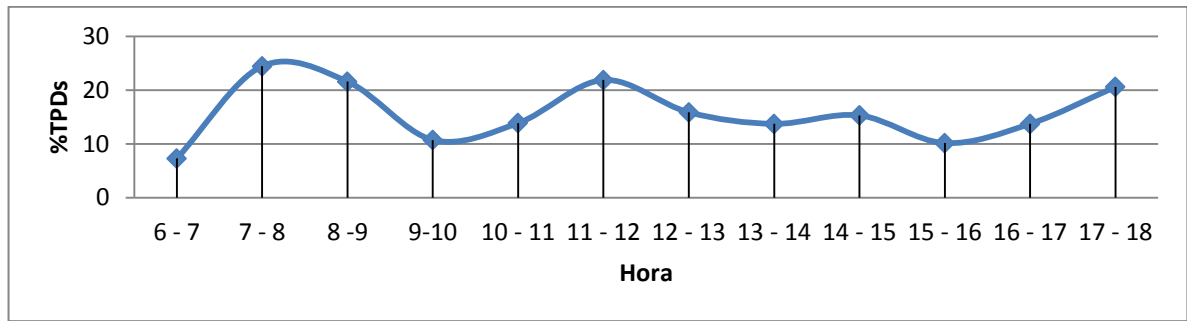
FUENTE Autor

Se puede observar en la Tabla 8 y en la Figura 5 que el día de mayor número de vehículos es el día Domingo ya que es el día de mercado y es el día en que la comunidad ermitaña realiza la eucaristía para la comunidad en general.

3.2.4 Variaciones Horarias

En la Figura 6 se puede apreciar el patrón de comportamiento de los volúmenes horarios calculados como el promedio de los 7 días de la semana, expresados en vehículos por hora, obtenidos en el punto de aforo.

Figura 6 Volúmenes Horarios



FUENTE Autor

Se puede concluir que en la mañana la hora con mayor tráfico vehicular es de 7.00 a.m. a 8.00 a.m., y en la tarde de 5.00 p.m. a 6.00 p.m.

3.2.5 Determinación del tránsito promedio diario semanal y el volumen horario de diseño

Ante la imposibilidad de obtener los datos de forma continua sobre volúmenes de tránsito para las 8760 horas del año en la vía estudiada, se utilizó la siguiente metodología para determinar el Volumen horario de diseño y el Tránsito Promedio Diario Semanal.

Los datos obtenidos en los 7 días de conteo manual con una duración de 12 horas se observan la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9 Discriminación vehicular del proyecto en estudio.

TOTAL POR DÍA POR TIPO (12 HORAS)							
	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES
AUTOS	58	134	103	165	132	377	182
MOTOS	141	180	154	216	198	266	190
BUSES	1	3	1	2	1	30	3
C2P	3	12	7	23	26	8	19
C2G	6	5	1	2	2	13	4
C3-C4	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0
>C5	0	0	0	0	0	0	0

FUENTE Autor

Tabla 10 TPD y Porcentajes de Distribución sin aplicar el factor de expansión para las horas de la madrugada y la noche.

TOTAL POR DÍA POR TIPO SIN APLICAR EL FACTOR DE EXPANSIÓN								
	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	PROMEDIO
TPD	68	154	112	192	161	428	208	189
AUTOS	85,29%	87,01%	91,96%	85,94%	81,99%	88,08%	87,50%	86,83%
BUSES	1,47%	1,95%	0,89%	1,04%	0,62%	7,01%	1,44%	2,06%
C2P	4,41%	7,79%	6,25%	11,98%	16,15%	1,87%	9,13%	8,23%
C2G	8,82%	3,25%	0,89%	1,04%	1,24%	3,04%	1,92%	2,89%
C3-C4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
C5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
>C5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

FUENTE Autor

Se implementara el uso de factores de expansión con el fin de obtener el volumen de transito mínimo requerido que es de 18 horas según lo estipulado por el INVIAS en su manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de transito. Para calcular dichos factores se utilizaron los datos obtenidos en campo en los intervalos de tiempo de 4 a 6 a.m. y de 6 a 10 p.m. llevados acabo el día miércoles 19 de octubre (día ordinario) y el día domingo 23 de octubre (día festivo). Los factores de expansión que se utilizaron se observan al la Tabla 11 y Tabla 12.

Tabla 11 Factor de expansión por tipo en día ordinario.

FACTOR DE EXPANSIÓN DÍA ORDINARIO			
tipo	6hrs	12hrs	FE
motos	22	180	1,122
autos	13	134	1,097
buses	0	3	1,000
c2-p	4	12	1,333
c2-g	2	5	1,400

FUENTE Autor

Tabla 12 Factor de expansión por tipo en día festivo.

FACTOR DE EXPANSIÓN DÍA FESTIVO			
tipo	6hrs	12hrs	FE
motos	30	266	1,113
autos	13	377	1,034
buses	2	30	1,067
c2-p	3	8	1,375
c2-g	2	13	1,154

FUENTE Autor

Luego se aplica el factor de expansión por tipo de vehículo en los datos de los conteos de 12 horas y teniendo en cuenta si se trata de un día ordinario o un día festivo. La discriminación vehicular aplicando el factor de expansión se observa en la Tabla 13. El tránsito promedio diario y Porcentajes de distribución aplicando el factor de expansión para las horas de la madrugada y la noche se observan en la Tabla 14.

Tabla 13 Discriminación vehicular aplicando el factor de expansión.

TOTAL DE VEHÍCULOS TIPO POR DÍA APLICANDO FACTOR DE EXPANSIÓN							
	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES
AUTOS	64	147	113	181	145	390	200
MOTOS	158	202	173	242	222	296	213
BUSES	1	3	1	2	1	32	3
C2P	4	16	9	31	35	11	25
C2G	8	7	1	3	3	15	6
C3-C4	0	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0	0
>C5	0	0	0	0	0	0	0

FUENTE Autor

Tabla 14 TPD y Porcentajes de Distribución aplicando el factor de expansión para las horas de la madrugada y la noche.

TOTAL POR DÍA POR TIPO APLICANDO EL FACTOR DE EXPANSIÓN								
	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	PROMEDIO
TPD	77	173	125	216	183	448	234	208
AUTOS	82,6%	85,0%	90,6%	83,6%	79,0%	87,1%	85,5%	84,8%
BUSES	1,3%	1,7%	0,8%	0,9%	0,5%	7,1%	1,3%	2,0%
C2P	5,2%	9,2%	7,5%	14,2%	18,9%	2,4%	10,8%	9,7%
C2G	10,9%	4,0%	1,1%	1,3%	1,5%	3,4%	2,4%	3,5%
C3-C4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
C5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
>C5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

FUENTE Autor

3.2.6 Tránsito Promedio Diario Semanal

Una vez consolidados los volúmenes diarios con el factor de expansión durante la semana de conteo se procede a calcular el Tránsito Promedio Diario Semanal TPDs como:

$$\frac{\sum_{i=1}^7 T.D.}{7} = 208$$

Donde T.D. es el tránsito diario contado para cada uno de los días.

Para la vía en estudio se obtuvo un TPDs de 208 vehículos-mixtos / día en ambos sentidos para el punto de aforo ubicado al costado norte de la entrada al ICP, estos valores se obtuvieron a partir de la información obtenida en los conteos realizados durante la semana de estudio.

3.2.7 Volumen horario de diseño.

El instituto Nacional de Vías determinó la relación entre el volumen de hora pico y el TPDs a través de una figura que obtuvo a partir de los conteos semanales del año 1995 en la red de carreteras del antiguo Ministerio de Obras Públicas y Transportes. De esta figura se obtiene el volumen horario de diseño (VHD) aplicando al TPDs la ecuación planteada en la misma. La ecuación de dicha fórmula es:

$$VHD=0.2136*(TPDs)^{0.9163}$$

Donde: VHD es el Volumen Horario de Diseño y TPDs es el Tránsito Promedio Diario Semanal.

$$VHD=30 \text{ Vehículos/ Hora año 2011}$$

3.3 PRONOSTICO DEL TRAFICO

El manual de diseño para vías de bajos volúmenes de tránsito establece dos tipos de niveles de tránsito, dichos niveles de tránsito dependen del número de ejes equivalentes de 80 KN que se espera que pasen por la vía en el periodo de diseño. Los niveles vienen especificados en la tabla 2.1 del manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, la cual se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15 Niveles de tránsito

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80kN durante el periodo de diseño en el carril de diseño
T1	<150.000
T2	150.000 – 500.000

FUENTE Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

El nivel de tránsito se determinará después de determinar el número de ejes equivalentes esperados para un periodo de diseño de 15 años.

3.3.1 Tránsito normal.

Es aquel que circula normalmente por la carretera. El crecimiento normal del tránsito es el incremento del volumen debido al aumento en número y uso de vehículos tipo. Para determinar la tasa de crecimiento de esta componente de tránsito se hace a través de un estudio de la serie histórica de tránsito, pero en nuestro caso, como no contamos con una serie histórica de datos, se empleará la tabla 2.3 del manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, la cual se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16 Tasas promedio de crecimiento de tránsito.

Nivel de tránsito	Tasa de Crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

FUENTE Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

3.3.2 Tránsito generado

Es el tránsito que se origina debido al proyecto futuro, por lo general hace referencia al tránsito nuevo por efecto del desarrollo del área de influencia de la vía en aspectos como: la producción agrícola, pecuaria, minera, industrial, comercial o turística que se presentan en una nueva ruta o por mejoramiento de una vía existente.

Como no se cuenta con un estudio detallado de la actividad económica de la zona se puede utilizar los factores relacionados en la Tabla 2.16 del manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, la cual se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17 Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal

Clasificación del área del proyecto	Población beneficiada, hab	Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal
Área con potencial minero alto	Menos de 5000	3.0
	5000 o más	6.0
Área con potencial agrícola alto	Menos de 5000	2.5
	5000 o más	5.5
Área con potencial turístico alto	Menos de 5000	2.0
	5000 o más	3.5
Área de bajo potencial de desarrollo		1.5

FUENTE Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

Se podría clasificar el área del proyecto como un área con potencial agrícola alto y con menos de 5000 habitantes por lo cual se adoptara un crecimiento del 2.5% como función del tránsito normal.

3.4 Calculo del número de ejes equivalentes.

3.4.1 Determinación del factor de daño diario

El INVIAS en su manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito determino los siguientes valores de Factores de Daño según el tipo de vehículo mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18 Factores de daño por tipo según INVIAS.

tipo de Vehículo	Factor de daño (FD)
Autos	0
Bus grande	1
C2-P	1,01
C2-G	2,72
C3-C4	3,72
C5	4,88
>C5	5,23

FUENTE Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

Con los anteriores valores y la siguiente ecuación se determino el número de ejes equivalentes de 80 KN calculados a partir del TPDs y los porcentajes por tipo de vehículo mostrados en la Tabla 14.

$$N_{80KN,TPDs} = \sum_{i=1}^k TPDs * \%V_i * FD_i$$

$$N_{80KN,TPDs} = 208 * (\%Autos * 0 + \%Buses * 1 + C2 - P\% * 1,01 + C2 - G\% * 2,72 + C3 - C4\% * 3,72 \dots)$$

$$N_{80KN,TPDs} = 208 * (84,8\% * 0 + 2,0\% * 1 + 9,7\% * 1,01 + 3,5\% * 2,72 + 0\% * 3,72 + 0\% * 4,88 + 0\% * 5,23)$$

$$N_{80KN,TPDs} = 44 \text{ Nee}$$

3.4.2 Factor de corrección por estacionalidad

Se debe realizar una corrección por estacionalidad debido a que el conteo se realizo en un mes específico del año; el factor de corrección (F.C.E) se calcula para cada mes y es

el resultado entre dividir el TPD anual con el TPD mensual. Para este caso se utilizo la información del peaje PICACHO, información que esta suministrada por el INVIAS en su pagina web. Dichos datos corresponden al análisis de los volúmenes de transito sobre el peaje en el año 2008. Este factor de corrección por estacionalidad se observan en la Tabla 19.

Tabla 19 Factor de corrección por estacionalidad

Mes	TPDm	F.C.E
Enero	2579	0,85
Febrero	2144	1,03
Marzo	2007	1,10
Abril	1895	1,16
Mayo	2054	1,07
Junio	2174	1,01
Julio	2211	0,99
Agosto	2127	1,03
Septiembre	2142	1,03
Octubre	2266	0,97
Noviembre	2189	1,00
Diciembre	2594	0,85
TPDA	2199	

FUENTE Pagina Web INVIAS

Ahora utilizando el factor de corrección por estacionalidad para el mes de octubre obtenemos que:

$$N'_{80KN,TPDs} = N_{80KN,TPDs} * F.C.E$$

$$N'_{80KN,TPDs} = 44 * 0,97$$

$$N'_{80KN,TPDs} = 43 \text{ Nee}$$

3.4.3 Cálculo del número de ejes equivalentes para el año base

Para determinar el número de ejes equivalentes del año base se debe primero determinar el Factor Direccional para la vía, este factor se encuentra estipulado en el manual de diseño de pavimento asfáltico para vías con bajos volúmenes de tránsito como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20 Factor direccional según el manual de diseño de pavimento asfáltico para vías con bajos volúmenes de tránsito

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
menos de 5 m.	Total en los dos sentidos	1
Igual o mayor de 5 m. y menor de 6 m.	3/4 del total en los dos sentidos	0,75
Igual o mayor de 6 m.	1/2 del total en los dos sentidos	0,5

FUENTE Manual de diseño de pavimento asfáltico para vías con bajos volúmenes de tránsito

Se sabe por la topografía realizada que la calzada en su longitud conserva un ancho que predomina a lo largo de la vía el ancho de 5,5 m. Pero se tuvo en cuenta la posibilidad de que el proyecto pueda ejecutarse con un ancho menor debido a la posible falta de recursos, por lo cual se utilizó un factor direccional de 1.

$$Fd = 1$$

Ahora se calcula el número de ejes equivalentes esperado para el año base como sigue:

$$N_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} = 365 * N'_{80KN, TPDs} * Fd$$

$$N_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} = 365 * 43 * 1$$

$$N_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} = 15695 \text{ Nee}$$

También se debe sumar el número de ejes equivalentes debido al tránsito generado que es igual al 2,5% del tránsito normal por lo cual el número de ejes equivalentes para el año base sería:

$$N'_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} = N_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} * (1 + 0,025)$$

$$N'_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} = 15695 * (1 + 0,025)$$

$$N'_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} = 16087 \text{ Ne}$$

16087 será el número de ejes equivalentes del año base que se utilizara para el cálculo del número de ejes equivalentes para el periodo de diseño de 15 años.

3.4.4 Cálculo del número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 15 años

Utilizando la siguiente ecuación encontrada en el manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito obtenemos:

$$N_{80KN \text{ carril de diseño, acumulado}} = N'_{80KN \text{ carril de diseño, año base}} * \frac{1 + r^n - 1}{r}$$

Con $r = 3\%$ de la tabla 2.3 INVIAS y $n = 15$ años, se tiene:

$$N_{80KN \text{ carril de diseño, acumulado}} = 16087 * \frac{1 + 0,03^{15} - 1}{0,03}$$

$$N_{80KN \text{ carril de diseño, acumulado}} = 299201 \text{ Ne}$$

Según el método AASHTOO-93, cuando no existen series históricas de tránsito se debe considerar que el delta entre el tránsito estimado para el diseño y el tránsito que realmente soportara la vía presenta una distribución normal con una desviación estándar (σ), y que en pavimentos asfálticos dicha desviación es igual a 0,05. Por lo tanto se estableció que el número de ejes que se debe utilizar en el algoritmo de diseño es:

$$N'_{80KN \text{ carril de diseño, acumulado}} = N_{80KN \text{ carril de diseño, acumulado}} * (10^{\sigma * Z_r})$$

Donde Z_r es un parámetro asociado a la distribución normal estándar, y varía dependiendo del nivel de confianza como se muestra en la Tabla 21

Tabla 21 Valores del parámetro Z_r suponiendo una distribución normal

Confabilidad	Z_r
70%	0,524
75%	0,674
80%	0,842

85%	1,036
90%	1,282
95%	1,645
96%	1,751
97%	1,881
98%	2,055
99%	2,328

FUENTE Método AASHTOO-93

Para el proyecto se tomo la decisión de trabajar con una confiabilidad del 70%, lo que implica un Zr igual a 0,524.

$$N'_{80KNcarril\ de\ diseño,\ acumulado} = 299201 * (10^{0,05*0,524})$$

$$N'_{80KNcarril\ de\ diseño,\ acumulado} = 317807$$

Se puede concluir que el número de ejes equivalentes de 80KN en el carril de diseño será de 317807 después de 15 años de entrar en uso la vía y que este será el valor a implementar como parámetro en el diseño del pavimento asfáltico.

4 ESTUDIO GEOTÉCNICO DE SUBRASANTE

4.1 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE SUBRASANTE CON CONO DINÁMICO

Sobre el fondo de apique se realizaron ensayos de cono dinámico para estimar la capacidad portante de suelo y detectar la saturación por humedad.

VÍA ICP- CRUCE FALTRIQUERA CON GRANADILLO

De acuerdo con los resultados presentados en las Tablas (ANEXO C) podemos observar que los resultados del CBR con PDC no son coherentes con el tipo de suelo encontrado en dicho terreno. Los malos resultados se deben principalmente al mal estado del equipo ya que dificultó la determinación del CBR en la vía, los resultados de CBR hallados con el PDC no fueron tomados en cuenta debido al mal estado del equipo y a la precisión, así también pudimos encontrar presencia de material granular grueso en subrasante impidiendo realizar el ensayo de cono dinámico de la mejor manera.

Los apiques se realizaron cada 200 metros, a una profundidad de 0.8 m aproximadamente como se observa en la Figura 7.

Figura 7 Apiques realizados en el terreno.



FUENTE Autor

4.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (ESTUDIO DE SUELOS)

Para la clasificación de suelos se realizaron siete apiques separados a una distancia de 600 m cada uno, los apiques tuvieron una profundidad de 1,0 metro a la subrasante actual de la vía, se extrajeron aproximadamente 30 kg de muestra en cada uno de los apiques, permitiendo hacer todos los respectivos ensayos al suelo (Limite líquido, Limite plástico, Granulometría, Proctor modificado, CBR):

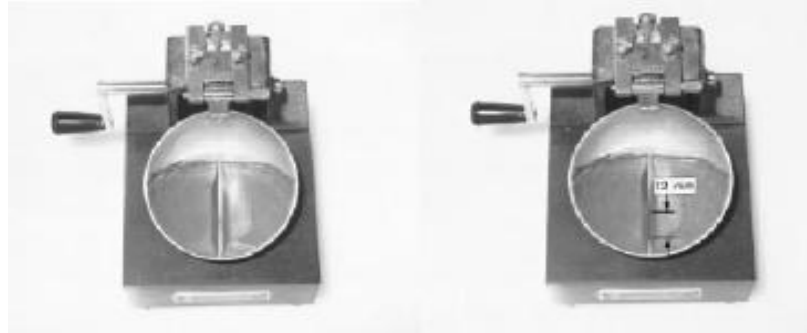
4.2.1 Análisis granulométrico de suelos (I.N.V.E-123-07)

Por medio del análisis granulométrico se pudo determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de las partículas contenidas en el suelo, para el análisis granulométrico se tomaron 1000 gr de material, según las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hizo, con parte de ella después de separar los finos por lavado. La necesidad del lavado se pudo determinar por examen visual. Los resultados se encuentran en el ANEXO C.

4.2.2 Determinación del límite líquido de los suelos (I.N.V E-125-07)

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico, todos los valores hallados de limite liquido se aproximaron a la unidad más cercana debido a las recomendaciones de la norma, la cantidad de material utilizado fue de aproximadamente 100 gr, mezclándola completamente con 15 a 20 ml de agua, el procedimiento utilizado es el expuesto en la norma, utilizando el ranurador curvo que se observa en la Figura 8. Los resultados se encuentran en el ANEXO C.

Figura 8 Ranurador curvo



FUENTE Norma INVIAS 125-07

4.2.3 Limite plástico E índice de plasticidad de suelos (I.N.V. E-126-07)

El limite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado mediante el procedimiento en el cual el suelo permanece en estado plástico, el índice de plasticidad es el tamaño del intervalo de contenido de agua expresado como porcentaje de la masa seca del suelo, dentro de la cual el material está en un estado plástico, el método de moldeo fue manual formando rollos de suelo, este método fue dado por el procedimiento normativo indicado en esta norma. Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la cual pueden formarse rollos de suelo de unos 3mm de diámetro aproximadamente, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que los rollos se desmoronen. Los resultados se observan en el ANEXO C

4.2.4 Ensayo Modificado de Compactación (I.N.V E-142-07)

Este método se utilizó para determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria de las muestras extraídas, se escogió el *Método A* – Un molde de diámetro 101.6 mm (4"): material de un suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), como podemos observar toda la muestra de paso por el tamiz No.4, como las muestras del suelo estaban húmedas se realizó un secado completo a temperatura ambiente, luego de sacado el material se tomaron muestras representativas de 3 Kg en cada uno de los apiques realizados. La abscisa donde se realizaron estos aplique se observan en la Tabla 22 El procedimiento

que de siguió es el mismo expuesto en la norma descrita anteriormente, una vez obtenidos los resultados se obtiene el porcentaje de humedad optima que posee cada una de las muestras. Los resultados se observan en el ANEXO C

Mediante la prueba granulométrica, límites líquidos y límites plásticos los suelos encontrados se clasificaron como arenas limosas, con contenido de finos que varía desde 12% hasta 27%.

**Tabla 22 Lista de ubicación de apiques vía ICP- cruce faltriquera con granadillo
K0+000 –K3+800N**

° Apique	Abscisa
1	K 0+600
2	K 1+200
3	K 1+800
4	K 2+200
5	K 2+800
6	K 3+200
7	K 3+800

FUENTE Autor

4.2.5 Clasificación geotécnica de los suelos

Los suelos se clasificaron según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S) y la American Asociation of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), con base en su granulometría y en su plasticidad. Los resultados de los ensayos de laboratorio se pueden ver en la Tabla 23.

**Tabla 23 Resumen de clasificación de suelos extraídos de los apiques vía ICP-
Cruce faltriquera con granadillo K0+000 –K3+800**

Apique	Abscisa	Profundidad m	Gravas, %	Arenas, %	Finos, %	Límites de Atterberg			Clasificación	
						LL	LP	IP	Nº Grupo	U.S.C.
1	K 0+600	1,0 a 1,5	23.21	53.76	23.03	27	N.P	N.P	0	SM
2	K 1+200	1,0 a 1,5	24.64	52.81	22.55	27	N.P	N.P	0	SM
3	K 1+800	1,0 a 1,5	45.19	37.27	17.55	23	N.P	N.P	0	SM
4	K 2+200	1,0 a 1,5	36.60	46.94	16.46	24	N.P	N.P	0	SM
5	K 2+400	1,0 a 1,5	30.19	57.84	11.97	25	N.P	N.P	0	SM
6	K 3+200	1,0 a 1,5	25.64	46.88	27.48	26	N.P	N.P	0	SM
7	K 3+800	1,0 a 1,5	31.23	43.32	25.44	25	N.P	N.P	0	SM

FUENTE Autor

4.3 DETERMINACIÓN DE CBR DE DISEÑO

CBR (**California Bearing Ratio**) este método se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base para el empleo en pavimentos de carreteras principalmente, el valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral del método utilizado del diseño del pavimento, es un método de ensayo que está proyectado aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19mm (3/4”), el ensayo se realizó normalmente en el suelo preparado en el laboratorio con las condiciones determinadas anteriormente de humedad y densidad.

Vía ICP- Cruce faltriquera con granadillo

Para determinar la capacidad de soporte de los suelos, se tomaron muestras inalteradas y se ensayaron bajo el procedimiento de CBR. Los resultados muestran que los suelos tienen buena capacidad de soporte, los resultados del CBR en cada uno de los apiques se pueden observar en el ANEXO C.

Por medio de todos los ensayos realizados se puede decir que la subrasante está compuesta principalmente de suelos tipo SM. A las muestras típicas de la subrasante, que provienen de todos los apiques y formados por el suelo natural, se les determinaron CBR y la expansión con sumersión a 96 horas. A continuación se presenta el resumen del ensayo de CBR en la Tabla 24.

Tabla 24 Resumen de ensayo de CBR laboratorio para la vía ICP- Cruce faltriquera con granadillo K0+000 –K3+800

N° Apique	Abscisa	Profundidad, m	Límites de Atterberg			Clasificación	CBR para expansión de proctor modificado		Expansión para compactación		
			LL	LP	IP		U.S.C.	98%	95%	90%	95%
1	K 0+600	1,0 a 1,5	27	N.P.	N.P.	SM	13	10	0.59	0.64	
2	K 1+200	1,0 a 1,5	27	N.P.	N.P.	SM	13	11	1.44	1.52	
3	K 1+800	1,0 a 1,5	23	N.P.	N.P.	SM	13	11	1.32	1.39	
4	K 2+200	1,0 a 1,5	24	N.P.	N.P.	SM	17	13	0.27	0.28	
5	K 2+800	1,0 a 1,5	25	N.P.	N.P.	SM	15	11	0.57	0.62	
6	K 3+200	1,0 a 1,5	26	N.P.	N.P.	SM	20	13	0.15	0.36	
7	K 3+800	1,0 a 1,5	25	N.P.	N.P.	SM	14	11	0.59	0.64	

FUENTE Autor

Los resultados del ensayo CBR, no indican gran diferencia en el comportamiento mecánico de las diferentes muestras. Con base en los resultados de CBR, se considera única sección homogénea para el diseño de la estructura de pavimento. Teniendo en cuenta que la subrasante está conformada por suelos naturales, para la estimación de la estructura del pavimento se tomaron los valores de CBR para un 95 % de compactación del proctor modificado.

4.3.1 Selección del valor de la capacidad de la fundación.

4.3.1.1 Introducción

El pavimento es una estructura que tiene como función permitir la operación rápida, cómoda y segura de los vehículos por una carretera. Su dimensionamiento es un proceso que involucra diferentes tipos de disciplinas de la ingeniería como: la estimación del tránsito, factores ambientales y la caracterización de los materiales que lo constituyen.

Existen diferentes métodos para dimensionar las estructuras de pavimento. El método SHELL y el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) son los más empleados en Colombia para el cálculo de estructuras de pavimento flexible y el método de la PCA (Portland Cement Association), para el dimensionamiento de pavimentos rígidos.

En el presente documento se encuentra el proceso de análisis de selección y dimensionamiento de las estructuras de pavimento, por donde circulará el tránsito en la vía ICP- Cruce faltriquera con granadillo (Piedecuesta).

4.3.1.2 Objeto

El propósito de este estudio es determinar los espesores y calidades de las capas que se deben construir para soportar el tránsito de vehículos de transporte particular, de carga y de pasajeros, en la vía que hace parte del proyecto **ICP- Cruce faltriquera con granadillo.**

4.3.1.3 Dimensionamiento de la estructura del pavimento

El dimensionamiento de la estructura del pavimento a construir se basa en los siguientes criterios:

- Se tiene uno solo tramo homogéneo,

- El CBR de subrasante es igual a 11% correspondiente a un grado de compactación del 95% valor exigido en las especificaciones usualmente empleadas en construcción de carreteras para controlar la compactación de subrasantes.
- El valor de 11% es un valor que es igual o inferior a 5 resultados de las 7 muestras ensayadas, es decir que un 71.428% de los valores tienen capacidad inferior a la seleccionada para diseño.

El módulo resiliente de la subrasante se calcula empleando el valor de CBR (95% de densidad de proctor modificado).

$$Mr=2555 \cdot CBR^{0,64}, \text{ psi}$$

Módulo resiliente calculado, psi

$$\mathbf{Mr=2555 \cdot CBR^{0,64}}$$

$$\mathbf{11854.4722}$$

5 EL CLIMA

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un lapso y en un lugar o región dada, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado *sistema climático* (atmósfera, hidrósfera, litósfera, criósfera, biósfera y antropósfera).

Los factores determinantes del clima, se refieren a las condiciones físicas y geográficas, que son relativamente constantes en el tiempo y en el espacio y que influyen en el clima en aspectos relacionados con la transferencia de energía y calor. Los de mayor importancia son la latitud, la elevación y la distancia al mar.

Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, éste se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático.⁶

5.1 CATEGORÍA DEL CLIMA POR HUMEDAD CON BASE EN EL ÍNDICE DE THORNTHWITE

El sistema de categorización se basa en los resultados del balance hídrico del suelo y utiliza la evapotranspiración potencial anual, la precipitación media anual, el exceso de agua anual y el déficit de agua anual.

El Índice de Thornthwite es una combinación del Índice de humedad y del Índice de aridez, calculados de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\text{Índice de humedad, } I_h = \frac{EXC}{ETP} \times 100$$

⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá INVIAS, 2007

$$\text{Índice de aridez, } I_a = \frac{DEF}{ETP} \times 100$$

$$\text{Índice de Thornthwite, } I_m = I_h - (0,6 \times I_a)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial anual, en mm. Definida como la cantidad de vapor de agua que puede ser emitida desde una superficie libre de agua.

EXC: Exceso de agua anual, en mm. Definido como el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda.

DEF: Déficit de agua anual, en mm. Definido como el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar).

En la Tabla 25 se presentan las categorías de clima por humedad con base en el Índice de Thornthwite.

Tabla 25 Clasificación climática de Thornthwite

Categoría	Descripción	Índice de Thornthwite I_m
Árido	Muy pocas lluvias, alta evaporación	-100 a -61
Semi-árido	Pocas lluvias	-60 a -21
Sub-húmedo	Lluvia moderada ó lluvia fuertemente estacional	-20 a +19
Húmedo	Lluvia estacional calurosa moderada	+20 a +100
Superhúmedo	Lluvias con alta frecuencia o muchos días con superficie húmeda	$I_m > 100$

FUENTE Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

5.2 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Los cálculos de Thornthwite se basan en determinar la evapotranspiración potencial en función de la latitud (representativa de la extensión de horas-sol por día) y la temperatura media. La relación entre la temperatura media mensual y el potencial de evapotranspiración potencial es determinada de la siguiente manera:

a) Se calcula un “índice de calor mensual” (i) a partir de la temperatura media mensual (Tabla 27 Temperatura Media mensual)

(t).

$$i = \frac{t^{1,514}}{5}$$

b) Se calcula en “índice de calor anual” (I) sumando los 12 valores de i

$$I = \sum i$$

c) Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula

$$ETP_{\text{SIN CORREGIR}} = 16 \times \frac{10t^a}{I}$$

donde:

$ETP_{\text{sin corregir}}$: ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

t : Temperatura media mensual, °C

I : Índice de calor anual, obtenido en el punto b.

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0.49239$$

d) Corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol

$$ETP_{\text{CORREGIDA}} = ETP_{\text{SIN CORREGIR}} \times \frac{N}{12} \times \frac{d}{30}$$

Donde:

N: Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (Tabla 3.2 del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito)

d: Número de días del mes

En la Tabla 26 Valores mensuales totales de precipitación (mm), los cuales son necesarios para calcular el exceso y el déficit.

Tabla 26 Valores mensuales totales de precipitación (mm)

VALORES MENSUALES TOTALES DE PRECIPITACIÓN (mm)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Vr. Anual
1986	27,4	65,2	72,8	122,4	134	112,3	102,2	120,2	215,6	177,1	42,9	28,7	1220,8
1987	35,9	97,9	33,9	238	191,2	99,7	70,3	81,5	123	228,8	51,1	41,4	1292,7
1988	25,7	16,2	51,8	163,9	152	139,1	173,2	95,8	117	195	60	94,8	1284,5
1989	35,6	51,3	9,4	82,5	219,7	83,3	189,3	176	220,9	245,6	130,1	5,3	1449
1990	53,7	21,5	124,6	117,9	117,7	90,6	72,6	136,4	141,6	158,6	81,7	55,6	1172,5
1991	2,1	94,2	89,5	213,3	112,8	59,3	36,4	47	164	222,3	103,7	6,4	1151
1992	5,7	19,9	51,3	78,3	88,4	46,8	75	93,2	162,2	218	54,6	30,4	923,8
1993	13,1	223,9	15,7	109,5	154	200	100,7	291,8	144,2	192,2	276,5	65,4	1787
1994	50,5	18,6	61,2	31,8	90,9	63,6	69	91,9	150	151,5	83,1	112,8	974,9
1995	50,2	41,4	145,4	93,2	74,7	38,7	80,7	109,5	89,4	51,9	124,1	47,7	946,9
1996	28,4	16,8	107,3	75	131,8	18,9	45,4	39,4	94,6	187,6	133,3	7,5	886
1997	17,5	10	26,6	21,4	97,2	15,1	36,3	52,9	57	44,7	88,5	8,5	475,7
1998	13,8	1	62,9	134,4	170,8	162	120,2	42,8	98,8	74,2	82,7	6,7	970,3
1999	11,1	60,4	43,4	84,6	94,4	12,3	85,6	77,4	205,7	230,3	202,2	38,2	1145,6
2000	13	76,1	85,4	162,2	239,9	278,9	177,5	226,9	196,5	371,2	98,7	83,2	2009,5
2001	32,2	54,7	169,1	137,6	96,6	112,3	142,9	153,6	318,8	168,3	55,1	44,9	1486,1
2002	42,9	72,1	55,3	270,1	186,5	105,5	97,9	69,3	144,5	142,5	72	3	1261,6
2003	29,5	49,2	95,4	168,8	127,6	159,7	146,9	127,8	200,8	255,9	89,8	122,9	1574,3
2004	23,7	175,2	76	161,1	196,2	140	151,4	256,2	159,5	225,8	185,6	50	1800,7
2005	42,8	101,6	127,1	97,3	143,1	126,7	114,6	58,8	272,5	109,2	120	14,7	1328,4
2006	12,2	61,4	93,2	44,2	60,3	103,4	122	40,5	157,1	131,9	120,1	12,8	959,1
2007	15,3	24,6	94,3	116,7	125,5	239,2	30	23,9	119,8	210,2	183,2	31,5	1214,2
2008	28,5	136	13,7	216	167,1	144,7	95,5	117,2	169,5	96,4	91,7	41,8	1318,1
2009	70	61,9	50,3	172,3	160,9	111,8	82,9	123,7	163,2	172,8	112	38,3	1320,1
2010	28,5	136	93,2	44,2	60,3	103,4	199,7	214,4	272,5	109,2	120	14,7	1396,1
2011	26,8	59,4	218,1	234,8	127,3	108,7	103,5	190,1	108,8	284,1	257,7	90,2	1809,5

Promedio	28,3	67,2	79,5	130,4	135,4	110,6	104,7	117,6	164,1	179,1	116,2	42,2	1275,3
Minimo	2,1	1	9,4	21,4	60,3	12,3	30	23,9	57	44,7	42,9	3	475,7
Maximo	70	223,9	218,1	270,1	239,9	278,9	199,7	291,8	318,8	371,2	276,5	122,9	2009,5

FUENTE CDMB

Tabla 27 Temperatura Media mensual

TEMPERATURA													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Vr. Anual
2003	14,73	14,55	14,75	15,7	15,28	15,44	14,95	14,9	15,2	15,05	16,2	15,4	166,75
2004	14,5	14,81	15,7	16,2	15,41	15,21	14,41	14,85	15,41	14,89	15,2	14,88	166,59
2005	13,69	14,9	15,07	15,67	15,68	15,35	15,45	15,55	15,86	15,55	15,48	15,63	168,25
2006	16,14	16,49	16,5	16,48	16,34	15,67	15,29	15,14	15,1	15,71	14,89	14,41	173,75
2007	14,21	14,37	14,81	15,13	15,32	15,06	14,57	14,58	14,4	14,54	14,69	14,65	161,68
2008	13,88	13,93	14,55	14,98	15,48	15,1	14,82	15,29	15,12	15,2	14,55	16,2	162,9
2009	14,65	15,4	15,3	16,6	15,8	15,7	15,7	15,69	15,52	16,3	16,09	16,35	172,75
2010	15,45	16,23	16,64	16,7	16,79	16,19	16,87	17,03	16,87	16,97	17,26	17,76	183
2011	16,65	16,86	16,5	17,13	17,93	16,2	17,27	17,51	17,4	16,49	16,99	16,8	186,93
Promedio	14,9	15,3	15,5	16,1	16,0	15,5	15,5	15,6	15,7	15,6	15,7	15,8	171,4
Mínimo	13,69	13,93	14,55	14,98	15,28	15,06	14,41	14,58	14,4	14,54	14,55	14,41	161,68
Máximo	16,65	16,86	16,64	17,13	17,93	16,2	17,27	17,51	17,4	16,97	17,26	17,76	186,93

FUENTE CDMB

5.3 CALCULO DE LA ETP

Cálculo del índice de calor mensual (Tabla 28)

Tabla 28 Índice de Calor Mensual

MES	t (°C) de la serie histórica	i
Enero	16,7	6,18
Febrero	16,9	6,30
Marzo	16,5	6,10
Abril	17,1	6,45
Mayo	17,9	6,91
Junio	16,2	5,93
Julio	17,3	6,53
Agosto	17,5	6,67
Septiembre	17,4	6,61
Octubre	16,5	6,09
Noviembre	17,0	6,37
Diciembre	16,8	6,26

FUENTE Autor

5.3.1 Cálculo del índice de calor anual (I)

$$I = i = 76,40$$

5.3.2 Cálculo de la ETP mensual sin corregir (Tabla 29 ETP sin Corregir:

$$ETP_{\text{SIN CORREGIR}} = 16 \times \frac{10t^a}{I}$$

$$a = 1,712460411$$

Tabla 29 ETP sin Corregir

MES	t (°C) de la serie histórica	ETP sin corregir (mm/mes)
Enero	16,65	60,74
Febrero	16,86	62,06
Marzo	16,5	59,80
Abril	17,13	63,77
Mayo	17,93	68,95
Junio	16,2	57,95
Julio	17,27	64,66
Agosto	17,51	66,21
Septiembre	17,4	65,50
Octubre	16,49	59,74
Noviembre	16,99	62,88
Diciembre	16,8	61,68

FUENTE Autor

$$ETP_{CORREGIDA} = ETP_{SIN CORREGIR} \times \frac{N}{12} \times \frac{d}{30}$$

Con latitud de 7°, en la Tabla 3.2 del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, interpolando linealmente, se encuentran el número máximo de horas de sol (N) para cada mes.

La ETP mensual corregida se puede observar en la Tabla 30 Valores ETP mensual corregida

Tabla 30 Valores ETP mensual corregida

MES	ETP sin corregir (mm/mes)	N	d	ETP CORREGIDA (mm/MES)
Enero	60,74	11,72	31	61,30
Febrero	62,06	11,86	28	57,24
Marzo	59,80	12	31	61,80
Abril	63,77	12,24	30	65,04
Mayo	68,95	12,42	31	73,74
Junio	57,95	12,52	30	60,47
Julio	64,66	12,42	31	69,16
Agosto	66,21	12,34	31	70,36
Septiembre	65,50	12,1	30	66,04
Octubre	59,74	11,92	31	61,32
Noviembre	62,88	11,78	30	61,73
Diciembre	61,68	11,68	31	62,04
ETP TOTAL ANUAL=				770,24

FUENTE Autor

Tabla 31 Parámetros para la determinación del índice de Thornthwite

Parámetros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total anual (mm)
Pi	28,3	67,2	79,5	130,4	135,4	110,6	104,7	117,6	164,1	179,1	116,2	42,2	1275,3
ETPi	61,3	57,2	61,8	65,0	73,7	60,5	69,2	70,4	66,0	61,3	61,7	62,0	770,2
Ai	47,2	57,1	74,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	80,2	---
EXCi	0	0	0	40,2	61,7	50,1	35,5	47,3	98,1	117,7	54,4	0	505
DEFi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FUENTE Autor

Cálculo del Índice de Thornthwite con los parámetros de la Tabla 31 Parámetros para la determinación del índice de Thornthwite

$$ETP \text{ total anual} = \sum_{i=1}^{12} ETP_i = 770,2 \text{ mm}$$

$$EXC \text{ total anual} = \sum_{i=1}^{12} EXC_i = 505 \text{ mm}$$

$$DEF \text{ total anual} = \sum_{i=1}^{12} DEF_i = 0 \text{ mm}$$

$$\text{Índice de humedad, } I_h = \frac{EXC}{ETP} \times 100 = \frac{505}{770,2} \times 100 = 65,6\%$$

$$\text{Índice de aridez, } I_a = \frac{DEF}{ETP} \times 100 = \frac{0}{770,2} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Índice de Thornthwite, } I_m = I_h - (0,6 \times I_a) = 65,6 - (0,6 \times 0) = +65,6$$

5.4 CATEGORÍA DEL CLIMA

De acuerdo a los rangos de Índice de Thornthwite dados en la Tabla 25 Clasificación climática de Thornthwite, el clima de la región se clasifica como “Húmedo”.

$$+ 20 < + 25.9 < + 100 \Rightarrow \text{Clima: Húmedo}$$

5.5 CATEGORÍA DEL CLIMA POR TEMPERATURA

5.5.1 Criterios de evaluación

El criterio para categorizar el clima de la zona del proyecto desde el punto de vista de la temperatura se basa en la temperatura media diaria del aire de los siete (7) días consecutivos más calientes del año ($T_{7 \text{ días}}$). Las categorías adoptadas en el manual de bajos volúmenes de tránsito se indican en la Tabla 32 Categorías de clima por temperatura

Tabla 32 Categorías de clima por temperatura

Categoría de clima	Temperatura media diaria del aire histórica, de los siete (7) días consecutivos más calientes del año $T_{7 \text{ días}}$ (°C)
Frío	$T_{7 \text{ días}} \leq 20$
Templado	$20 < T_{7 \text{ días}} \leq 30$
Cálido	$T_{7 \text{ días}} > 30$

Fuente Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

Tabla 33 Valor promedio de la temperatura media del aire de los siete (7) días consecutivos más calientes del año

Año	T₇ días (l) °C
2003	18,7
2004	19,4
2005	18,3
2006	18,5
2007	19,3
2008	19,1
2009	20,3
2010	19,8
2011	20,2
Sumatoria	173,5
Promedio	19,3

FUENTE Autor

Según la Tabla 32 Categorías de clima por temperatura de Categorías de Clima por temperatura es un Clima **Frio**

6 DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE DRENAJE SUPERFICIAL REQUERIDOS POR LA VÍA

El objetivo de la parte de definición de los elementos de drenaje superficial, es evaluar las obras de drenaje correspondientes a la vía y hacer un dimensionamiento de las estructuras en los sectores donde se estime conveniente proponer un mejoramiento.

6.1 DISEÑO DE CUNETAS

Estudio hidrológico de la zona del proyecto. Elaboración de la familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F).

La familia de curvas I-D-F se denomina Intensidad de la lluvia (en milímetros por hora), duración del aguacero (en minutos), periodo de retorno (en años).

El procedimiento que se realizó para elaborar la familia de Curvas I-D-F fue el siguiente:

- a) Se obtuvieron los registros históricos de la precipitación máxima registrada en veinticuatro (24) horas en la estación pluviométrica de Sevilla, la cual es propiedad de la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), y se encuentra localizada en el municipio de Piedecuesta coordenadas N: 1.267.670,10 ; E: 1.119.427,61 con una elevación de 1007 m.s.n.m.
- b) Se identificó para cada año de la serie histórica, el valor máximo de precipitación registrado en veinticuatro (24) horas ($P_{Máx. 24h}$) mm.
- c) Se calculó la intensidad de la lluvia para diferentes duraciones de aguacero y para cada año de la serie histórica. Se utilizaron duraciones de aguacero de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos. Se aplicó la fórmula propuesta por Grunsky, organizando los datos como se presentan en la Tabla 34 correspondiente a la estación meteorológica de Sevilla. La fórmula de Grunsky es:

$$i_d = i_{24} \frac{24}{d}$$

Donde:

i_d = Intensidad de la lluvia sin considerar el período de retorno, en mm/h

i_{24} = Intensidad de la lluvia, en mm. Corresponde al valor horario en promedio del día más lluvioso del año de la serie histórica que se está analizando ($P_{\text{máx}} 24\text{h}$)

d = Duración del aguacero, en horas.

En la Tabla 34, para el año 1981 se tiene:

$$(P_{\text{máx}} 24\text{h}) = 37,4 \text{ mm}$$

$$i_{24} = 37,4/24 \text{ mm/h}$$

$$d = 5 \text{ minutos} = 5/60$$

$$i_d = \frac{37,4}{24} \frac{24 \times 60}{5} = 26,446 \text{ mm/h}$$

d) Ajustando la intensidad de la lluvia calculada en el paso anterior, utilizando periodos de retorno de 3, 5, 10, 15, 20 años. Se utiliza la fórmula propuesta por Gumbel:

$$i = -c \times \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] - a$$

Donde:

i = Intensidad de la lluvia mm/h, ajustada por período de retorno

$$c = 0.78 \times \sigma_i$$

σ_i = Desviación estándar de las intensidades históricas, calculadas para cada duración del aguacero, en mm/h. Estos valores se encuentran consignados al final de la Tabla 34

$$a = 0.577 \times c - i_m$$

i_m = Intensidad promedio de las intensidades históricas, calculadas para cada duración del aguacero, en mm/h. Estos valores se encuentran al final de la Tabla 34

TR = Período de retorno, en años.

Un ejemplo de la estación pluviométrica de Sevilla, en mm/h, para una duración del aguacero de 5 minutos y un periodo de retorno de 3 años, sería:

Duración = 5 minutos

TR= 3 años

$$c = 0,78 \times \sigma_i = 0,78 \times 25,963 = 20,251$$

$$a = 0,577 \times c - i_m = 0,577 \times 20,251 - 38,328 = -26,643$$

$$i = -20,251 \times \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{3} \right) \right] - 26,643 = 44,924 \text{ mm/h}$$

En la

FUENTE Autor

Tabla 35 se indican las intensidades para los periodos de retorno de 3, 5, 10, 15 y 20 años y duraciones de aguacero de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos.

Tabla 34 Calculo de la Intensidad histórica para diferentes duraciones de aguacero

Estación Sevilla

Año	P _{max 24h} (mm)	Intensidades histórica (mm/hora)					
		Duración del aguacero, en minutos					
		5	10	15	20	25	30
1986	37,4	26,446	18,700	15,268	13,223	11,827	10,796
1987	41	28,991	20,500	16,738	14,496	12,965	11,836
1988	30,7	21,708	15,350	12,533	10,854	9,708	8,862
1989	43,1	30,476	21,550	17,596	15,238	13,629	12,442
1990	26,6	18,809	13,300	10,859	9,405	8,412	7,679
1991	30,4	21,496	15,200	12,411	10,748	9,613	8,776
1992	70,1	49,568	35,050	28,618	24,784	22,168	20,236
1993	39,5	27,931	19,750	16,126	13,965	12,491	11,403
1994	48	33,941	24,000	19,596	16,971	15,179	13,856
1995	38,4	27,153	19,200	15,677	13,576	12,143	11,085
1996	85,7	60,599	42,850	34,987	30,300	27,101	24,739
1997	26,7	18,880	13,350	10,900	9,440	8,443	7,708
1998	50	35,355	25,000	20,412	17,678	15,811	14,434
1999	25	17,678	12,500	10,206	8,839	7,906	7,217
2000	80	56,569	40,000	32,660	28,284	25,298	23,094
2001	90,7	64,135	45,350	37,028	32,067	28,682	26,183
2002	131	92,631	65,500	53,481	46,315	41,426	37,816
2003	25	17,678	12,500	10,206	8,839	7,906	7,217
2004	24	16,971	12,000	9,798	8,485	7,589	6,928
2005	46,3	32,739	23,150	18,902	16,370	14,641	13,366
2006	39,5	27,931	19,750	16,126	13,965	12,491	11,403
2007	30,3	21,425	15,150	12,370	10,713	9,582	8,747
2008	60,6	42,851	30,300	24,740	21,425	19,163	17,494
2009	43,5	30,759	21,750	17,759	15,380	13,756	12,557
2010	60,6	42,851	30,300	24,740	21,425	19,163	17,494
2011	185,2	130,956	92,600	75,608	65,478	58,565	53,463
Promedio		38,328	27,102	22,129	19,164	17,141	15,647
Desviación Estándar		25,963	18,359	14,990	12,981	11,611	10,599
c		20,251	14,320	11,692	10,126	9,057	8,267
a		-26,643	-18,839	-15,382	-13,322	-11,915	-10,877

FUENTE Autor

Tabla 35 Cálculo de la intensidad según la duración del aguacero y el periodo de retorno

Periodo de Retorno (Años)	Duración del aguacero, en minutos					
	5	10	15	20	25	30
3	44,924	31,766	25,937	22,462	20,091	18,340
5	57,018	40,318	32,920	28,509	25,499	23,278
10	72,215	51,064	41,694	36,108	32,296	29,482
15	80,790	57,127	46,644	40,395	36,130	32,982
20	86,793	61,372	50,110	43,396	38,815	35,433

FUENTE Autor

- e) Para realizar la grafica de las curvas I-D-F (FUENTE Autor
- f) Figura 9 Familia de curvas I-D-F para la zona de la estación meteorológica Sevilla.) se corrigieron los valores de la intensidad de la lluvia calculados en el paso d y consignados en la
- g) FUENTE Autor
- h) Tabla 35, utilizando el método de los mínimos cuadrados. La corrección se hace utilizando la siguiente expresión:

$$i_{dibuj o} = \frac{A}{d + B}$$

Donde:

$i_{dibuj o}$: Intensidad de la lluvia para el dibujo de la familia de curvas I-D-F, en mm/h para un periodo de retorno TR y una duración “ d ” en minutos.

A, B : Parámetros que se obtienen de ecuaciones del método de ajuste por mínimos cuadrados.

Con esta ecuación se calculan los valores de $i_{dibuj o}$ para realizar la gráfica correspondiente a TR , para cada una de las duraciones (d) dadas. Esto se puede observar en la Tabla 36.

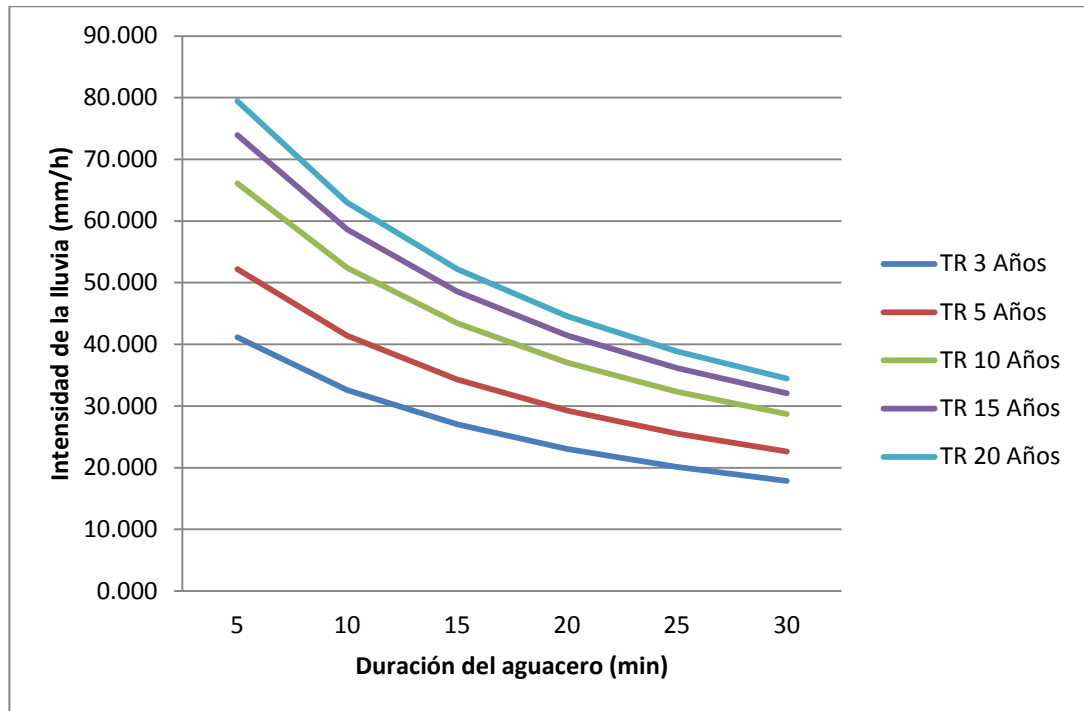
Tabla 36 Valores de los parámetros A y B y las intensidades de dibujo para una duración y período de retorno dados

Duración d	TR= 3 años		TR= 5 años		TR= 10 años		TR= 15 años		TR= 20 años	
	i	i_{DIBUJO}	i	i_{DIBUJO}	i	i_{DIBUJO}	i	i_{DIBUJO}	i	i_{DIBUJO}
5	44,924	41,125	57,018	52,197	72,215	66,109	80,790	73,957	86,793	79,453
10	31,766	32,612	40,318	41,391	51,064	52,423	57,127	58,647	61,372	63,005
15	25,937	27,018	32,920	34,292	41,694	43,432	46,644	48,589	50,110	52,199
20	22,462	23,063	28,509	29,272	36,108	37,074	40,395	41,475	43,396	44,557
25	20,091	20,118	25,499	25,534	32,296	32,339	36,130	36,179	38,815	38,867

30	18,340	17,840	23,278	22,642	29,482	28,677	32,982	32,082	35,433	34,466
A	787,672		999,727		1266,182		1416,513		1521,771	
B	14,153		14,153		14,153		14,153		14,153	

FUENTE Autor

Figura 9 Familia de curvas I-D-F para la zona de la estación meteorológica Sevilla.



FUENTE Autor

6.2 SELECCIÓN DEL DISEÑO (FORMA Y DIMENSIONES) DE LAS CUNETAS Y SU LONGITUD MÁXIMA

6.2.1 Cunetas revestidas en concreto

Las cunetas revestidas en concreto se diseñaron para que al final de su longitud su sección llegue al nivel de rebosamiento. El control de rebosamiento aplica para el caso más crítico, el cual se presenta cuando la cuneta tiene la pendiente longitudinal igual a la pendiente mínima de la vía. Para nuestro proyecto la pendiente mínima de la vía es 3,4 % y partiendo de esta se calculo el caudal de las cunetas.

En la Figura 10 se pueden observar las dimensiones de la cuneta revestida utilizada en esta vía terciaria y en la Tabla 37 sus dimensiones correspondientes.

El periodo de retorno usado para las cunetas según el manual de drenaje en su tabla 2.8 es de 5 años.

Según este mismo manual la duración de retorno más usada es la de 10 minutos y por esta razón se toma esta duración del aguacero.

Periodo de retorno (TR): 5 años

Duración del aguacero: 10 min.

Tipo de terreno: Montañoso

Pendiente mínima longitudinal de la vía = 3,4 %

Tipo de cuneta: Cuneta revestida, Tipo 2-B, triangular en L, con ancho 0.80 y profundidad 0.25 m.

Procedimiento:

1. De la Tabla 36 Valores de los parámetros A y B y las intensidades de dibujo para una duración y período de retorno dados para un TR = 5 años y duración del aguacero = 10 min. o de la curva I-D-F se obtiene Intensidad = 41,4 mm/hora.

2. En la tabla 6.5 del manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, se tiene que la longitud máxima de cuneta revestida:

Terreno: montañoso

Cuneta tipo 2-B

Intensidad 41,4 mm/hora

Se obtiene que la longitud máxima de cuneta revestida es 397 metros.

Esta longitud se obtiene de la tabla 6.5 del manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

3. Como conclusión, en los sitios donde la pendiente longitudinal de la vía sea igual a la mínima, 0.5%, debe ubicarse un aliviadero y una alcantarilla a los 397 metros medidos desde el inicio de la cuneta.

4. En los demás tramos de la vía con pendientes superiores a la mínima la distancia entre alcantarillas puede superar los 397 metros sin peligro de rebosamiento. Por lo tanto las alcantarillas pueden ubicarse de acuerdo a la topografía y a las fuentes de agua.

6.3 ALCANTARILLAS

Para la ubicación de las alcantarillas a lo largo de la vía se definen los sitios de cruce con fuentes de agua permanente, el cruce con hondonadas y los sitios donde es necesario evacuar las aguas provenientes de las cunetas. Esta evacuación se hace mediante aliviaderos que llevan el agua a alcantarillas dispuestas para este fin. Los aliviaderos y las alcantarillas se ubican en los sitios donde se cumpla con la longitud máxima de la cuneta, ya sea longitud por rebosamiento o por erosión.

La obra para la evacuación de las aguas provenientes de las cunetas es un aliviadero de ancho igual o mayor al ancho de la cuneta y profundidad mínima de 0.30m y una alcantarilla normal de diámetro 90 cm⁷. Esta alcantarilla también puede servir para evacuar las aguas de las hondonadas en el caso de que se presente la coincidencia de la longitud máxima de la cuneta y la hondonada.

Pero según el manual de drenajes para carreteras, en su sección 4.4.5.2 “Alcantarillas para desagüe de cunetas, filtros y zanjas de coronación”

Estas alcantarillas, en las cuales los caudales son bajos y la estructura de entrada es una poceta o caja que colecta las aguas provenientes de cunetas, filtros o bajantes, se diseñan como un canal con una pendiente tal que la velocidad se encuentre entre la mínima (0,5%) y la máxima (5%) permisibles.

El diámetro mínimo de todas las alcantarillas, incluyendo las alcantarillas de alivio de cunetas, es de 0.90 m.

Por este motivo para las alcantarillas donde sea necesario realizar un cambio de tubería, se debe realizar por una de 36”, ya que esto facilitaría las labores de mantenimiento de las mismas y se daría cumplimiento al numeral anteriormente mencionado.

⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de drenajes para carreteras. Bogotá INVIAS, 2009

Debido a que las alcantarillas se diseñan como un canal, se calculo el caudal que pueden evacuar los diferentes diámetros de tubos que tienen las alcantarillas de la vía, con una pendiente mínima del 2% y se presentan en la Tabla 38.

Tabla 38 Caudal según el Diametro

Diámetro (pulg)	Caudal (m ³ /s)
16	0,133
20	0,241
24	0,393
36	1,157

FUENTE Autor

En la Tabla 39 se presenta el número de alcantarillas, su ubicación y el diámetro de ellas, además se realizo un análisis detallado para cada alcantarilla y se pudo comprobar que todas cumplen al evacuar el caudal esperado, para un periodo de retorno de 10 Años, el cual es el solicitado en el manual de drenaje de Carreteras.

Tabla 39 Inventario de Alcantarillas Existentes

Alcantarillas	Ubicación	Diámetro de las alcantarillas existentes (pulg)	Longitud aferente de cuneta	Caudal Máximo esperado para la Cuneta TR 5 años	Caudal Máximo esperado para las alcantarillas TR 10 años
1	k0+180	20	130	0,027	0,034
2	k0+310	20	250	0,052	0,066
3	k0+560	24	46	0,010	0,012
4	k0+606	24	51	0,011	0,013
5	k0+657	24	135	0,028	0,035
6	k0+792	36	97	0,020	0,025
7	k0+889	36	265	0,055	0,069
8	k1+154	24	89	0,018	0,023
9	k1+243	36	167	0,035	0,044
10	k1+410	24	98	0,020	0,026

11	k1+508	24	169	0,035	0,044
12	k1+677	36	114	0,024	0,030
13	k1+791	24	190	0,039	0,050
14	k1+981	24	233	0,048	0,061
15	k2+214	24	140	0,029	0,037
16	k2+354	16	152	0,031	0,040
17	k2+506	24	419	0,087	0,110
18	k2+925	24	42	0,009	0,011
19	k2+967	24	104	0,022	0,027
20	k3+071	24	114	0,024	0,030
21	k3+185	24	78	0,016	0,020
22	k3+263	24	115	0,024	0,030
23	k3+378	24	204	0,042	0,053
24	k3+582	24	92	0,019	0,024
25	k3+674	16	114	0,024	0,030
26	k3+788	24	112	0,023	0,029

FUENTE Autor

Estas estructuras de drenaje fueron inspeccionadas con la ayuda de la comunidad y se proponen realizar algunas obras para complementarlas, el resumen de estas obras se puede observar en la Tabla 40

Tabla 40 Complementos de las obras de drenaje Existentes

#	UBICACIÓN	DEMOLER ALCANTARILLA	ALCANTARILLA NUEVA	LONGITUD (M)	CONSTRUIR CAJA DE CAPTACIÓN	CONSTRUIR ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN
1	k0+578		X	2	X	X
2	k0+944		X	3	X	X
3	k1+040		X	7	X	X
4	k1+154					X
5	k1+243					X
6	k1+508					X
7	k1+677				X	
8	k1+880		X	7	X	X
9	k2+354					X
10	k2+506					X
11	k2+660		X	7	X	X
12	k2+760		X	7	X	X

13	k2+925				X	
14	k3+263				X	
15	k3+378	X	X	7	X	X
16	k3+582					
17	k3+674	X	X	7	X	X
18	k3+788					X
TOTAL		2	8		11	14

FUENTE Autor

Con la ayuda del manual de drenajes de carreteras y un diseño que se realizo para las obras de geotecnia en la zona de influencia de la via para la empresa transoriente se propone el diseño de una caja colectora típica, donde el tubo tiene una pendiente del 2%, como se observa en el ANEXO D.

Para le estructura de disipación de Energía se propone un diseño que se presenta en el ANEXO E.

Para poder llevar a cabo la ampliación de la vía se requiere de la implementación de muros de contención, por lo cual se utilizaron los muros de concreto ciclópeo diseñados por la empresa transoriente para las obras de geotecnia de la zona de influencia de la via. Los cuales se encuentran en los anexos digitales del proyecto.

7 DISEÑO DEL PAVIMENTO

7.1 DISEÑO A 15 AÑOS

Como datos de entrada se determino el uso de una confiabilidad del 70% recomendada por el INVIAS en el manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

Se determino un nivel de serviciabilidad inicial de 4,2 como fue determinado por el AASHO Road Test para pavimentos flexibles y un nivel de serviciabilidad final de 2.

El modulo resiliente de la subrasante utilizado para el cálculo del SN de la estructura de pavimento es igual a 11854 psi calculado a partir del CBR de diseño.

El número de ejes equivalentes de 80KN es de 319807 para un periodo de diseño de 15 años.

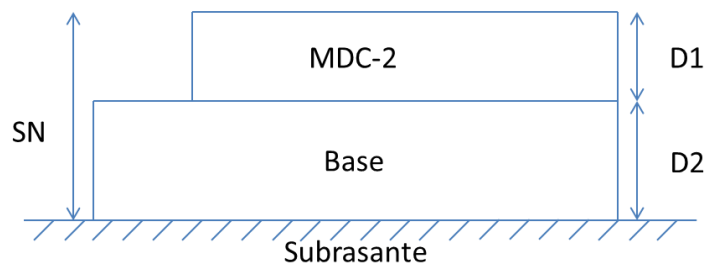
Se determino el SN de la estructura de pavimento mediante el uso del software libre descargado en la página <http://www.camineros.com/software.htm>, el cual fue desarrollado por el ingeniero Luis Ricardo Vásquez de Manizales, Colombia. En la Figura 11 podemos observar el software.

Figura 11 Software para el cálculo de la estructura del Pavimento

FUENTE Autor

Con los datos iniciales y el software se determino un SN de 2,08 y sabiendo que:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2$$



Con los parámetros que se calcularon anteriormente respecto al clima en la zona se pueden determinar las propiedades de los materiales que componen la estructura asfáltica, en este caso la MDC-2 y la base granular, como lo podemos observar en la Tabla 41 Coeficientes estructurales a_i .

Tabla 41 Coeficientes estructurales α_i

Tipo de capa		Clasificación climática por temperatura	α_i
Descripción de la Capa	Nomenclatura		
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2	MDC-2	Frío	0.44
		Templado	0.41
		Cálido	0.37
Mezcla asfáltica densa en frío tipo 2	MDF-2	Frío	0.40
		Templado	0.37
		Cálido	0.34
Suelo estabilizado con emulsión asfáltica	BEE-3	Todas las categorías	0.14
Suelo estabilizado con cemento Portland	BEC	Todas las categorías	0.14
Base granular	BG	Todas las categorías	0.14
Subbase granular	SBG	Todas las categorías	0.12
Afirmado que cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-1	Todas las categorías	0.08
Afirmado que no cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-2	Todas las categorías	0.06

FUENTE Autor

Además en la Tabla 42 Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas m_i también podemos observar el coeficiente de drenaje de la capa granular.

Tabla 42 Coeficientes de drenaje de las capas granulares no tratadas m_i

Clasificación climática por humedad	m_i
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

$$a_1 = 0,44$$

$$a_2 = 0,14 \quad m_2 = 0,95$$

Y suponiendo un espesor de 8 cm para la MDC-2 tenemos que:

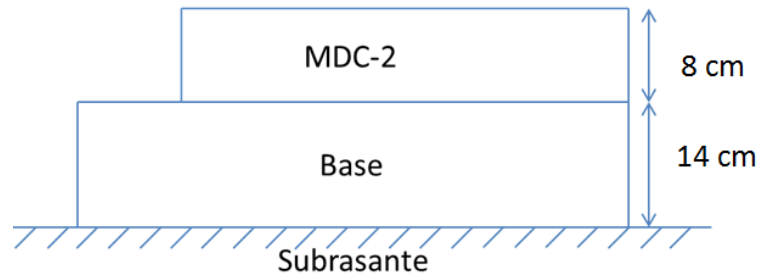
$$D_2 = \frac{SN - a_1 * D_1}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 = \frac{2,08 * 2,54 - 0,44 * 8}{0,14 * 0,95}$$

$$D_2 = 13,257 \text{ cm}$$

Con lo cual se determinó la estructura de diseño que se muestra en la Figura 12.

Figura 12 Estructura de pavimento flexible 1



FUENTE Autor

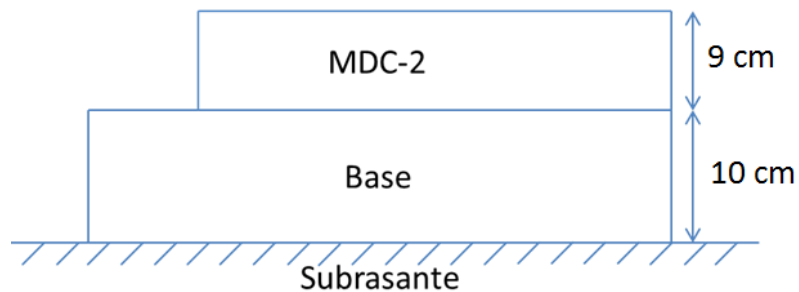
Ahora suponiendo un espesor de 9 cm para la MDC-2 como se observa en la Figura 13, tenemos que:

$$D2 = \frac{SN - a1 * D1}{a2 * m2}$$

$$D2 = \frac{2,08 * 2,54 - 0,44 * 9}{0,14 * 0,95}$$

$$D2 = 9,949 \text{ cm}$$

Figura 13 estructura de pavimento flexible 2



FUENTE Autor

7.2 ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL DISEÑO

Ahora de las dos posibles estructuras de pavimento flexible se debe seleccionar la que genere menos costos; para ello se utilizó el valor obtenido de los ITEMS base granular y mezcla densa en caliente tipo 2 presentados en los APU's del proyecto.

Para poder realizar la comparación se determinó el valor por metro cuadrado (m²) de las dos estructuras, como se presenta en la Tabla 43 .

Tabla 43 Análisis de Precios Unitarios de las Estructuras

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE LA ESTRUCTURA 1 (BG/14cm; MDC-2/8cm)				
ITEM	UNIDA D	VALOR UNITARIO	CANTIDA D	VALOR TOTAL
BASE GRANULAR	M3	114447	0,14	16022,58
MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 2	M3	558006	0,08	44640,48
VALOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR M2				60663,06

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE LA ESTRUCTURA 2 (BG/10cm; MDC-2/9cm)				
ITEM	UNIDA D	VALOR UNITARIO	CANTIDA D	VALOR TOTAL
BASE GRANULAR	M3	114447	0,10	11444,7
MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 2	M3	558006	0,09	50220,54
VALOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR M2				61665,24

FUENTE Autor

De la Tabla 43 se pudo determinar que la mejor opción es la estructura 1 compuesta por un espesor de base granular de 14 centímetros y un espesor de MDC-2 de 8 centímetros.

8. PRESUPUESTO



El presupuesto Oficial de la Obra se presenta en la Tabla 44 Presupuesto Oficial.y fue elaborado con la ayuda de 22 Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVIAS y 8 Especificaciones Particulares.

Los APUs de cada una de estas especificaciones se encuentran en los anexos digitales y fueron elaborados teniendo en cuenta el índice de precios al consumidor (IPC) y la variación que tuvo en el 2012, la cual fue de 5.76% con respecto al 2011, además dentro de este presupuesto se hace una detallada descripción de todos los elementos y las cantidades necesarias para la ejecución de la obra.

Se propone además que la mano de Obra no especializada sea contratada con la comunidad de la Zona, ya que de esta manera se contribuya al fortalecimiento de la económico de la región.

El transporte de las distintas clases de materiales se llevara a cabo en un radio no mayor de 30 Km de la Zona de Ejecución del proyecto ya que se cuenta con canteras de materiales dentro de esta zona al igual que con un botadero para los desechos de material que se produzcan durante la ejecución del proyecto

Tabla 44 Presupuesto Oficial

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL 2012 MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA VIA: ICP – CRUCE FALTRIQUERA CON GRANADILLO, SECTOR PIEDECUESTA DEPARTAMENTO DE SANTANDER PROYECTO DE GRADO MODALIDAD PRACTICA SOCIAL</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">FORMULARIO DE PRESUPUESTO OFICIAL</p>								
No	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION	UNID	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		GENERAL	PARTICULAR					
I – EXPLANACIONES								
1	1,1	200-07		DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS	Ha	1,7	2.056.846,00	3.496.638
	1,2		1P	LOCALIZACION Y REPLANTEO	Ha	3,9	8.237.976,00	32.128.106
2	1,3		2P	CAMPAMENTO	und	2	6.979.241,00	13.958.482
3	1,3	201-07		REMOCIÓN DE ALCANTARILLAS	m	13	105.329,00	1.369.277
4	1,4	201-07		REMOCION CALZADA EXISTENTE	m ²	7.975	17.643,00	140.702.925
5	1,5	201-07		REMOCION Y TRASLADO DE CERCA DE ALAMBRE	m	600	3.777,00	2.266.200
6	1,6	210-07		EXCAVACION EN ROCA	m ³	942	38.262,00	36.042.804
7	1,7	210-07		EXCAVACION EN MATERIAL COMUN	m ³	17.904	8.030,00	143.769.120
8	1,8	220-07		TERRAPLEN	m ³	7.142	13.581,00	96.995.502

9	1,9	310-07		CONFORMACION CALZADA EXISTENTE	m ²	24.570	2.539,00	62.383.230
II - BASES Y AFIRMADOS (SECTOR ICP-FALTRIQUERA GRANADILLO)								
1	2,1	330-07		BASE GRANULAR	m ³	3.155	124.516,00	392.847.980
III - PAVIMENTOS ASFALTICOS								
1	3,1	450-07		MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-2 (ICP-FALTRIQUERA)	m ³	1.802	495.705,00	893.260.410
IV - ESTRUCTURAS Y DRENAJES								
1	4,1	610-07		RELLENOS PARA ESTRUCTURAS	m ³	55	108.222,00	5.952.210
2	4,2	670-07		DISIPADORES DE ENERGIA Y SEDIMENTADORES EN CONCRETO CICLOPEO	Und.	14	1.992.887,00	27.900.418
3	4,3	671-07		CUNETA DE CONCRETO FUNDIDA EN EL LUGAR	m ³	445	495.517,00	220.505.065
4	4,4		3P	GAVIONES PARA DISIPADORES	m ³	17	209.601,00	3.563.217
5	4,5	661-07		TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO 900 mm DE DIAMETRO INTERIOR	m	47	646.610,00	30.390.670
6	4,6		4P	CAJAS DE INSPECCION	Und.	11	1.401.010,00	15.411.110
7	4,7		4P	ESCOLE	Und.	11	1.839.405,00	20.233.455
8	4,8		5P	CONCRETO CICLOPEO PARA MURO DE CONTENCIÓN h=2m	m	63	672.029,00	42.341.796
9	4,9		5P	CONCRETO CICLOPEO PARA MURO DE CONTENCIÓN h=3m	m	95	1.327.986,00	126.158.670
10	4,10		5P	CONCRETO CICLOPEO PARA MURO DE CONTENCIÓN h=4m	m	21	2.041.226,00	42.865.746
V- SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD								
1	5,1		MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL	LINEA DE DEMARCAACION CON PINTURA EN FRIO	m	15.600	6.145,00	95.862.000
2	5,2		MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL	TACHA REFLECTIVA BIDIRECCIONAL	Und.	1.440	6.430,00	9.259.200
2	5,3		MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SEÑALES VERTICALES SP, SR y SI (75 cm X 75 cm).	Und.	160	211.292,00	33.806.720

3	5.4		7P	SEÑALIZACION Y CONTROL DE TRAFICO	Mes	4	4.146.250,00	16.585.000
VI - OBRAS VARIAS								
1	6.1		8P	LIMPIEZA Y REMOCION DE ESCOMBROS FINAL	Gb.	1	7.188.750,00	7.188.750
VII – TRANSPORTE								
1	7.1	900-07		TRANSPORTE DE MATERIALES PROVENIENTES DE LA EXPLAN, CANAL, PRESTA ENTRE 100 Y 1000 M	m³	9.285	5.867,00	54.475.095
2	7.2	900-07		TRANSPORTE DE MATERIALES PROVENIENTES DE LA EXCAVACIÓN DE LA EXPLANACIÓN, CANALES, PRESTAMOS PARA DISTANCIAS MAYORES DE 1000m	m³-km	410.810	1.417,00	582.117.770
SUBTOTAL								\$ 3.153.837.566
INTERVENTORIA (7%)								\$ 220.768.630
A.I.U. (35%)								\$ 1.103.843.148
VALOR IVA (16% SOBRE UTILIDAD OBRA)								\$ 25.230.701
VALOR TOTAL OBRA								\$ 4.503.680.045
VALOR EN LETRAS: CUATRO MIL QUINIENTOS TRES MILLONES SEISCIENTOS OCHENTA MIL CUARENTA Y CINCO PESOS M/CTE								
NOTAS					DESCRIPCION		PORCENTAJE	
1.- Cuando la fracción decimal del peso sea igual o superior a 5 se aproximara por exceso al número entero siguiente del peso y cuando la fracción decimal del peso sea inferior a 5 se aproximará por defecto al número entero del peso. 2.-El A.I.U y su discriminación deben estar en porcentaje (%)					ADMINISTRACION		A=	25%
					IMPREVISTO		I=	5%
					UTILIDAD		U=	5%
					TOTAL A.I.U		A.I.U.=	35%

FUENTE Autor

CONCLUSIONES

- A partir del estudio topográfico realizado en la vía se puede observar que las pendientes longitudinales del terreno son mayores a las permitidas en el manual de diseño geométrico, así mismo algunas curvas horizontales no están cumpliendo con los radios mínimos exigidos, pero esto es debido principalmente al terreno y la geometría actual de la vía, dificultando así llegar a cumplir con lo planteado por la norma.
- Se implementó el uso de factores de expansión con el fin de obtener el volumen de tránsito mínimo requerido que es de 18 horas según lo estipulado por el INVIAS en su manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Para calcular dichos factores se utilizaron los datos obtenidos en campo en los intervalos de tiempo de 4 a 6 a.m. y de 6 a 10 p.m.
- De acuerdo con los datos presentados mediante el ensayo con PDC, podemos observar que los resultados del CBR con PDC no son coherentes con el tipo de suelo encontrado en dicho terreno. Los malos resultados se deben principalmente al mal estado del equipo lo cual dificultó la determinación del CBR en la vía, también se encontró presencia de material granular grueso en la subrasante impidiendo realizar el ensayo de cono dinámico de la mejor manera.
- Al analizar los resultados en el laboratorio, se observó que el suelo en el que va a estar soportado la vía está constituido principalmente por arenas limosas en toda su longitud, por lo que permite concluir que la vía a pavimentar posee un tramo homogéneo a lo largo de todo el corredor vial, el segmento homogéneo correspondiente para nuestro caso es el A, debido a que la rasante del proyecto es sensiblemente paralela al afirmado existente, por lo que dicho afirmado podría formar parte de la estructura de pavimento a construir.
- Partiendo del diseño del pavimento se pudieron obtener dos posibles estructuras de pavimento flexible, realizando una comparación de análisis de precios unitarios entre ellas se determinó que la mejor opción es la estructura compuesta por un espesor de base

granular de 14 centímetros y un espesor de MDC-2 de 8 centímetros, debido a que el valor por m^2 es más económico.

- Cada uno de los parámetros utilizados para el diseño del pavimento y de las obras complementarias del proyecto cumplieron con las especificaciones técnicas expuestas en las diferentes normas. Para el análisis topográfico se requirió del manual de diseño geométrico de carreteras, el análisis del tránsito, el análisis de la capacidad de soporte de la subrasante, el clima y los elementos de drenaje fueron analizados según los criterios del manual de bajos volúmenes de tránsito y las obras complementarias como las alcantarillas, los disipadores etc., se analizaron bajo el criterio del manual de drenajes para carreteras INVIAS 2009.

RECOMENDACIONES

- El corredor donde se desarrolla el proyecto ha sido intervenido por obras de infraestructura nacional (Gasoducto Gibraltar-Bucaramanga) y regional (Acueducto Ruitoque), obras que han precipitado el deterioro de la vía. Se recomienda a la comunidad gestionar la participación de recursos económicos para la construcción del proyecto a las empresas beneficiadas con las servidumbres de paso, de acuerdo al porcentaje de intervención con respecto al total proyectado 3,9 Km. Adicionalmente existen otras entidades que cuentan con instalaciones físicas en el área de influencia del proyecto como el Ejército Nacional y el Instituto Colombiano del Petróleo, que indirectamente son beneficiadas con el proyecto, y las cuales también pueden participar económicamente en la ejecución del mismo.
- La mejor forma de incentivar al campesino para que produzca y sea competitivo es garantizando las condiciones mínimas de movilidad a través de un estado comprometido con el abaratamiento de los costos de producción y de comercialización. ¿De qué sirve abrir los mercados, si no somos eficientes en la producción y en la comercialización?
- La importancia del proyecto es que beneficia a varias veredas de Piedecuesta, aportando al desarrollo de la región, permitiéndole al campesinado la explotación de sus productos de una manera eficiente y económicamente rentable.
- Se materializa el inicio de una alternativa de comunicación entre departamentos vía Bucaramanga-Cúcuta. La vía inicia en la autopista frente al ICP, pasa por las veredas El Limonal, Granadillo, Rosas, Palma, Cristales (en la vereda Cristales se une la vía que inicia frente a la estación de servicio El Molino- autopista a Bogotá-vereda Sevilla y la vía ICP) y termina en el kilómetro 40 de la vía Bucaramanga-Cúcuta. Es el principio de una solución a los inconvenientes registrados en los dos últimos años por la ola invernal, donde Santander ha quedado incomunicado con Norte de Santander

BIBLIOGRAFÍA

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá INVIAS, 2007.

BRAVO, Pablo Emilio. Diseño de Carreteras. Técnica y análisis del proyecto. 6 ed. Bogotá D.C, 1998.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de drenajes para carreteras. Bogotá INVIAS, 2009.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras Bogotá INVIAS, 2007.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá INVIAS, 2008

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga. INGEOMINAS, 2001

ALCALDIA MUNICIPAL DE PIEDECUESTA Plan de Desarrollo Piedecuesta Incluyente, Solidaria, viable y Productiva 2008-2011 Alcaldía Municipal, 2008

AASHTO. Guide for Mechanistic- Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board. National Research Council. Illinois. 2002.

<http://www.camineros.com/software.htm>

<http://www.invias.gov.co>

<http://www.cdmb.gov.co>

ANEXOS

ANEXO A ANÁLISIS TOPOGRÁFICO

- PROPIEDADES DE LAS CURVAS HORIZONTALES

Tabla 1 Resultados propiedades curvas horizontales vía ICP- cruce faltriquera con granadillo

CUADRO DE CURVAS					
CURVA	DELTA	RADIO(m)	LONGITUD	CUERDA	TANGENTE(m)
C1	76°34'25"	15,3	20,42	18,93	12,06
C2	54°44'36'	35,8	34,22	32,93	18,54
C3	91°53'38"	12,5	19,98	17,90	12,87
C4	130°23'23"	39,5	89,92	71,74	85,50
C5	09°54'09"	60,3	10,42	10,41	5,23
C6	13°42'06"	60,3	14,42	14,39	7,25
C7	20°03'05'	38,2	13,37	13,30	6,75
C8	54°34'44"	20,8	19,85	19,11	10,75
C9	21°42'32"	32,7	12,41	12,33	6,73
C10	13°02'47"	32,7	7,46	7,44	3,74
C11	148°06'44"	9,5	24,48	18,21	33,15
C12	92°12'59"	12,3	19,83	17,76	12,81
C13	03°59'19"	114,6	7,98	7,98	3,99
C14	14°18'11"	114,6	28,61	28,53	14,38
C15	43°43'55"	22,0	16,82	16,42	8,84
C16	59°37'42"	17,6	18,35	17,53	10,10
C17	105°47'20"	10,4	19,23	16,62	13,77
C18	47°57'08"	27,3	22,83	22,17	12,13
C19	20°22'49"	31,8	11,32	11,26	5,72
C20	08°53'49"	31,8	4,94	4,94	2,48
C21	32°43'36"	38,2	21,82	21,52	11,22
C22	23°17'24"	31,8	12,94	12,85	6,56
C23	158°10'05"	6,2	17,10	12,16	32,12
C24	16°04'49"	114,6	32,16	32,06	16,19
C25	89°22'46"	44,1	68,75	61,99	43,60
C26	87°41'22"	15,5	23,70	21,45	14,87
C27	103°21'36"	24,9	44,94	39,09	31,52
C28	20°33'02"	57,3	20,55	20,44	10,39
C29	27°06'39"	17,6	8,34	8,26	4,25
C30	23°20'00"	19,1	7,78	7,72	3,94
C31	161°00'18"	9,7	27,29	19,16	58,05
C32	96°26'23"	21,6	36,39	32,25	24,20

C33	41°29'46"	45,8	33,20	32,48	17,36
C34	42°40'40"	31,8	23,71	23,17	12,44
C35	136°20'20"	18,8	44,70	34,88	46,89
C36	112°05'28"	15,3	29,89	25,35	22,69
C37	29°06'11"	31,8	16,17	16,00	8,26
C38	63°48'50"	25,5	28,36	26,92	15,86
C39	98°56'51"	24,9	43,02	37,87	29,14
C40	53°14'03"	20,8	19,36	18,67	10,44
C41	08°38'14"	38,2	5,76	5,75	2,89
C42	30°42'14"	22,9	12,28	12,14	6,29
C43	47°04'19"	25,5	20,92	20,34	11,09
C44	48°30'47"	25,5	21,56	20,92	11,48
C45	123°35'05"	13,3	28,74	13,48	24,84
C46	28°15'42"	25,5	12,56	12,43	6,41
C47	12°02'19"	19,1	4,01	4,01	2,01
C48	18°40'01"	19,1	6,22	6,20	3,14
C49	154°00'45"	8,3	22,32	16,18	35,99
C50	30°41'56"	40,9	21,93	21,67	11,23
C51	28°32'17"	38,2	19,03	18,83	9,71
C52	155°41'27'	10,4	28,31	20,37	48,37
C53	46°09'19"	31,8	25,64	24,95	13,56
C54	17°51'06"	57,3	17,85	17,78	9,00
C55	152°28'37"	19,1	50,83	37,10	77,98
C56	55°51'08"	28,6	27,93	26,83	15,19
C57	29°59'20"	25,5	13,33	13,18	6,82
C58	52°09'22"	25,5	23,18	22,39	12,46
C59	21°50'21"	25,5	9,71	9,65	4,91
C60	58°34'48"	22,9	23,43	22,43	12,86
C61	44°24'09"	19,1	14,80	14,43	7,79
C62	17°07'04"	38,2	11,41	11,37	5,75
C63	14°06'32"	45,8	11,29	11,26	5,67
C64	36°08'07"	62,2	39,24	38,60	20,30
C65	61°07'23"	23,4	24,95	23,78	13,81
C66	12°58'47"	31,8	7,21	7,20	3,62
C67	38°29'48"	25,5	17,11	16,79	8,89
C68	19°32'36"	28,6	9,77	9,72	4,93
C69	117°37'52"	8,2	16,93	14,11	13,62
C70	83°31'46"	22,9	33,41	30,53	20,47
C71	44°51'03"	23,9	18,69	18,21	9,85
C72	49°53'09"	40,2	35,01	33,91	18,70
C73	10°58'41"	57,3	10,98	10,96	5,51

C74	88°35'48"	17,6	27,26	24,63	17,20
C75	46°04'34"	25,5	20,48	19,93	10,83
C76	80°21'35"	14,3	20,09	18,48	12,10
C77	119°07'18"	12,1	25,08	20,80	20,53
C78	66°40'34"	29,4	34,19	32,30	19,33
C79	10°53'25"	57,3	10,89	10,87	5,46
C80	05°14'59"	114,6	10,50	10,50	5,25

FUENTE AUTOR

- Propiedades de las curvas Verticales

Tabla 2 Resultados propiedades curvas verticales vía ICP- cruce faltriquera con granadillo

CUADRO DE CURVAS VERTICALES							
CURVA	S1 %	S2 %	A	Kmin	K	Lmin	L (m)
C1	3,45	3,58	0,13	3	459.75	12.0	60
C2	3,58	9,30	5,71	3	14.00	17.1	80
C3	9,30	-0,21	9,50	1	5.26	12.0	50
C4	-0,21	8,70	8,90	3	5.62	26.7	50
C5	8,70	11,26	2,56	3	31.23	12.0	80
C6	11,26	11,80	0,54	3	184.25	12.0	100
C7	11,80	14,67	2,87	3	13.92	12.0	40
C8	14,67	6,32	8,35	1	1.80	12.0	15
C9	6,32	13,43	7,10	3	2.82	21.3	21
C10	13,43	8,42	5,01	1	5.99	12.0	30
C11	8,42	14,58	6,16	3	3.25	18.5	20
C12	14,58	8,28	6,30	1	4.76	12.0	30
C13	8,28	13,12	4,84	3	4.14	14.5	20
C14	13,12	6,89	6,23	1	9.63	12.0	60
C15	6,89	15,46	8,58	3	11.66	25.7	100
C16	15,46	12,21	3,26	1	18.41	12.0	60
C17	12,21	11,18	1,03	1	58.50	12.0	80
C18	11,18	8,06	3,12	1	6.42	12.0	20
C19	8,06	15,68	7,62	3	3.94	22.8	30
C20	15,68	10,92	4,76	1	9.46	12.0	45
C21	10,92	12,21	1,29	3	46.49	12.0	60
C22	12,21	17,12	4,91	3	6.11	30.0	30
C23	17,12	10,26	6,87	1	5.82	12.0	40
C24	10,26	7,71	2,54	1	19.67	12.0	50
C25	7,71	11,30	3,59	3	11.15	12.0	50
C26	11,30	8,07	3,23	1	18.60	12.0	60

C27	8,07	15,37	7,30	3	4.11	21.9	30
C28	15,37	11,16	4,21	1	19.02	12.0	80
C29	11,16	21,21	10,05	3	2.99	30.1	30
C30	21,21	7,89	13,32	1	1.50	13.3	20
C31	7,89	17,84	9,94	3	3.02	29.8	30
C32	17,84	8,11	9,72	1	2.06	12.0	20
C33	8,11	14,33	6,21	3	9.66	18.6	60
C34	14,33	9,23	5,10	1	7.84	12.0	40
C35	9,23	5,73	3,50	1	11.44	12.0	40
C36	5,73	13,19	7,47	3	6.70	22.4	50
C37	13,19	9,30	3,90	1	12.82	12.0	50
C38	9,30	11,77	2,48	3	24.24	12.0	60
C39	11,77	7,77	4,00	1	12.49	12.0	50
C40	7,77	9,78	2,01	3	29.79	12.0	60
C41	9,78	4,36	5,43	1	9.22	12.0	50
C42	4,36	6,22	1,87	3	26.81	12.0	50
C43	6,22	13,62	7,40	3	5.40	22.2	40
C44	13,62	8,87	4,75	1	3.155	12.0	15

FUENTE AUTOR

ANEXO B CONTEOS VEHICULARES

Tabla 1 Valores horarios conteo martes 18 de octubre de 2011

MARTES 18 DE OCTUBRE								
Hora	Motos	Autos	Buses	C2- P	C2- G	C3- C4	C5	>C5
6 - 7	6	3	0	0	0	0	0	0
7 - 8	17	6	1	1	2	0	0	0
8 - 9	11	5	0	0	1	0	0	0
9-10	5	2	0	0	0	0	0	0
10 - 11	8	6	0	1	0	0	0	0
11 - 12	19	9	0	0	0	0	0	0
12 - 13	10	6	0	0	0	0	0	0
13 - 14	13	4	0	0	0	0	0	0
14 - 15	13	5	0	0	1	0	0	0
15 - 16	9	4	0	1	0	0	0	0
16 - 17	9	3	0	0	1	0	0	0
17 - 18	21	5	0	0	1	0	0	0

Tabla 2. Valores horarios conteo miércoles 19 de octubre de 2011

MIÉRCOLES 19 DE OCTUBRE								
Hora	Motos	Autos	Buses	C2-P	C2-G	C3-C4	C5	>C5
4 - 5	0	0	0	1	1	0	0	0
5 - 6	3	2	0	1	0	0	0	0
6 - 7	9	5	0	2	0	0	0	0
7 - 8	24	13	1	3	2	0	0	0
8 - 9	12	14	0	0	0	0	0	0
9-10	10	4	0	0	0	0	0	0
10 - 11	11	10	0	3	1	0	0	0
11 - 12	22	21	1	0	0	0	0	0
12 - 13	12	9	0	0	0	0	0	0

13 - 14	10	13	0	0	0	0	0	0
14 - 15	16	16	0	0	0	0	0	0
15 - 16	15	4	1	2	0	0	0	0
16 - 17	21	6	0	1	1	0	0	0
17 - 18	18	19	0	1	1	0	0	0
18 - 19	10	6	0	1	1	0	0	0
19 - 20	7	3	0	1	0	0	0	0
20 - 21	2	2	0	0	0	0	0	0
21 - 22	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 3 Valores horarios conteo jueves 20 de octubre de 2011

JUEVES 20 DE OCTUBRE								
Hora	Motos	Autos	Buses	C2-P	C2-G	C3-C4	C5	>C5
6 - 7	7	4	0	2	0	0	0	0
7 - 8	13	15	0	2	0	0	0	0
8 - 9	14	8	1	0	0	0	0	0
9-10	8	4	0	0	0	0	0	0
10 - 11	12	6	0	0	0	0	0	0
11 - 12	17	10	0	2	0	0	0	0
12 - 13	8	8	0	0	0	0	0	0
13 - 14	12	10	0	0	0	0	0	0
14 - 15	15	12	0	0	0	0	0	0
15 - 16	15	6	0	0	0	0	0	0
16 - 17	13	7	0	1	0	0	0	0
17 - 18	20	13	0	0	1	0	0	0

Tabla 4 Valores horarios conteo viernes 21 de octubre de 2011

VIERNES 21 DE OCTUBRE								
Hora	Motos	Autos	Buses	C2-P	C2-G	C3-C4	C5	>C5
6 - 7	12	3	0	3	0	0	0	0
7 - 8	23	22	1	6	1	0	0	0

8 - 9	15	16	1	4	0	0	0	0
9-10	8	6	0	0	0	0	0	0
10 - 11	14	11	0	2	0	0	0	0
11 - 12	24	29	0	2	1	0	0	0
12 - 13	15	11	0	0	0	0	0	0
13 - 14	20	15	0	0	0	0	0	0
14 - 15	23	17	0	1	0	0	0	0
15 - 16	16	6	0	0	0	0	0	0
16 - 17	20	8	0	2	0	0	0	0
17 - 18	26	21	0	3	0	0	0	0

Tabla 5 Valores horarios conteo sábado 22 de octubre de 2011

SÁBADO 22 DE OCTUBRE								
Hora	Motos	Autos	Buses	C2-P	C2-G	C3-C4	C5	>C5
6 - 7	11	3	0	2	0	0	0	0
7 - 8	22	16	1	8	1	0	0	0
8 - 9	13	14	0	4	0	0	0	0
9-10	6	6	0	0	0	0	0	0
10 - 11	12	10	0	2	0	0	0	0
11 - 12	25	18	0	4	1	0	0	0
12 - 13	15	10	0	0	0	0	0	0
13 - 14	18	12	0	0	0	0	0	0
14 - 15	22	14	0	0	0	0	0	0
15 - 16	14	6	0	1	0	0	0	0
16 - 17	16	7	0	2	0	0	0	0
17 - 18	24	16	0	3	0	0	0	0

Tabla 6 Valores horarios conteo domingo 23 de octubre de 2011

DOMINGO 23 DE OCTUBRE								
Hora	Motos	Autos	Buses	C2-P	C2-G	C3-C4	C5	>C5
4 - 5	0	0	0	2	1	0	0	0
5 - 6	1	0	0	0	1	0	0	0
6 - 7	15	13	0	3	2	0	0	0
7 - 8	19	29	4	2	3	0	0	0
8 - 9	31	52	12	0	0	0	0	0
9 - 10	20	41	4	0	2	0	0	0
10 - 11	19	25	0	2	2	0	0	0
11 - 12	22	23	2	0	0	0	0	0
12 - 13	35	50	4	0	0	0	0	0
13 - 14	13	27	0	0	0	0	0	0
14 - 15	18	18	0	0	1	0	0	0
15 - 16	17	23	4	0	0	0	0	0
16 - 17	31	47	0	0	0	0	0	0
17 - 18	26	29	0	1	3	0	0	0
18 - 19	18	9	2	1	0	0	0	0
19 - 20	11	4	0	0	0	0	0	0
20 - 21	0	0	0	0	0	0	0	0
21 - 22	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 7 Valores horarios conteo lunes 24 de octubre de 2011

LUNES 24 DE OCTUBRE								
Hora	Motos	Autos	Buses	C2- P	C2- G	C3- C4	C5	>C5
6 - 7	11	3	1	2	0	0	0	0
7 - 8	21	24	1	4	2	0	0	0
8 - 9	13	16	1	2	0	0	0	0
9-10	7	6	0	0	0	0	0	0
10 - 11	12	14	0	2	0	0	0	0
11 - 12	23	26	0	3	1	0	0	0
12 - 13	16	13	0	0	0	0	0	0
13 - 14	17	15	0	0	0	0	0	0
14 - 15	18	22	0	0	0	0	0	0
15 - 16	15	11	0	2	0	0	0	0
16 - 17	16	7	0	2	1	0	0	0
17 - 18	21	25	0	2	0	0	0	0

ANEXO C PRUEBAS DE LABORATORIO

1. Determinación de capacidad portante de subrasante con cono dinámico

Tabla 1 Resultados del ensayo de cono dinámico en la vía ICP (“o” de penetración corresponde al nivel del fondo del apique) K0+000 a K0+400

#golpes	<i>Apique 1</i>			<i>Apique 2</i>			<i>Apique 3</i>		
	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	15	3	85.3	40	8	28.4	40	8	28.4
10	15	3	85.3	30	6	39.3	20	4	61.8
15	10	2	100.0	25	5	48.1	32	6.4	36.5
20	30	6	39.3	40	8	28.4	28	5.6	42.4
25	44	8.8	25.6	30	6	39.3	20	4	61.8
30	86	17.2	12.1	21	4.2	58.5	21	4.2	58.5
35	103	20.6	9.9	19	3.8	65.5	26	5.2	46.1
40	92	18.4	11.2	21	4.2	58.5	31	6.2	37.8
45	90	18	11.5	41	8.2	27.7	42	8.4	26.9
50	58	11.6	18.8	70	14	15.2	90	18	11.5
55	62	12.4	17.4	99	19.8	10.3	89	17.8	11.6
60	41	8.2	27.7	74	14.8	14.3	127	25.4	7.8
65	39	7.8	29.3	75	15	14.1	139	27.8	7.0
70	42	8.4	26.9	91	18.2	11.3	106	21.2	9.5
75	48	9.6	23.2	86	17.2	12.1			
80	35	7	33.0	38	19	10.8			

Fuente: Autor

Tabla2. Resultados del ensayo de cono dinámico en la vía ICP (“o” de penetración corresponde al nivel del fondo del apique) K0+600 a K1+000

#golpes	Apique 4			Apique 5			Apique 6		
	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	22	4.4	55.6	35	7	33.0	22	4.4	55.6
10	15	3	85.3	20	4	61.8	16	3.2	79.4
15	15	3	85.3	15	3	85.3	24	4.8	50.4
20	20	4	61.8	10	2	100.0	15	3	85.3
25	20	4	61.8	20	4	61.8	13	2.6	100.0
30	15	3	85.3	15	3	85.3	10	2	100.0
35	15	3	85.3	15	3	85.3	9	1.8	100.0
40	27	5.4	44.2	10	2	100.0	13	2.6	100.0
45	18	3.6	69.6	10	2	100.0	23	4.6	52.9
50	26	5.2	46.1	5	1	100.0	17	3.4	74.2
55	36	7.2	32.0	9	1.8	100.0	41	8.2	27.7
60	25	5	48.1	11	2.2	100.0	50	10	22.2
65	38	7.6	30.1	10	2	100.0	30	6	39.3
70	30	6	39.3	15	3	85.3	52	10.4	21.2
75	60	12	18.1	25	5	48.1	70	14	15.2
80	67	13.4	16.0	30	6	39.3	119	23.8	8.4
85	59	11.8	18.4	35	7	33.0	91	18.2	11.3
90	35	7	33.0	40	8	28.4	178	35.6	5.3
95	29	5.8	40.8	55	11	19.9			
100	27	5.4	44.2	50	10	22.2			
105	19	3.8	65.5	32	6.4	36.5			
110	20	4	61.8	5	1	100.0			
115	17	3.4	74.2	36	7.2	32.0			
120	17	3.4	74.2	1	0.2	100.0			
125	14	2.8	100.0	28	5.6	42.4			
130	17	3.4	74.2	41	8.2	27.7			

Fuente: Autor

Tabla3. Resultados del ensayo de cono dinámico en la vía ICP (“o” de penetración corresponde al nivel del fondo del apique) K1+200 a K1+600

#golpes	Apique 7			Apique 8			Apique 9		
	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	80	16	13.1	36	7.2	32.0	3	0.6	100.0
10	60	12	18.1	39	7.8	29.3	6	1.2	100.0
15	28	5.6	42.4	36	7.2	32.0	10	2	100.0
20	19	3.8	65.5	24	4.8	50.4	1	0.2	100.0
25	21	4.2	58.5	16	3.2	79.4	10	2	100.0
30	22	4.4	55.6	38	7.6	30.1	17	3.4	74.2
35	12	2.4	100.0	40	8	28.4	8	1.6	100.0
40	15	3	85.3	12	2.4	100.0	7	1.4	100.0
45	19	3.8	65.5	17	3.4	74.2	10	2	100.0
50	20	4	61.8	22	4.4	55.6	14	2.8	100.0
55	28	5.6	42.4	17	3.4	74.2	10	2	100.0
60	31	6.2	37.8	18	3.6	69.6	11	2.2	100.0
65	28	5.6	42.4	15	3	85.3	10	2	100.0
70	47	9.4	23.7	21	4.2	58.5	18	3.6	69.6
75	50	10	22.2	29	5.8	40.8	16	3.2	79.4
80	70	14	15.2	30	6	39.3	19	3.8	65.5
85	78	15.6	13.5	27	5.4	44.2	20	4	61.8
90	100	20	10.2	33	6.6	35.3	30	6	39.3
95	46	9.2	24.3	35	7	33.0	27	5.4	44.2
100	29	5.8	40.8	29	11.6	18.8	18	7.2	32.0
105				32	19.2	10.7	22	13.2	16.2
110				25	20	10.2	21	16.8	12.4
115				16	16	13.1	37	37	5.1

120	20	24	8.3	25	30	6.5
125	28	39.2	4.8	21	29.4	6.6
130	32	51.2	3.6	20	32	6.0

Fuente: Autor

Tabla4. Resultados del ensayo de cono dinámico en la vía ICP (“o” de penetración corresponde al nivel del fondo del apique) K1+800 a K2+200

#golpes	<i>Apique 10</i>			<i>Apique 11</i>			<i>Apique 12</i>		
	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	65	13	16.5	32	6.4	36.5	0	0	100.0
10	39	7.8	29.3	19	3.8	65.5	5	1	100.0
15	34	6.8	34.1	29	5.8	40.8	12	2.4	100.0
20	33	6.6	35.3	16	3.2	79.4	14	2.8	100.0
25	37	7.4	31.0	18	3.6	69.6	12	2.4	100.0
30	34	6.8	34.1	23	4.6	52.9	5	1	100.0
35	62	12.4	17.4	61	12.2	17.7	17	3.4	74.2
40	108	21.6	9.3	46	9.2	24.3	22	4.4	55.6
45	99	19.8	10.3	51	10.2	21.7	21	4.2	58.5
50	103	20.6	9.9	90	18	11.5	18	3.6	69.6
55	89	17.8	11.6	80	16	13.1	17	3.4	74.2
60	40	8	28.4	95	19	10.8	20	4	61.8
65	51	10.2	21.7	51	10.2	21.7	30	6	39.3
70	5	0.83333333	100.0	71	14.2	15.0	30	6	39.3
75				63	12.6	17.1	29	5.8	40.8
80				105	21	9.6	21	4.2	58.5
85							26	5.2	46.1
90							22	4.4	55.6

95	4	0.8	100.0
100	25	5	48.1
105	25	5	48.1
110	27	5.4	44.2
115	18	3.6	69.6
120	18	3.6	69.6
125	38	7.6	30.1
130	45	9	24.9

Fuente: Autor

Tabla5. Resultados del ensayo de cono dinámico en la vía ICP (“o” de penetración corresponde al nivel del fondo del apique) K2+400 a K2+800

#golpes	<i>Apique 13</i>			<i>Apique 14</i>			<i>Apique 15</i>		
	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	49	9.8	22.7	28	5.6	42.4	10	2	100.0
10	40	8	28.4	32	6.4	36.5	12	2.4	100.0
15	36	7.2	32.0	20	4	61.8	7	1.4	100.0
20	26	5.2	46.1	38	7.6	30.1	7	1.4	100.0
25	14	2.8	100.0	32	6.4	36.5	24	4.8	50.4
30	17	3.4	74.2	21	4.2	58.5	24	4.8	50.4
35	8	1.6	100.0	26	5.2	46.1	26	5.2	46.1
40	6	1.2	100.0	21	4.2	58.5	27	5.4	44.2
45	9	1.8	100.0	22	4.4	55.6	23	4.6	52.9
50	14	2.8	100.0	26	5.2	46.1	27	5.4	44.2
55	19	3.8	65.5	19	3.8	65.5	34	6.8	34.1
60	25	5	48.1	25	5	48.1	39	7.8	29.3
65	17	3.4	74.2	25	5	48.1	42	8.4	26.9
70	24	4.8	50.4	24	4.8	50.4	39	7.8	29.3
75	20	4	61.8	31	6.2	37.8	42	8.4	26.9
80	28	5.6	42.4	26	5.2	46.1	63	12.6	17.1
85	34	6.8	34.1	24	4.8	50.4	49	9.8	22.7

90	28	5.6	42.4	32	6.4	36.5	23	4.6	52.9
95	51	10.2	21.7	32	6.4	36.5	17	3.4	74.2
100	44	8.8	25.6	27	5.4	44.2	20	4	61.8
105	61	12.2	17.7	15	3	85.3	24	4.8	50.4
110	28	5.6	42.4	14	2.8	100. 0	21	4.2	58.5
115	12	2.4	100. 0	6	1.2	100. 0	16	3.2	79.4
120	10	2	100. 0				11	2.2	100. 0
125	21	4.2	58.5				29	5.8	40.8

Fuente: Autor

Tabla6. Resultados del ensayo de cono dinámico en la vía ICP (“o” de penetración corresponde al nivel del fondo del apique) K3+000 a K3+600

#golpes	Apique 16			Apique 17			Apique 18			Apique 19		
	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]	Penetración entre lect. (mm)	Índice PDC [mm/golpe]	CBR [%]
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	55	11	19.9	45	-9	100.0	21	4.2	58.5	45	9	24.9
10	23	4.6	52.9	30	6	39.3	23	4.6	52.9	53	10.6	20.8
15	21	4.2	58.5	62	12.4	17.4	24	4.8	50.4	92	18.4	11.2
20	26	5.2	46.1	12	2.4	100.0	33	6.6	35.3	90	18	11.5
25	17	3.4	74.2	9	1.8	100.0	31	6.2	37.8	40	8	28.4
30	31	6.2	37.8	14	2.8	100.0	35	7	33.0	52	10.4	21.2
35	31	6.2	37.8	19	3.8	65.5	39	7.8	29.3	77	15.4	13.7
40	36	7.2	32.0	13	2.6	100.0	47	9.4	23.7	61	12.2	17.7
45	50	10	22.2	13	2.6	100.0	51	10.2	21.7	63	12.6	17.1
50	50	10	22.2	8	1.6	100.0	49	9.8	22.7	37	7.4	31.0
55	29	5.8	40.8	9	1.8	100.0	71	14.2	15.0	51	10.2	21.7
60	29	5.8	40.8	15	3	85.3	78	15.6	13.5	69	13.8	15.4
65	32	6.4	36.5	9	1.8	100.0	74	14.8	14.3	79	15.8	13.3
70	33	6.6	35.3	14	2.8	100.0	77	15.4	13.7			
75	27	5.4	44.2	15	3	85.3	70	14	15.2			
80	33	6.6	35.3	9	1.8	100.0	69	13.8	15.4			
85	27	5.4	44.2	13	2.6	100.0		14	15.2			
90	33	6.6	35.3	14	2.8	100.0						
95	34	6.8	34.1	13	2.6	100.0						
100	33	6.6	35.3	18	7.2	32.0						

10 5	50	10	22.2	21	12.6	17.1
11 0	55	11	19.9	19	15.2	13.9
11 5	55	13.75	15.5	24	24	8.3
12 0				22	26.4	7.5
12 5				29	40.6	4.6

Fuente: Autor

2. Análisis Granulométrico de suelos

Apique 1 (k0+600)

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1124
PESO DESPUÉS DE LAVADO gr:	901.54
PORCENTAJE DE ERROR %:	0.06

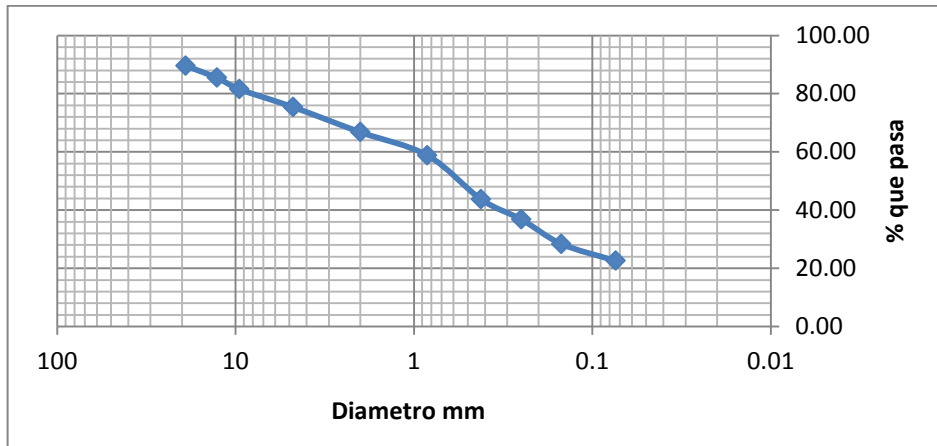
Fuente: Autor

Tabla 2-1. Resultados de Granulometría, Apique 1

MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %	MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	127.24	11.32	65.47
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	108.02	9.61	55.86
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	113.41	10.09	45.77
3/4"	19.05	135.44	12.05	87.95	60	0.25	91.16	8.11	37.66
1/2"	12.7	36.53	3.25	84.70	100	0.149	86.21	7.67	29.99
3/8"	9.52	31.25	2.78	81.92	200	0.074	78.23	6.96	23.03
No 4	4.75	57.66	5.13	76.79	PASA 200	*****	258.13		
SUMA	*****	260.88	23.21		SUMA	*****	862.39	53.76	
					TOTAL		1123.27		

Fuente: Autor

Figura 1. Resultado curva Granulométrica apique 1



Fuente: Autor

GRAVAS=	23.21	%
ARENAS =	53.76	%
FINOS=	23.03	%

Fuente: Autor

Apique 2 (k1+200)

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1156.6
PESO DESPUÉS DE LAVADO gr:	896.3
PORCENTAJE DE ERROR %:	0.04

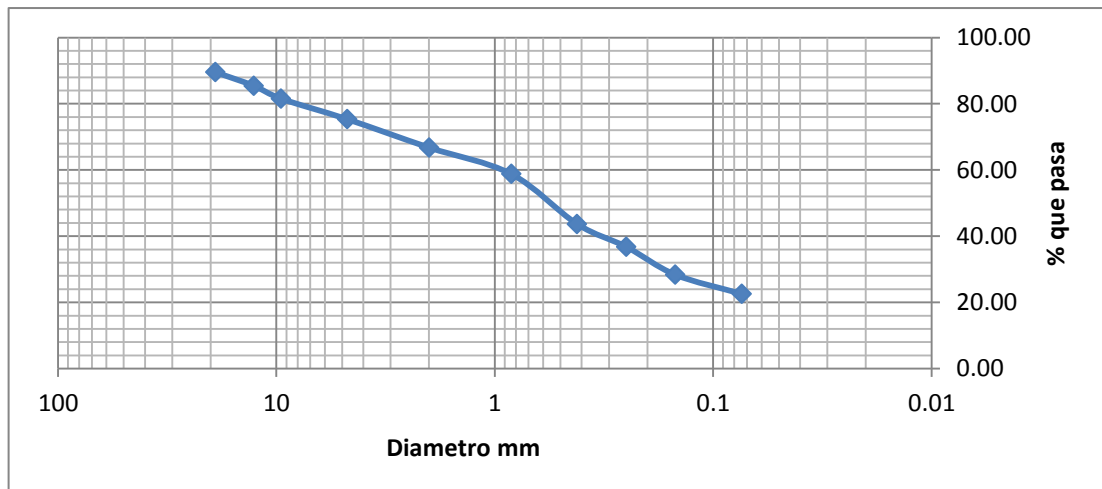
Fuente: Autor

Tabla 2-2. Resultados de Granulometría, Apique 2

MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO O RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %	MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO O RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	99.30	8.59	66.77
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	92.42	7.99	58.78
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	174.64	15.10	43.68
3/4"	19.05	120.90	10.45	89.55	60	0.25	79.58	6.88	36.80
1/2"	12.7	47.50	4.11	85.44	100	0.149	97.56	8.43	28.37
3/8"	9.52	45.16	3.90	81.54	200	0.074	67.30	5.82	22.55
No 4	4.75	71.46	6.18	75.36	PASA 200	*****	260.34		
SUMA	*****	285.02	24.64		SUMA	*****	871.14	52.81	
					TOTAL		1156.16		

Fuente: Autor

Figura 2. Resultado curva Granulométrica apique 2



GRAVAS=	24.64	%
ARENAS =	52.81	%
FINOS=	22.55	%

Fuente: Autor

Apique 3 (k1+800)

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1169.4
PESO DESPUÉS DE LAVADO gr:	966
PORCENTAJE DE ERROR %:	0.15

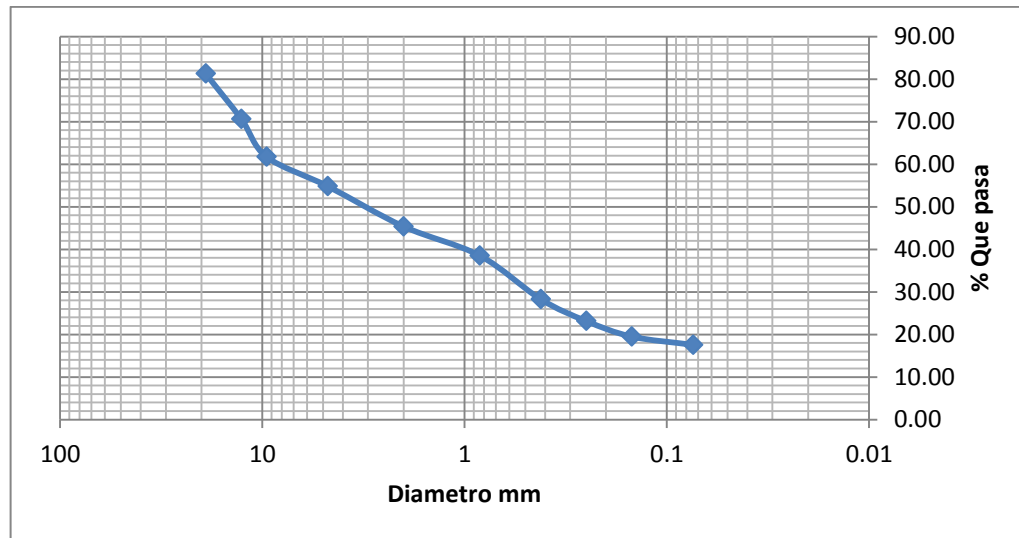
Fuente: Autor

Tabla 2-3. Resultados de Granulometría, Apique 3

MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %	MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	110.60	9.46	45.36
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	80.09	6.85	38.51
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	119.72	10.24	28.27
3/4"	19.05	219.20	18.74	81.26	60	0.25	59.93	5.12	23.15
1/2"	12.7	124.40	10.64	70.62	100	0.149	42.80	3.66	19.49
3/8"	9.52	103.92	8.89	61.73	200	0.074	22.66	1.94	17.55
No 4	4.75	80.88	6.92	54.81	PASA 200	*****	203.40		
SUMA	*****	528.40	45.19		SUMA	*****	639.20	37.27	
					TOTAL		1167.60		

Fuente: Autor

Figura 3. Resultado curva Granulométrica apique 3



Fuente: Autor

GRAVAS=	45.19	%
ARENAS =	37.27	%
FINOS=	17.55	%

Fuente: Autor

Apique 4(k2+200)

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1141.8
PESO DESPUES DE LAVADO gr:	955.16
PORCENTAJE DE ERROR %:	0.12

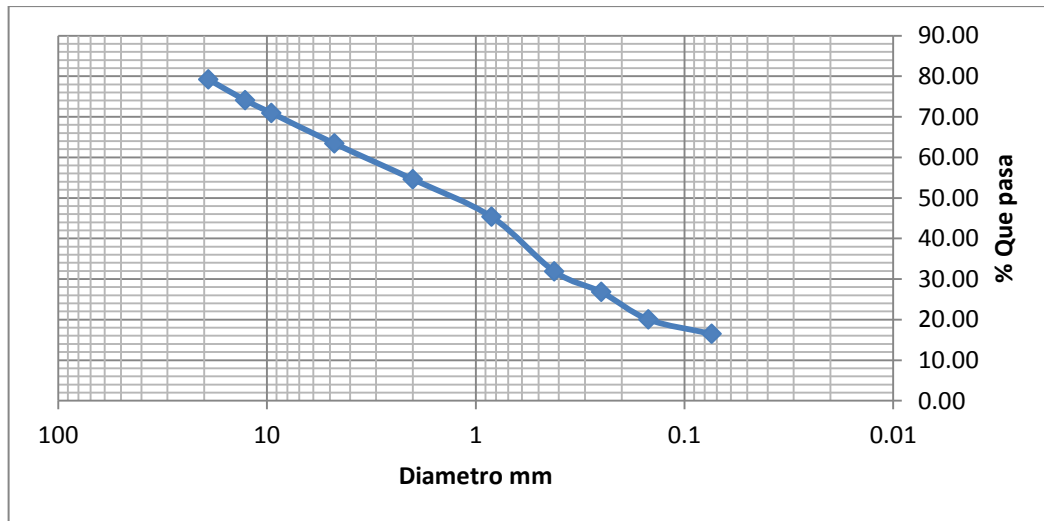
Fuente: Autor

Tabla 2-4. Resultados de Granulometría. Apique 4

MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %	MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	100.72	8.82	54.58
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	105.74	9.26	45.32
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	153.52	13.45	31.87
3/4"	19.05	237.42	20.79	79.21	60	0.25	58.26	5.10	26.77
1/2"	12.7	58.58	5.13	74.08	100	0.149	76.80	6.73	20.04
3/8"	9.52	35.80	3.14	70.94	200	0.074	40.88	3.58	16.46
No 4	4.75	86.06	7.54	63.40	PASA 200	*****	186.60		
SUMA	*****	417.86	36.60		SUMA	*****	722.52	46.94	
					TOTAL		1140.38		

Fuente: Autor

Figura 4. Resultado curva Granulométrica apique 4



Fuente: Autor

GRAVAS=	36.60	%
ARENAS =	46.94	%
FINOS=	16.46	%

Fuente: Autor

Apique 5 (k2+800)

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1184
PESO DESPUES DE LAVADO gr:	1044.6
PORCENTAJE DE ERROR %:	0.19

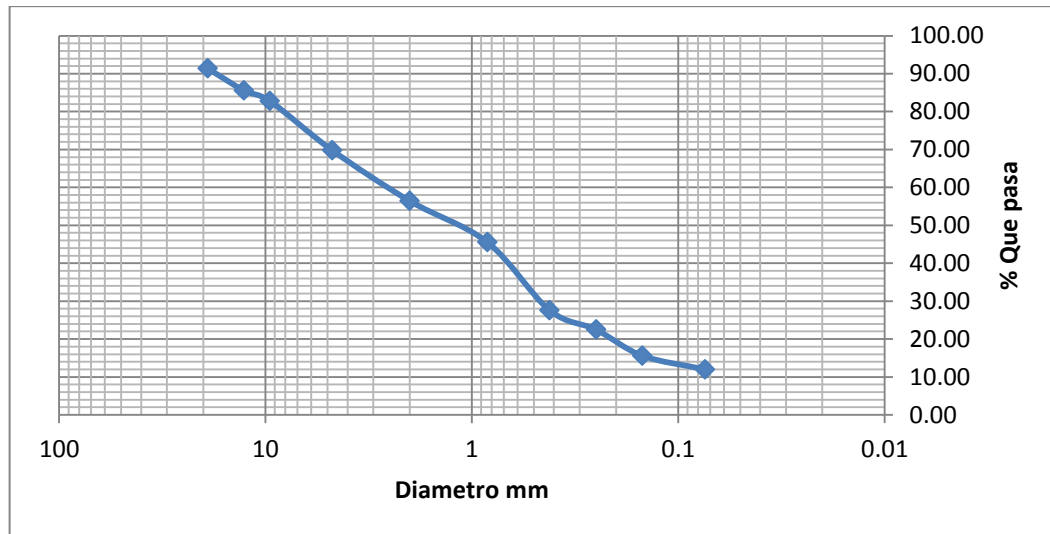
Fuente: Autor

Tabla 2-5. Resultados de Granulometría, Apique 5

MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %	MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	158.30	13.37	56.44
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	129.12	10.91	45.53
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	212.22	17.92	27.61
3/4"	19.05	102.04	8.62	91.38	60	0.25	60.70	5.13	22.48
1/2"	12.7	68.98	5.83	85.56	100	0.149	81.48	6.88	15.60
3/8"	9.52	32.50	2.74	82.81	200	0.074	43.00	3.63	11.97
No 4	4.75	153.98	13.01	69.81	PASA 200	*****	139.40	11.77	
SUMA	*****	357.50	30.19		SUMA	*****	824.22	69.61	
					TOTAL		1181.72		

Fuente: Autor

Figura 5. Resultado curva Granulométrica apique 5



Fuente: Autor

GRAVAS=	30.19	%
ARENAS =	57.84	%
FINOS=	11.97	%

Fuente: Autor

Apique 6 (k3+200)

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1117.3
PESO DESPUES DE LAVADO gr:	811.3
PORCENTAJE DE ERROR %:	0.09

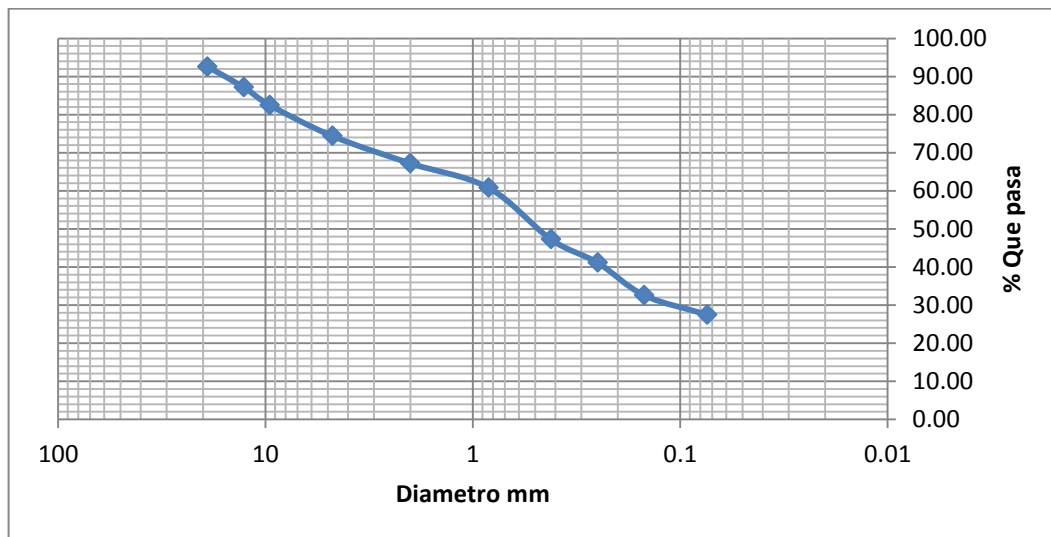
Fuente: Autor

Tabla 2-6. Resultados de Granulometría. Apique 6

MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %	MALLA No ****	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL %	% QUE PASA LA MALLA %
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	80.04	7.16	67.20
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	71.44	6.39	60.80
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	151.46	13.56	47.25
3/4"	19.05	83.12	7.44	92.56	60	0.25	68.56	6.14	41.11
1/2"	12.7	60.44	5.41	87.15	100	0.149	95.44	8.54	32.57
3/8"	9.52	52.40	4.69	82.46	200	0.074	56.84	5.09	27.48
No 4	4.75	90.50	8.10	74.36	PASA 200	*****	305.98		
SUMA	*****	286.46	25.64		SUMA	*****	829.76	46.88	
					TOTAL		1116.22		

Fuente: Autor

Figura 6. Resultado curva Granulométrica apique 6



Fuente: Autor

GRAVAS=	25.64	%
ARENAS =	46.88	%
FINOS=	27.48	%

Fuente: Autor

Apique 7 (k3+200)

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	1122.2
PESO DESPUES DE LAVADO gr:	837.27
PORCENTAJE DE ERROR %:	0.05

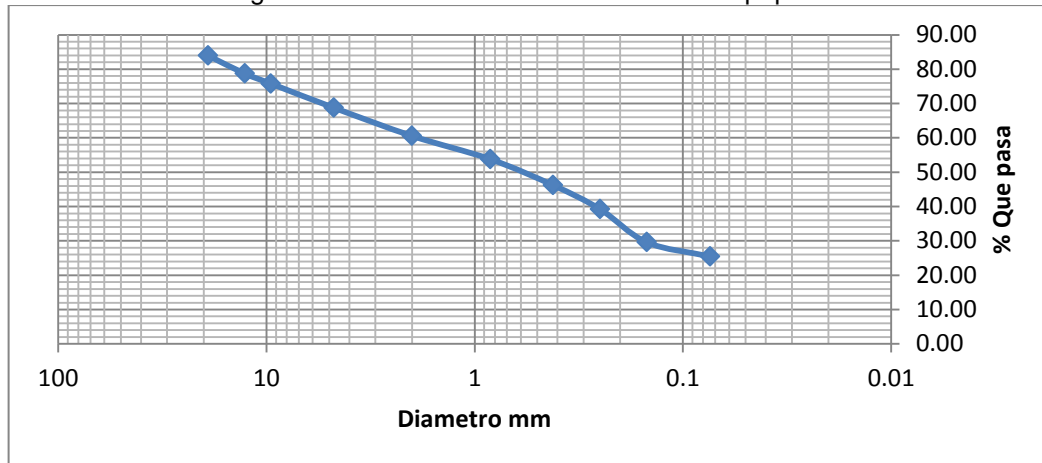
Fuente: Autor

Tabla 2-7. Resultados de Granulometría. Apique 7

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	92.06	8.20	60.56
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	76.32	6.80	53.76
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	84.88	7.56	46.20
3/4"	19.05	180.38	16.07	83.93	60	0.25	78.26	6.97	39.23
1/2"	12.7	58.60	5.22	78.71	100	0.149	108.27	9.65	29.58
3/8"	9.52	32.74	2.92	75.79	200	0.074	46.42	4.14	25.44
No 4	4.75	78.78	7.02	68.77	PASA 200	****	284.97		
SUMA	****	350.50	31.23		SUMA	****	771.18	43.32	
					TOTAL		1121.68		

Fuente: Autor

Figura 7. Resultado curva Granulométrica apique 7



GRAVAS=	31.23	%
ARENAS =	43.32	%
FINOS=	25.44	%

Fuente: Autor

3 Determinación del límite líquido de los suelos
Apique 1 (k0+600)

Tabla 3-1. Resultados Límite líquido, Apique 1

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
4	42	6.87	21.55	18.67	2.88	11.8	24.41%
6	24	6.99	18.81	16.32	2.49	9.33	26.69%
10	16	7.55	20.6	17.63	2.97	10.08	29.46%

Fuente: Autor

Figura 8. Resultado grafica contenido de agua vs No golpes apique 1



Fuente: Autor

LIMITE LIQUIDO : 27%
LIM. PLASTICO : 0%
IND. DE PLASTI. : 0%

Fuente: Elaboración Propia

Apique 2 (k1+200)

Tabla 3-2. Resultados Límite líquido, Apique 2

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
9	27	6.81	20.74	17.82	2.92	11.01	26.52%
36	20	7.35	24.77	21.03	3.74	13.68	27.34%
5-3	12	6.69	18.56	15.91	2.65	9.22	28.74%

Fuente: Autor

Figura 9. Resultado grafica contenido de agua vs No golpes apique 2



Fuente: Autor

LIMITE LIQUIDO :	27%
LIM. PLASTICO :	0%
IND. DE PLASTI. :	0%

Fuente: Autor

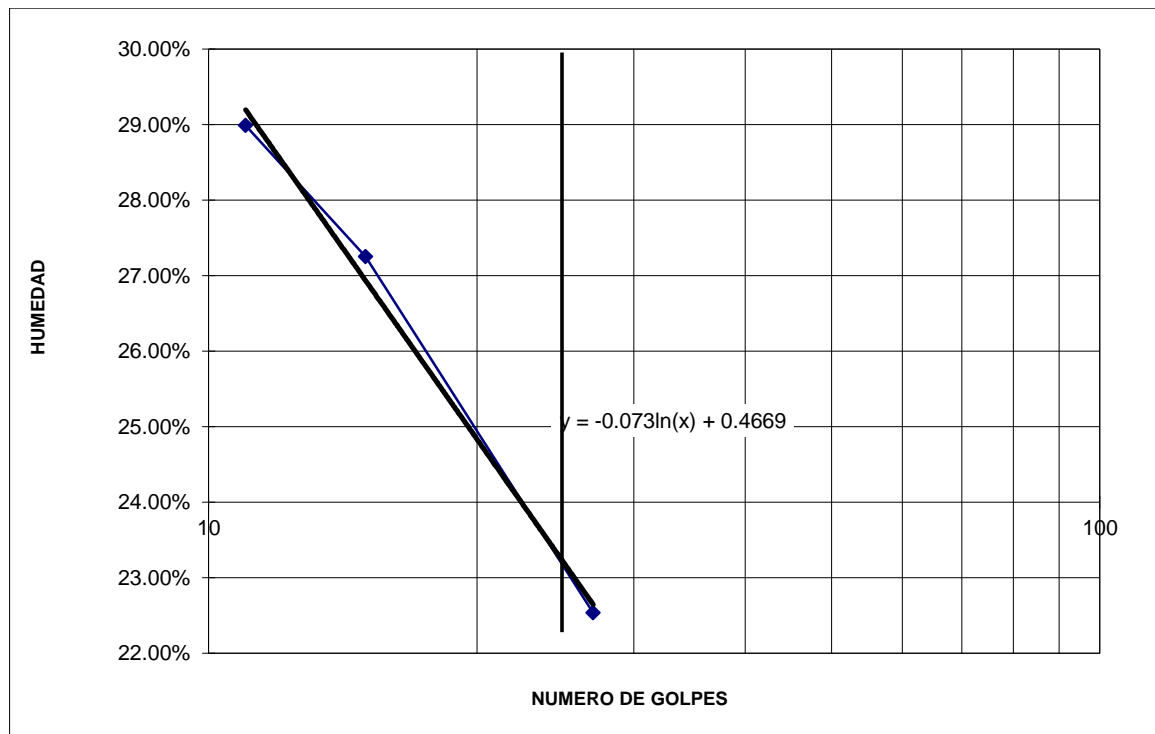
Apique 3 (k1+800)

Tabla 3-3. Resultados Límite líquido, Apique 3

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
13	27	7.1	23.52	20.5	3.02	13.4	22.54%
2-3	15	7.70	19.14	16.69	2.45	8.99	27.25%
37	11	8.4	19.88	17.3	2.58	8.9	28.99%

Fuente: Autor

Figura 10. Resultado grafica contenido de agua vs No golpes. Apique 3



Fuente: Elaboración Propia

LIMITE LIQUIDO :	23%
LIM. PLASTICO :	0%
IND. DE PLASTI. :	0%

Fuente: Autor

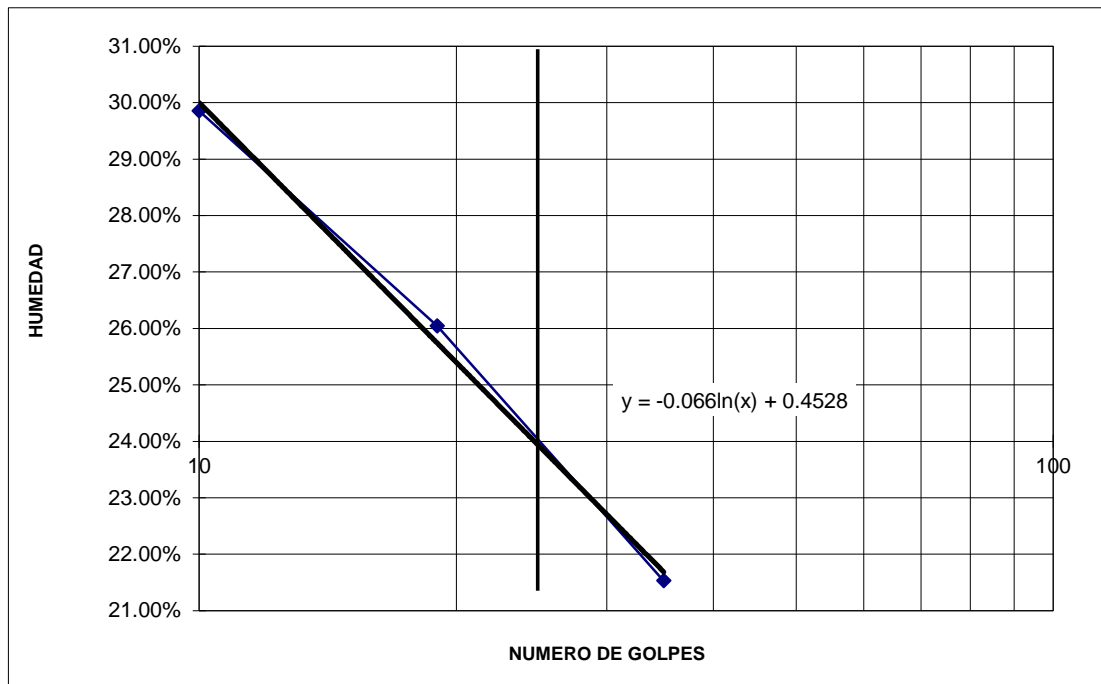
Apique 4 (k2+200)

Tabla 3-4. Resultados Límite líquido, Apique 4

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
12	35	8.24	19.53	17.53	2	9.29	21.53%
24	19	8.59	20.06	17.69	2.37	9.1	26.04%
8	10	8.85	20.16	17.56	2.6	8.71	29.85%

Fuente: Autor

Figura 11. Resultado grafica contenido de agua vs No golpes. Apique 4



Fuente: Autor

LIMITE LIQUIDO :	24%
LIM. PLASTICO :	0%
IND. DE PLASTI. :	0%

Fuente: Autor

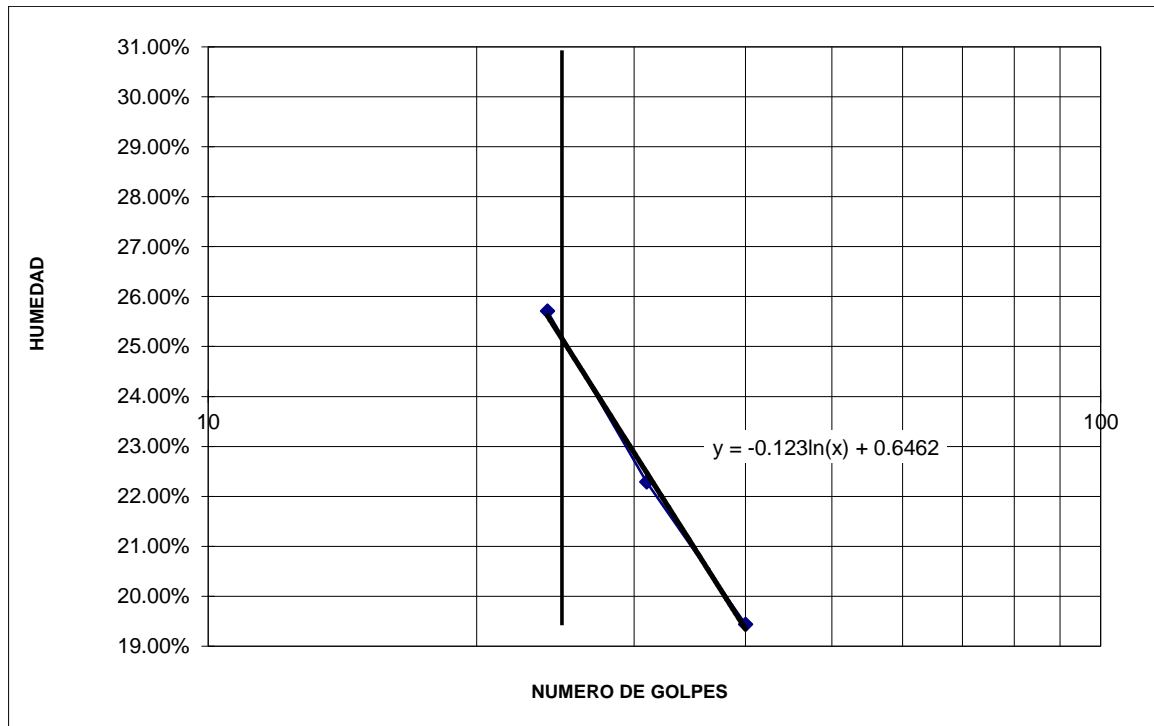
Apique 5 (k2+800)

Tabla 3-5. Resultados Límite líquido, Apique 5

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDOr	PESO CAPSULA + SUELO SECOgr	PESO DEL AGU Agr	PESO SUELO SECOgr	CONTENIDO DE AGUA%
11	40	7.64	18.27	16.54	1.73	8.9	19.44%
5-1	31	7.45	17.93	16.02	1.91	8.57	22.29%
2	24	7.63	19.17	16.81	2.36	9.18	25.71%

Fuente: Autor

Figura 12. Resultado grafica contenido de agua vs No golpes. Apique 5



Fuente: Autor

LIMITE LIQUIDO :	25%
LIM. PLASTICO :	0%
IND. DE PLASTI. :	0%

Fuente: Autor

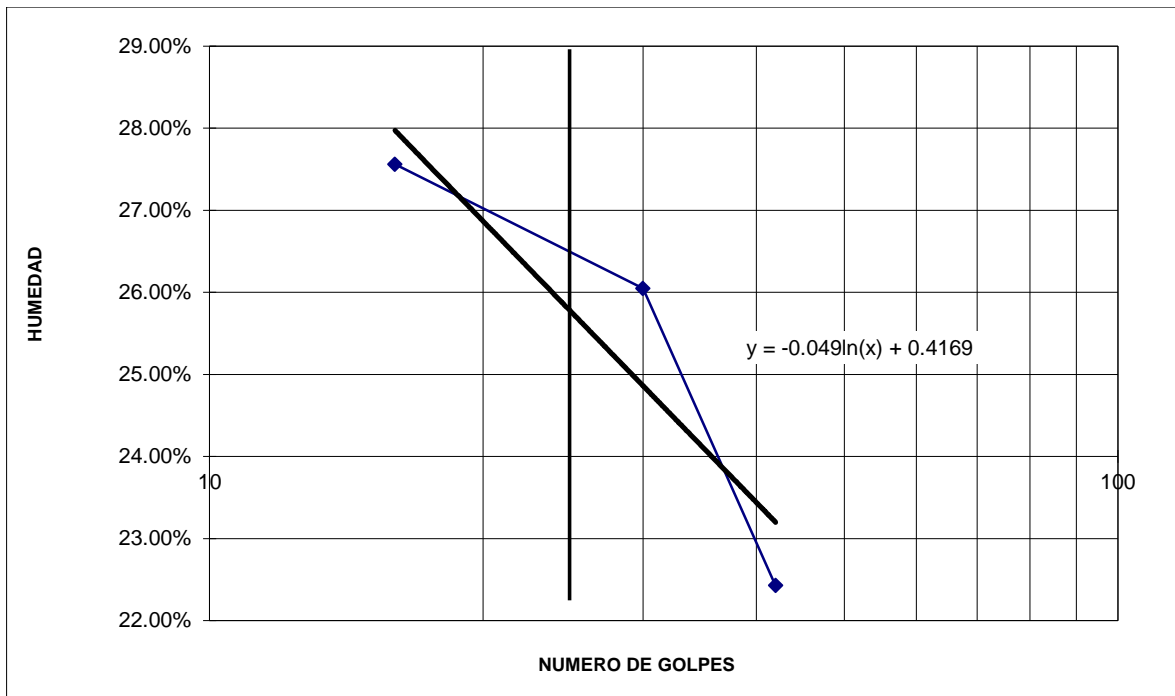
Apique 6 (k3+200)

Tabla 3-6. Resultados Límite líquido, Apique 6

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
4-1	42	8.55	23.89	21.08	2.81	12.53	22.43%
19	30	7.73	21.57	18.71	2.86	10.98	26.05%
14	16	6.9	18.24	15.79	2.45	8.89	27.56%

Fuente: Autor

Figura 13. Resultado grafica contenido de agua vs No golpes. Apique 6



Fuente: Autor

LIMITE LIQUIDO :	26%
LIM. PLASTICO :	0%
IND. DE PLASTI. :	0%

Fuente: Autor

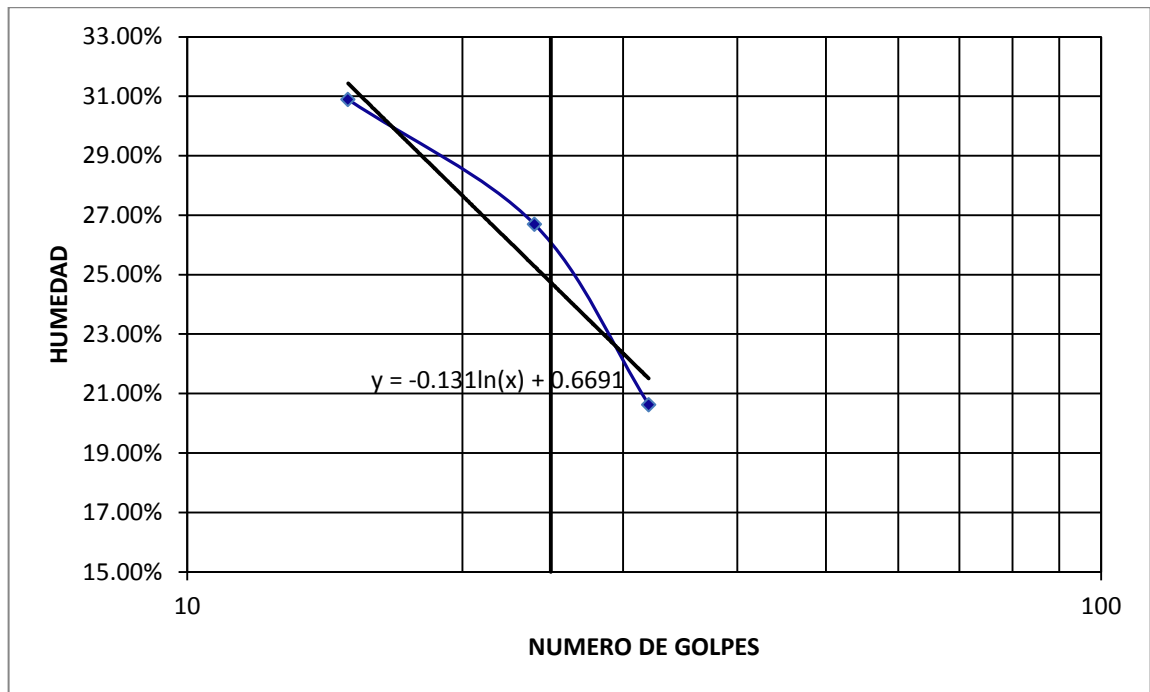
Apique 7 (k3+800)

Tabla 3-7. Resultados Límite líquido, Apique 7

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA gr	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO gr	PESO CAPSULA + SUELO SECO gr	PESO DEL AGUA gr	PESO SUELO SECO gr	CONTENIDO DE AGUA %
11	32	7.64	22.32	19.81	2.51	12.17	20.62%
24	24	8.59	20.41	17.92	2.49	9.33	26.69%
2	15	7.63	20.68	17.6	3.08	9.97	30.89%

Fuente: Autor

Figura 14. Resultado grafica contenido de agua vs No golpes. Apique 7



Fuente: Autor

LIMITE LIQUIDO :	25%
LIM. PLASTICO :	0%
IND. DE PLASTI. :	0%

Fuente: Autor

4.4 Ensayo Modificado de Compactación

Tabla 4. Especificaciones Ensayo Modificado de Compactación.

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	25
MOLDE No	21
DIAMETRO MOLDE (cm)	10.17
ALTURA MOLDE (cm)	11.50
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	934.92

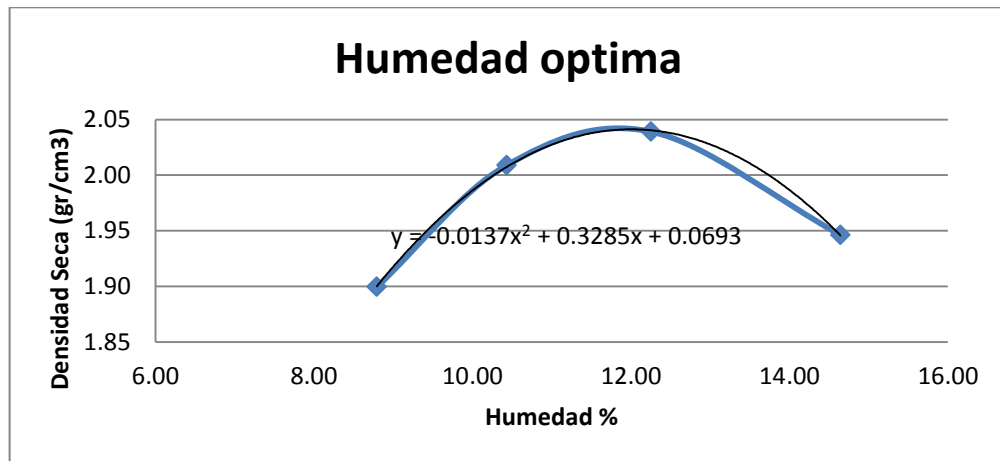
Apique 1 (k0+600)

Tabla 4-1. Resultados Ensayo Modificado de Compactación, Apique 1

PESO TARA (gr)	6.9	6.85	7.4	7.15	6.88	7.2	6.98	7.3
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	46.4	46.6	45.9	46.1	45.2	45.4	44.4	44.6
PESO AGUA (gr)	3.6	3.4	4.1	3.9	4.8	4.6	5.6	5.4
PESO SOLIDO (gr)	39.5	39.8	38.5	38.9	38.3	38.2	37.5	37.3
HUMEDAD	9.1	8.4	10.8	10.1	12.5	12.0	14.8	14.4
PROMEDIO HUMEDAD %	8.79		10.43		12.25		14.64	
PESO MOLDE (gr)	4290		4290		4290		4290	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	6222		6364		6430		6376	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	1932		2074		2140		2086	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.066		2.218		2.289		2.231	
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.90		2.01		2.04		1.95	

Fuente: Autor

Figura 15. Resultado grafica Humedad Optima. Apique 1



Fuente: Autor

DENSIDAD MAXIMA gr/cm ³	2.04
HUMEDAD OPTIMA%	12.6

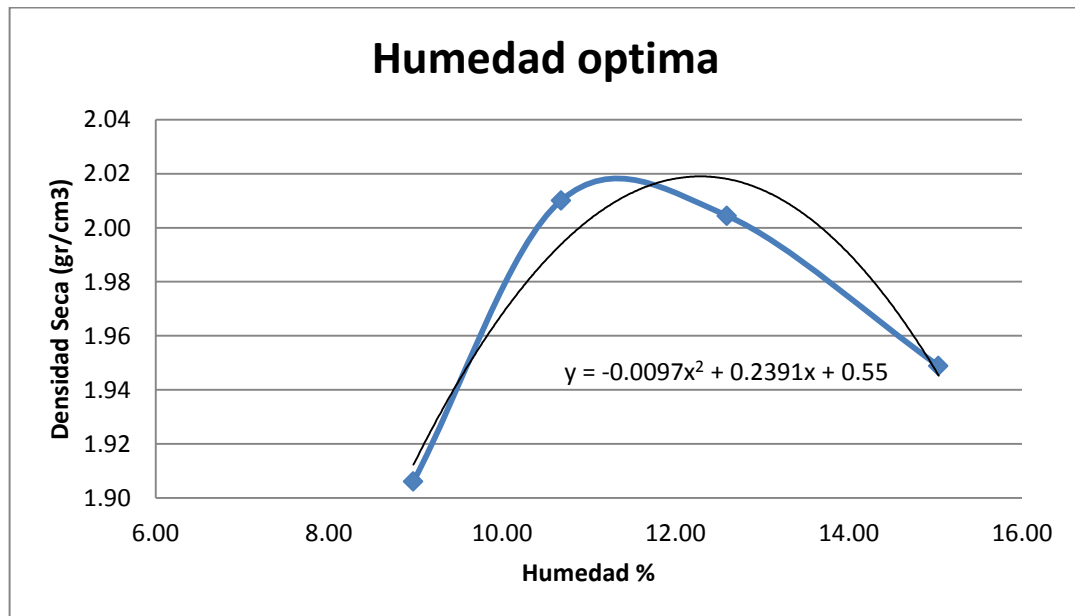
Apique 2 (k1+200)

Tabla 4-2. Resultados Ensayo Modificado de Compactación, Apique 2

PESO TARA (gr)	6.95	7.2	6.86	7.12	7.34	6.84	6.8	6.75
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	46.3	46.6	45.9	45.8	45.2	45.2	44.5	44.2
PROMEDIO HUMEDAD %	8.97	10.68	12.60	15.04				
PESO MOLDE (gr)	4290	4290	4290	4290				
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	6232	6370	6400	6386				
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	1942	2080	2110	2096				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.077	2.225	2.257	2.242				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.91	2.01	2.00	1.95				

Fuente: Autor

Figura 16. Resultado grafica Humedad Optima. Apique 2



Fuente: Autor

Tabla 4-2.1. Resultados obtenidos Ensayo Modificado de Compactación, Apique 2

DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.01
HUMEDAD OPTIMA%	12.3

Fuente: Autor

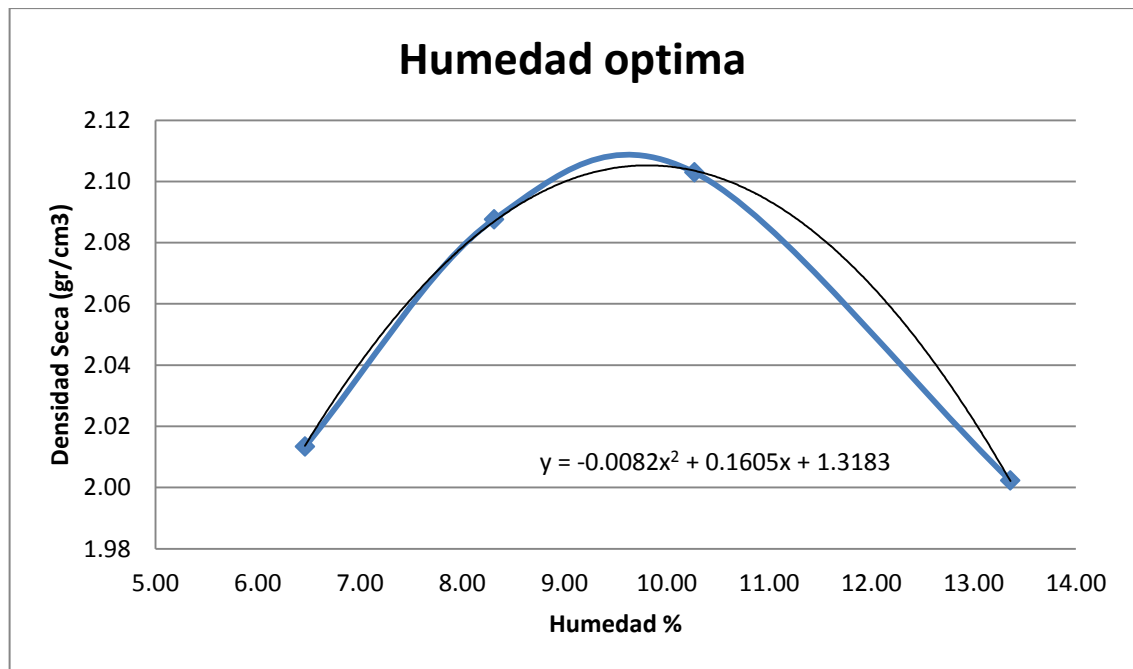
Apique 3 (k1+800)

Tabla 4-3. Resultados Ensayo Modificado de Compactación, Apique 3

PESO TARA (gr)	6.89	7.41	6.8	7.2	7.3	6.8	7.2	7.1
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	47.5	47.3	46.6	46.8	46.0	46.0	44.9	45.0
PROMEDIO HUMEDAD %	6.46	8.31	10.27	13.36				
PESO MOLDE (gr)	4290	4290	4290	4290				
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	6294	6404	6458	6412				
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	2004	2114	2168	2122				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.144	2.261	2.319	2.270				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.01	2.09	2.10	2.00				

Fuente: Autor

Figura 17. Resultado grafica Humedad Optima. Apique 3



Fuente: Autor

Tabla 4-3.1. Resultados obtenidos Ensayo Modificado de Compactación, Apique 3

DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.10
HUMEDAD OPTIMA%	9.8

Fuente: Autor

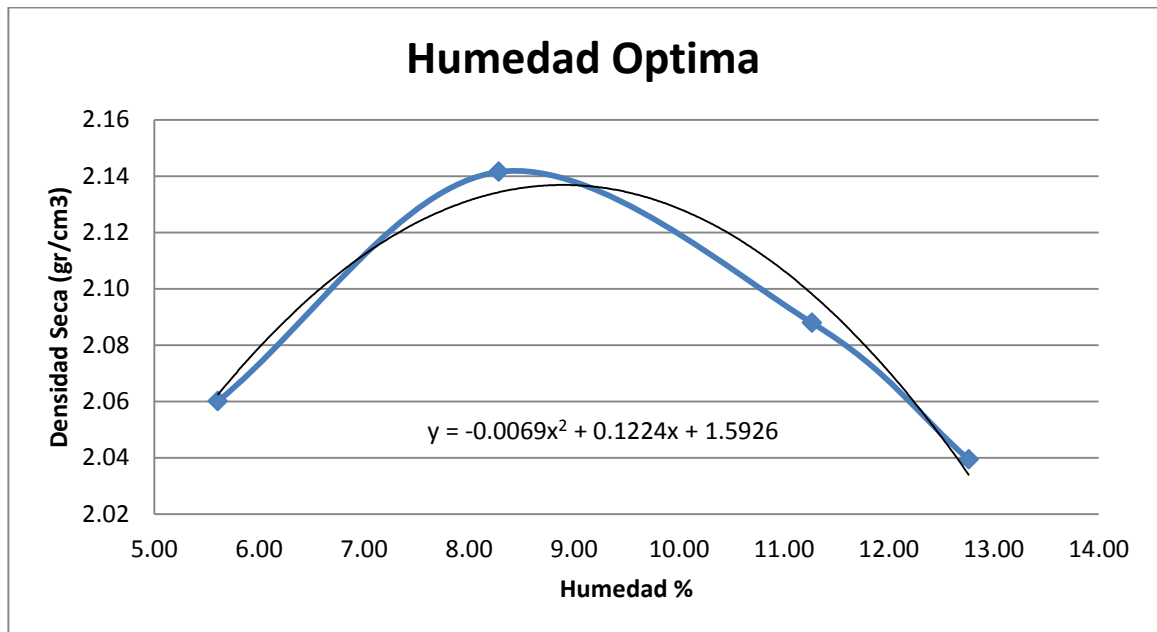
Apique 4(k2+200)

Tabla 4-4. Resultados Ensayo Modificado de Compactación, Apique 4

PESO TARA (gr)	6.8	6.9	6.8	6.9	6.8	7.3	7.41	7.11
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	47.5	47.9	46.9	46.5	45.5	45.8	45.2	45.1
PROMEDIO HUMEDAD %	5.61	8.28	11.27	12.76				
PESO MOLDE (gr)	4290	4290	4290	4290				
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	6324	6458	6462	6440				
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	2034	2168	2172	2150				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.176	2.319	2.323	2.300				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.06	2.14	2.09	2.04				

Fuente: Autor

Figura 18. Resultado grafica Humedad Optima. Apique 4



Fuente: Autor

Tabla 4-4.1. Resultados obtenidos Ensayo Modificado de Compactación, Apique 4

DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.14
HUMEDAD OPTIMA%	8.9

Fuente: Autor

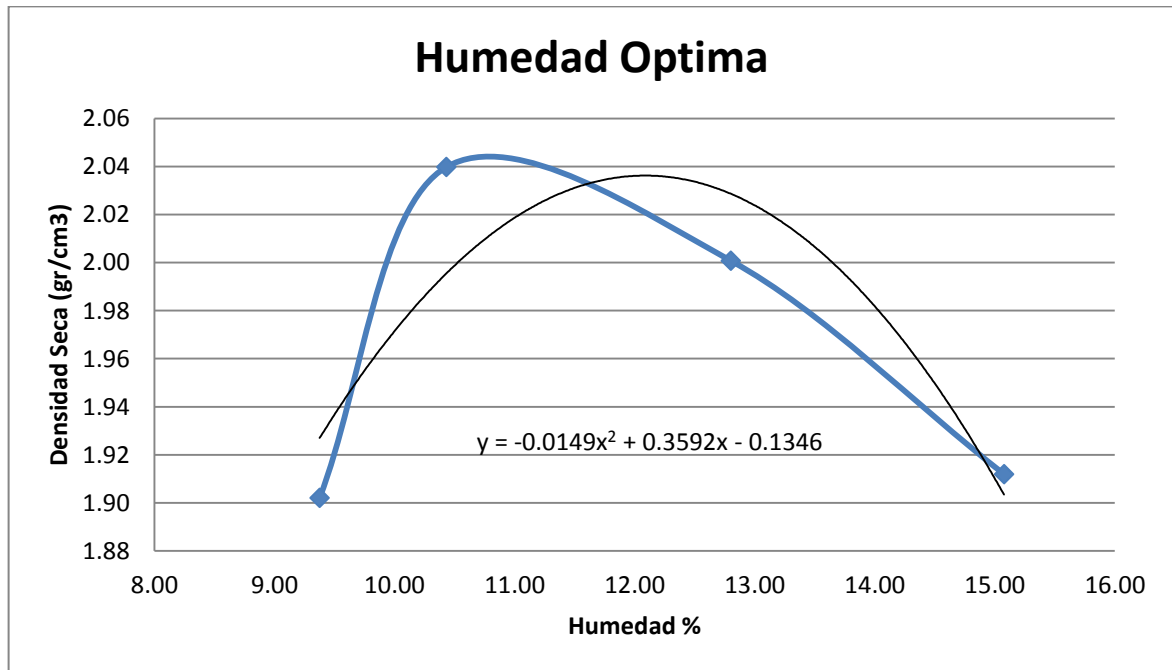
Apique 5 (k2+800)

Tabla 4-5. Resultados Ensayo Modificado de Compactación, Apique 5

PESO TARA (gr)	7.14	6.92	7.19	6.85	7.33	7.2	7.1	7.4
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	46.0	46.6	45.4	46.5	45.3	45.0	44.1	44.7
PROMEDIO HUMEDAD %	9.38	10.43	12.80	15.08				
PESO MOLDE (gr)	4290	4290	4290	4290				
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	6235	6396	6400	6347				
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	1945	2106	2110	2057				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.080	2.253	2.257	2.200				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.90	2.04	2.00	1.91				

Fuente: Autor

Figura 19. Resultado grafica Humedad Optima. Apique 5



Fuente: Autor

Tabla 4-5.1. Resultados obtenidos Ensayo Modificado de Compactación, Apique 5

DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.04
HUMEDAD OPTIMA%	12.0

Fuente: Autor

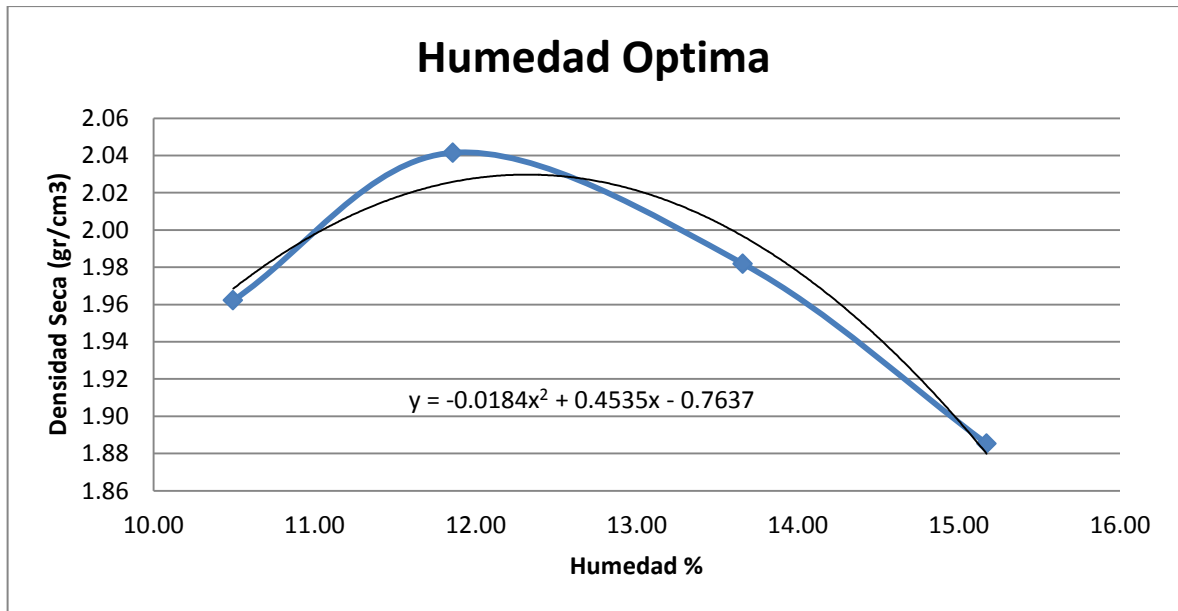
Apique 6 (k3+200)

Tabla 4-6. Resultados Ensayo Modificado de Compactación, Apique 6

PESO TARA (gr)	6.85	6.7	6.75	6.74	6.93	7.2	7.39	6.3
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	45.8	46.0	45.2	45.6	44.8	44.9	44.4	44.3
PROMEDIO HUMEDAD %	10.49		11.86		13.66		15.17	
PESO MOLDE (gr)	4290		4290		4290		4290	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	6317		6425		6396		6320	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	2027		2135		2106		2030	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.168		2.284		2.253		2.171	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.96		2.04		1.98		1.89	

Fuente: Autor

Figura 20. Resultado grafica Humedad Optima. Apique 6



Fuente: Autor

Tabla 4-6.1. Resultados obtenidos Ensayo Modificado de Compactación, Apique 6

DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.04
HUMEDAD OPTIMA%	12.3

Fuente: Autor

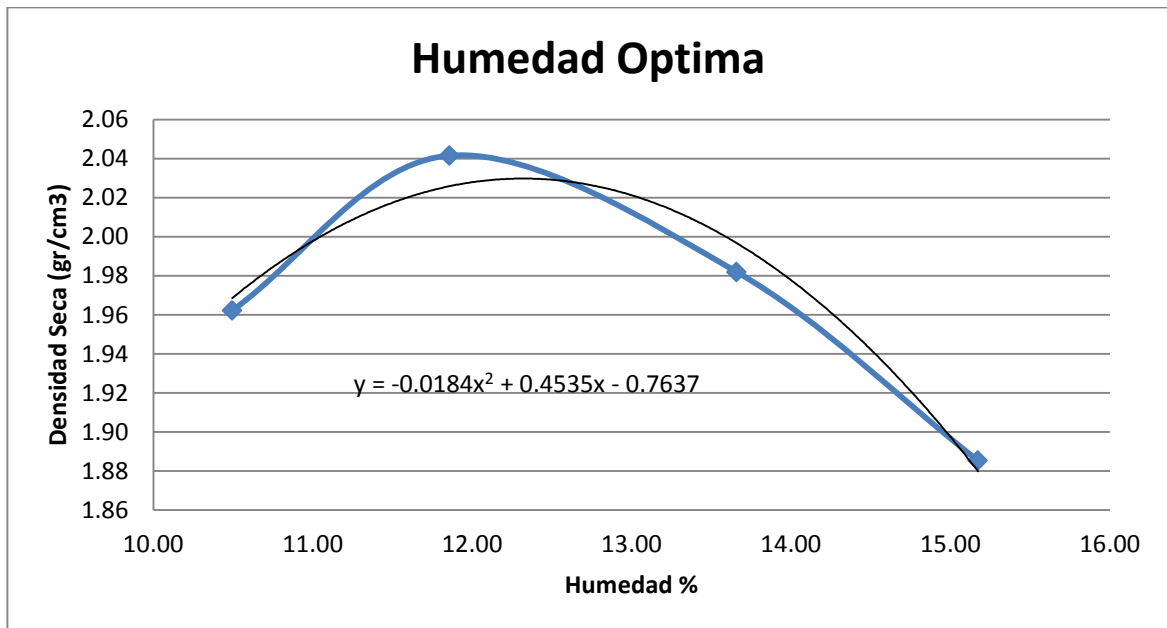
Apique 7(k3+800)

Tabla 4-7. Resultados Ensayo Modificado de Compactación, Apique 7

PESO TARA (gr)	6.85	6.7	6.75	6.74	6.93	7.2	7.39	6.3
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	45.8	46.0	45.2	45.6	44.8	44.9	44.4	44.3
PROMEDIO HUMEDAD %	10.49		11.86		13.66		15.17	
PESO MOLDE (gr)	4290		4290		4290		4290	
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	6317		6425		6396		6320	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	2027		2135		2106		2030	
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.168		2.284		2.253		2.171	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.96		2.04		1.98		1.89	

Fuente: Autor

Figura 21. Resultado grafica Humedad Optima. Apique 7



Fuente: Autor

Tabla 4-7.1. Resultados obtenidos Ensayo Modificado de Compactación, Apique 7

DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.04
HUMEDAD OPTIMA%	12.3

Fuente: Autor

5 Cálculo de humedades para compactación CBR

Tabla .5 Resultados Adición de agua para compactación (CBR).

APIQUE	#golpes	Wtar	Whumed	Wsec	HACTUAL	%HOPTIMA	HADICION	WHUM	WSWC	AGUA ADIC (gr)
1	12	8.88	50.77	56.74	6.08	12.63	6.55	5000	4713.41	308.72
	26	7.4	50.12	54.73	5.89	12.63	6.74	5000	4721.67	318.01
	55	6.88	50.49	54.47	6.09	12.63	6.54	5000	4712.81	308.04
2	12	6.88	50.12	54.1	6.14	12.3	6.16	5000	4710.69	290.11
	26	8.65	54.79	60.39	5.89	12.3	6.41	5000	4721.66	302.43
	55	7.4	54.15	58.39	6.20	12.3	6.10	5000	4708.22	287.33
3	12	8.57	50.05	57.44	2.41	9.768	7.35	5000	4882.12	359.00
	26	6.69	51.91	57.47	2.23	9.768	7.54	5000	4891.16	368.93
	55	7.44	51.64	57.84	2.46	9.768	7.31	5000	4879.94	356.61
4	12	7.71	53.04	58.55	4.33	8.865	4.54	5000	4792.61	217.47
	26	7	50.72	56.09	3.32	8.865	5.54	5000	4839.31	268.32
	55	8.6	50.64	57.8	2.93	8.865	5.94	5000	4857.82	288.47
5	12	7.75	50.4	55.05	6.55	12.02	5.47	5000	4692.46	256.49
	26	6.9	53.13	57.22	5.58	12.02	6.44	5000	4735.55	304.77
	55	6.96	54.07	58.11	5.71	12.02	6.31	5000	4729.98	298.52
6	12	7.66	54.84	60.18	4.42	12.626	8.21	5000	4788.48	393.07
	26	7.43	52.72	57.76	4.75	12.626	7.88	5000	4773.33	376.01
	55	7.74	50.03	55.66	4.40	12.626	8.22	5000	4789.13	393.80
7	12	7.56	51.67	55.84	7.02	12.32	5.30	5000	4671.96	247.54
	26	6.97	52.46	56.54	5.83	12.32	6.49	5000	4724.55	306.62
	55	7	54.96	58.81	6.08	12.32	6.24	5000	4713.43	294.12

Fuente: Autor

6 Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)
Apique 1 (k0+600)

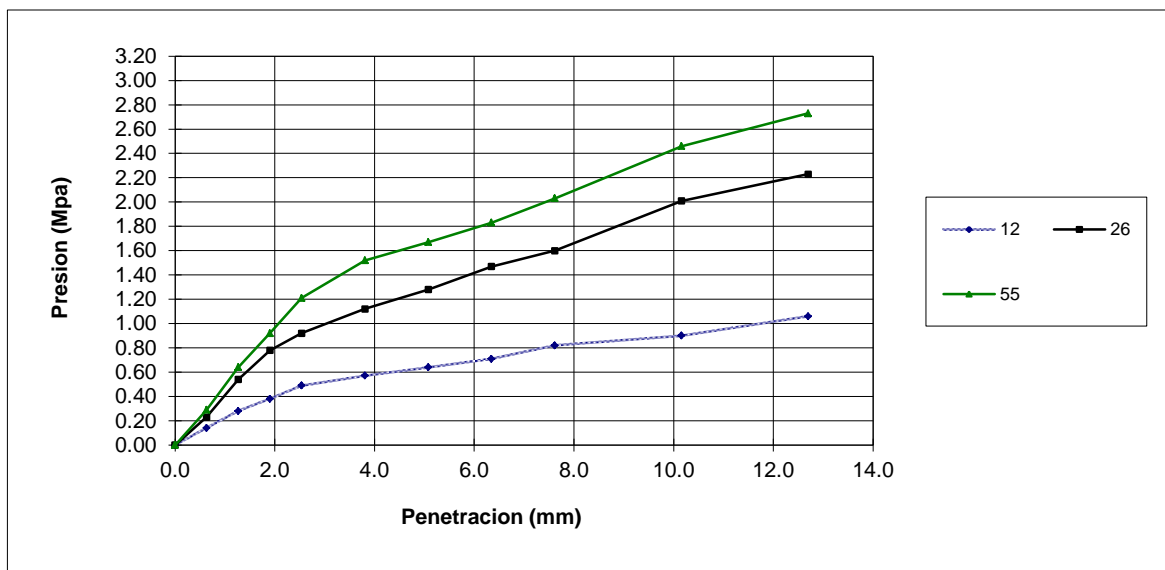
Tabla 6-1.1 Ensayos (CBR), Apique 1

MOLDE No	11 rect			16			11 circ		
No DE GOLPES	12			26			55		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC			CARGA (KN)			PRESION (MPa)		
	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)
0.0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
0.6	5	0.2	0.14	7	0.3	0.23	10	0.5	0.29
1.3	11	0.5	0.28	17	0.8	0.54	18	0.8	0.64
1.9	13.5	0.6	0.38	28	1.3	0.78	27	1.2	0.92
2.5	17.5	0.8	0.49	34	1.6	0.92	37	1.7	1.21
3.8	24	1.1	0.57	48	2.2	1.12	54	2.5	1.52
5.1	27	1.2	0.64	63	2.9	1.28	65	3.0	1.67
6.4	31.5	1.4	0.71	70	3.2	1.47	82	3.8	1.83

7.6	35	1.6	0.82	81	3.7	1.60	95	4.4	2.03
10.2	41	1.9	0.90	100	4.6	2.01	120	5.5	2.46
12.7	45	2.1	1.06	117	5.4	2.23	145	6.7	2.73
CBR A 0.1"		7.1			13.3			17.5	
CBR A 0.2"		6.1			12.2			15.9	
CBR CORR. 0.1"		7			13			18	
CBR CORR. 0.2"		6			12			16	
EXPANSION (mm)		1.45			1.19			0.81	
EXPANSION (%)		1.2			0.96			0.7	

Fuente: Autor

Figura 22. Resultado grafica Presión vs Penetración. Apique 1



Fuente: Autor

Tabla 6-1.2 Parámetros Ensayo (CBR),

MOLDE #	11 rect	16	11 circ
DIAMETRO (m)	0.150	0.150	0.150
ALTURA (m)	0.125	0.125	0.125
VOLUMEN (m3)	0.00221	0.00221	0.00221
N° DE GOLPES	12	26	55

Fuente: Autor

Tabla 6-1.3 Resultado Humedad de Compactación (CBR), Apique1

HUMEDAD DE COMPACTACION						
PESO TARA (Kg)	0.0077	0.0069	0.0074	0.0070	0.0067	0.0077
W DE TARA + S.HUMEDO (Kg)	0.0539	0.0539	0.0523	0.0532	0.0513	0.0514
W DE TARA + S.SECO (Kg)	0.0489	0.0488	0.0472	0.0481	0.0462	0.0465
HUMEDAD EN %	12.08	12.16	12.7	12.4	12.8	12.7
PROMEDIO HUMEDAD EN %	12.1		12.6		12.8	
CONTENIDO DE HUMEDAD %	12.1		12.6		12.8	
W MOLDE + S.HUMEDO (Kg)	11.6		12.0		12.1	
PESO MOLDE (Kg)	7.0		7.1		7.0	
W SUELO EN EL MOLDE (Kg)	4.6		4.9		5.0	
DENSIDAD HUMEDA (Kg/m3)	2060		2210		2283	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	1837		1964		2024	

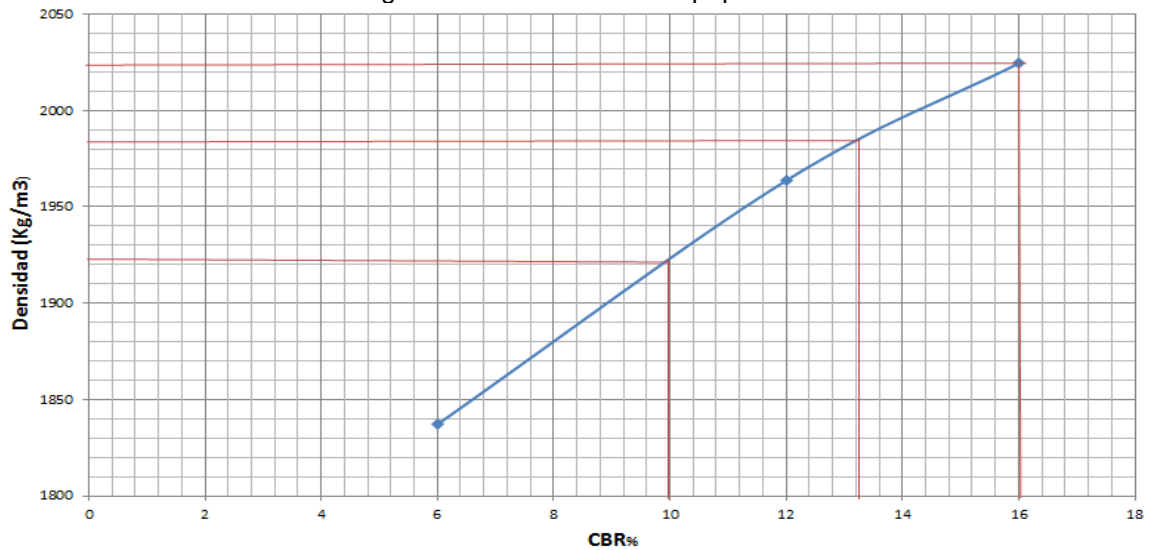
Fuente: Autor

Tabla 6-1.4 Resultado Humedad de Penetración (CBR), Apique1

HUMEDAD DE PENETRACION						
PESO TARA (Kg)	0.0088	0.0071	0.0077	0.0068	0.0084	0.0072
W TARA + S.H. (Kg)	0.0614	0.0597	0.0561	0.0594	0.0588	0.0579
W TARA + S.SECO (Kg)	0.0528	0.0513	0.0486	0.0510	0.0507	0.0498
HUMEDAD EN %	19.55	19.16	18.4	18.9	19.3	19.0
PROM. HUMEDAD EN %	19.4		18.7		19.2	

Fuente: Autor

Figura 23. Resultado CBR apique 1



Fuente: Autor

Tabla .6-1.5 Resultados de CBR, Apique 1

%Densidad Max	DENSIDAD	CBR (%)
95%	1923.26	10
98%	1984.00	13
100%	2024.49	16

Fuente: Autor

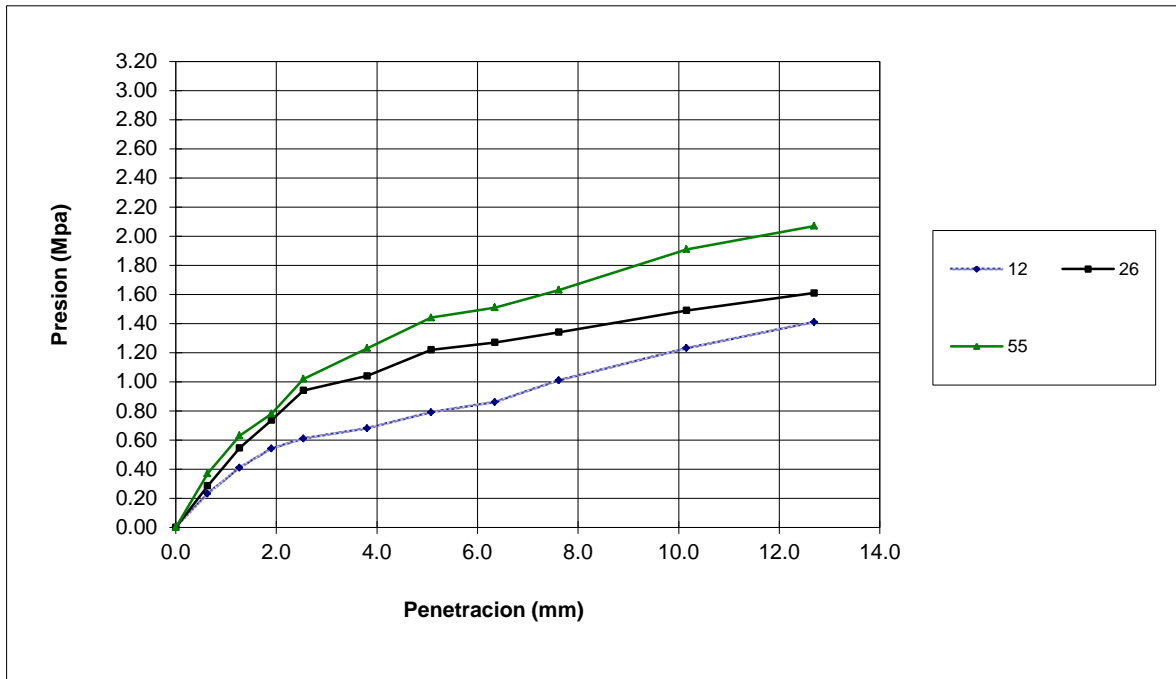
Apique 2 (k1+200)

Tabla 6-2.1 Ensayos (CBR), Apique 2

MOLDE No	11 rect			11 circ			16 rect		
No DE GOLPES	12			26			55		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)
0.0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
0.6	20	0.9	0.23	12	0.6	0.29	8	0.4	0.37
1.3	30	1.4	0.41	23	1.1	0.55	16	0.7	0.63
1.9	35	1.6	0.54	31	1.4	0.74	22	1.0	0.78
2.5	40	1.8	0.61	35	1.6	0.94	30	1.4	1.02
3.8	45	2.1	0.68	38	1.7	1.04	45	2.1	1.23
5.1	50	2.3	0.79	40	1.8	1.22	56	2.6	1.44
6.4	55	2.5	0.86	45	2.1	1.27	59	2.7	1.51
7.6	60	2.8	1.01	48	2.2	1.34	61	2.8	1.63
10.2	70	3.2	1.23	52	2.4	1.49	74	3.4	1.91
12.7	85	3.9	1.41	56	2.6	1.61	87	4.0	2.07
CBR A 0.1"	8.8			13.6			14.8		
CBR A 0.2"	7.5			11.6			13.7		
CBR CORR. 0.1"	9			14			15		
CBR CORR. 0.2"	8			12			14		
EXPANSION (mm)	1.96			1.93			2.01		
EXPANSION (%)	1.6			1.54			1.6		

Fuente: Autor

Figura 24. Resultado grafica Presión vs Penetración. Apique 2



Fuente: Autor

Tabla 6-2.2 Parámetros Ensayo (CBR).

MOLDE #	11 rect	11 circ	16 rect
DIAMETRO (m)	0.150	0.150	0.150
ALTURA (m)	0.125	0.125	0.125
VOLUMEN (m3)	0.00221	0.00221	0.00221
Nº DE GOLPES	12	26	55

Fuente: Autor

Tabla 6-2.3 Resultado Humedad de Compactación (CBR), Apique2

HUMEDAD DE COMPACTACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0069	0.0074	0.0086	0.0086	0.0084	0.0068
W DE TARA + S.HUMEDO (Kg)	0.0569	0.0574	0.0586	0.0586	0.0584	0.0568
W DE TARA + S.SECO (Kg)	0.0513	0.0519	0.0531	0.0526	0.0529	0.0514
HUMEDAD EN %	12.69	12.31	12.3	13.7	12.3	12.0
PROMEDIO HUMEDAD EN %	12.5		13.0		12.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD %	12.5		13.0		12.2	
W MOLDE + S.HUMEDO (Kg)	11.3		13.9		12.0	
PESO MOLDE (Kg)	6.9		9.0		7.1	
W SUELO EN EL MOLDE (Kg)	4.3		4.8		4.9	
DENSIDAD HUMEDA (Kg/m3)	1966		2187		2208	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	1747		1936		1969	

Fuente: Autor

Tabla 6-2.4 Resultado Humedad de Penetración (CBR), Apique2

HUMEDAD DE PENETRACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0086	0.0078	0.0074	0.0071	0.0077	0.0070
W TARA + S.H. (Kg)	0.0560	0.0632	0.0599	0.0594	0.0571	0.0613
W TARA + S.SECO (Kg)	0.0475	0.0541	0.0511	0.0505	0.0495	0.0521
HUMEDAD EN %	21.98	19.74	20.2	20.4	18.1	20.3
PROM. HUMEDAD EN %	20.9		20.3		19.2	

Fuente: Autor

Figura 25. Resultado CBR apique 2

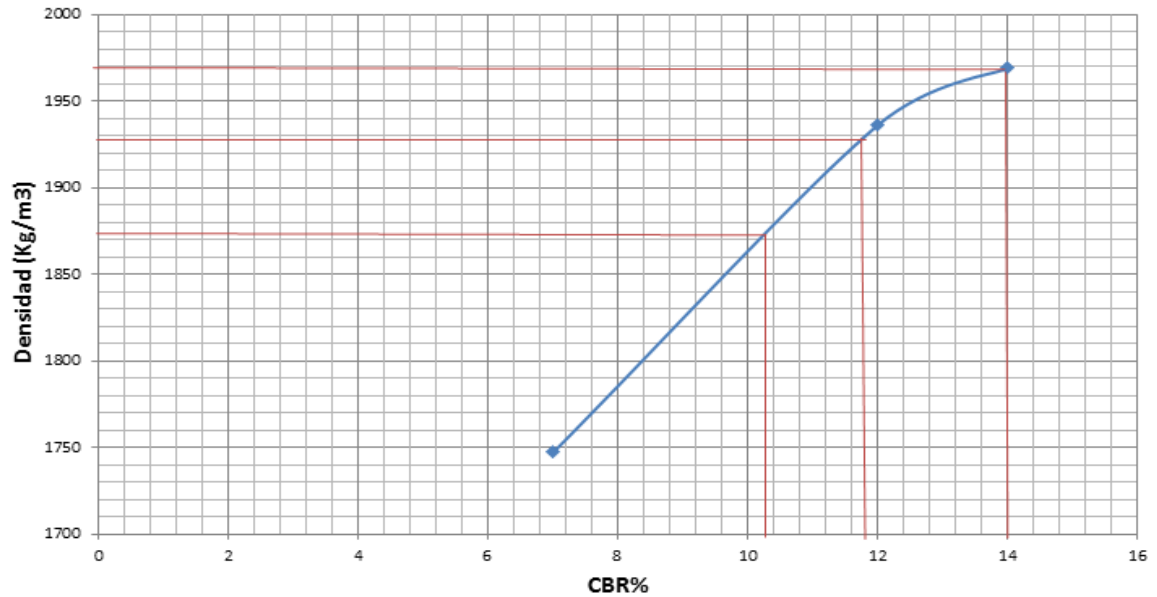


Tabla 6-2.5 Resultados de CBR, Apique 2

%Densidad Max	DENSIDAD	CBR (%)
95%	1870.47	10
98%	1929.54	12
100%	1968.92	14

Fuente: Autor

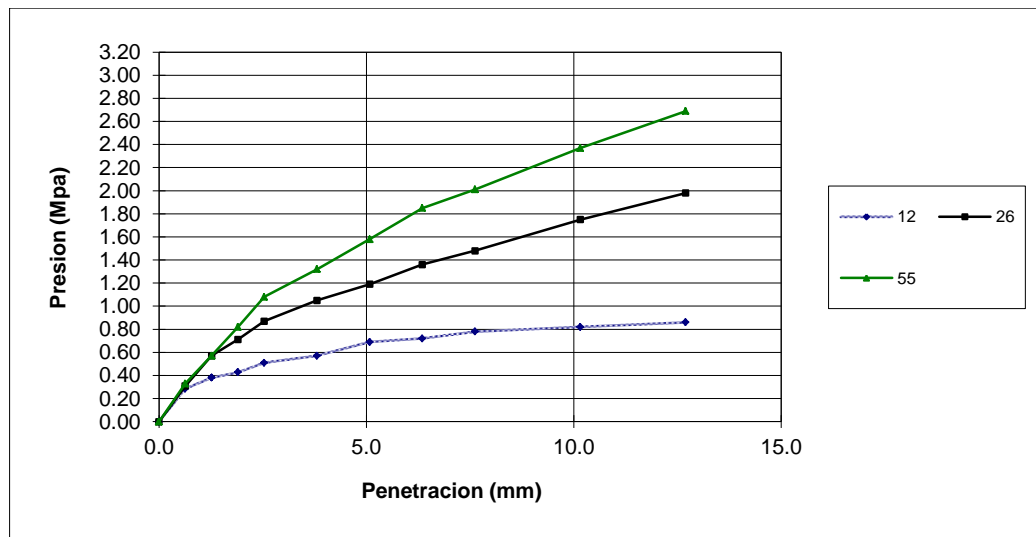
Apique 3 (k1+800)

Tabla 6-3.1 Ensayos (CBR), Apique 3

MOLDE No	4			5			13		
No DE GOLPES	12			26			55		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)
0.0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
0.6	12	0.6	0.29	13	0.6	0.31	6	0.3	0.33
1.3	16	0.7	0.38	24	1.1	0.57	14	0.6	0.57
1.9	18	0.8	0.43	30	1.4	0.71	26	1.2	0.82
2.5	19	0.9	0.51	38	1.7	0.87	39	1.8	1.08
3.8	21	1.0	0.57	50	2.3	1.05	52	2.4	1.32
5.1	24	1.1	0.69	58	2.7	1.19	68	3.1	1.58
6.4	25	1.2	0.72	64	2.9	1.36	79	3.6	1.85
7.6	27	1.2	0.78	70.5	3.2	1.48	88	4.1	2.01
10.2	29	1.3	0.82	81	3.7	1.75	106	4.9	2.37
12.7	33	1.5	0.86	84	3.9	1.98	126	5.8	2.69
CBR A 0.1"	7.4			12.6			15.7		
CBR A 0.2"	6.6			11.3			15.0		
CBR CORR. 0.1"	7			13			16		
CBR CORR. 0.2"	7			11			15		
EXPANSION (mm)	2.10			2.06			1.83		
EXPANSION (%)	1.7			1.65			1.5		

Fuente: Autor

Figura 26. Resultado grafica Presión vs Penetración. Apique 3



Fuente: Autor

Tabla 6-3.2 Parámetros Ensayo (CBR).

MOLDE #	4 rect	5 rect	13 circ
DIAMETRO (m)	0.150	0.150	0.150
ALTURA (m)	0.125	0.125	0.125
VOLUMEN (m3)	0.00221	0.00221	0.00221
N° DE GOLPES	12	26	55

Fuente: Autor

Tabla 6-3.3 Resultado Humedad de Compactación (CBR), Apique3

HUMEDAD DE COMPACTACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0069	0.0086	0.0074	0.0074	0.0069	0.0077
W DE TARA + S.HUMEDO (Kg)	0.0569	0.0586	0.0576	0.0576	0.0569	0.0614
W DE TARA + S.SECO (Kg)	0.0515	0.0535	0.0520	0.0519	0.0516	0.0560
HUMEDAD EN %	11.96	11.43	12.5	12.6	11.8	11.2
PROMEDIO HUMEDAD EN %	11.7		12.6		11.5	
CONTENIDO DE HUMEDAD %	11.7		12.6		11.5	
W MOLDE + S.HUMEDO (Kg)	11.6		11.8		14.3	
PESO MOLDE (Kg)	7.0		6.9		9.2	
W SUELO EN EL MOLDE (Kg)	4.5		4.9		5.1	
DENSIDAD HUMEDA (Kg/m3)	2052		2222		2316	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	1837		1973		2077	

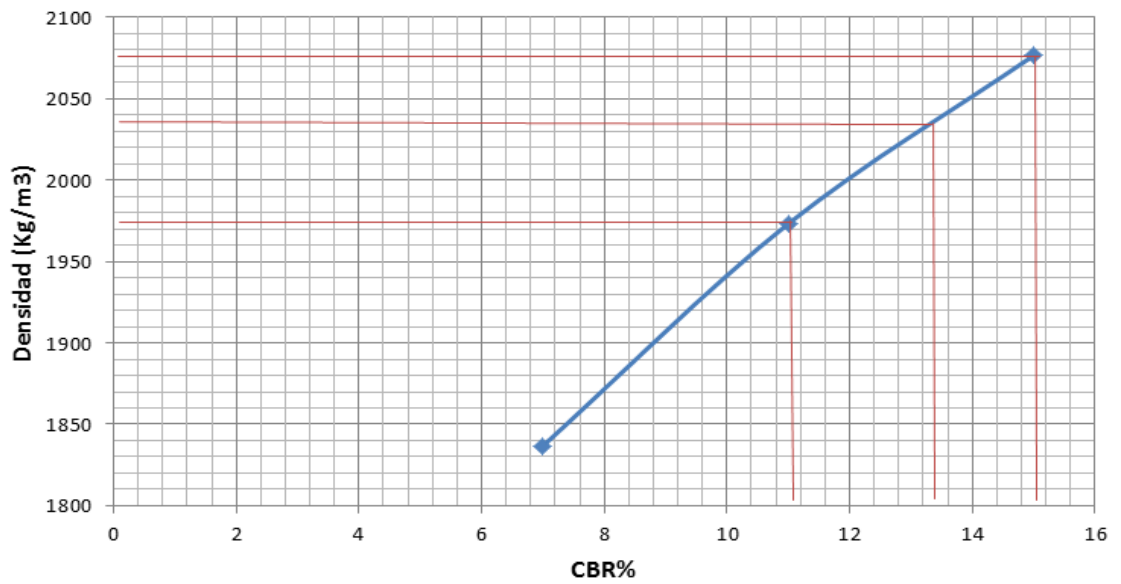
Fuente: Autor

Tabla 6-3.4 Resultado Humedad de Penetración (CBR), Apique3

HUMEDAD DE PENETRACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0074	0.0077	0.0069	0.0086	0.0076	0.0082
W TARA + S.H. (Kg)	0.0584	0.0574	0.0527	0.0583	0.0612	0.0650
W TARA + S.SECO (Kg)	0.0494	0.0484	0.0450	0.0503	0.0527	0.0560
HUMEDAD EN %	21.52	22.08	20.3	19.1	18.8	18.8
PROM. HUMEDAD EN %	21.8		19.7		18.8	

Fuente: Autor

Figura 27. Resultado CBR apique 3



Fuente: Autor

Tabla 6-3.5 Resultados de CBR, Apique 3

%Densidad Max	DENSIDAD	CBR (%)
95%	1972.80	11
98%	2035.10	13
100%	2076.63	15

Fuente: Autor

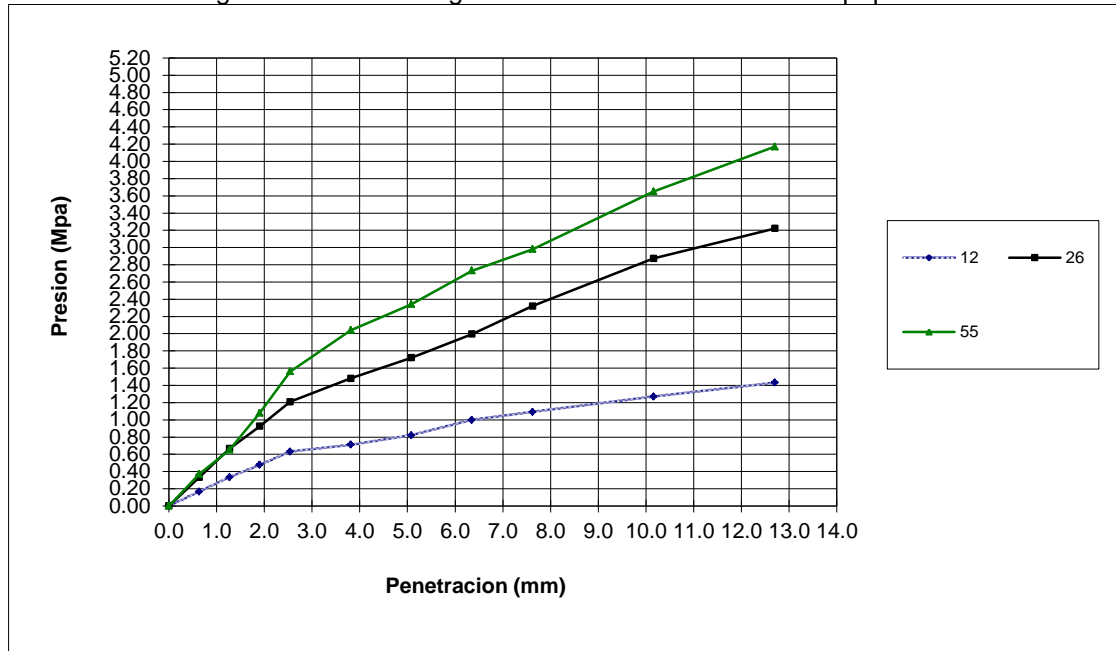
Apique 4 (k2+200)

Tabla 6-4.1 Ensayos (CBR), Apique 4

MOLDE No		10		1		5			
No DE GOLPES		12		26		55			
DIAS DE INMERSION		4		4		4			
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)
0.0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
0.6	7	0.3	0.17	14	0.6	0.33	9.5	0.4	0.37
1.3	14	0.6	0.33	28	1.3	0.67	25	1.2	0.65
1.9	20	0.9	0.48	39	1.8	0.93	42	1.9	1.08
2.5	24	1.1	0.63	46	2.1	1.21	60	2.8	1.56
3.8	31	1.4	0.71	60	2.8	1.48	91	4.2	2.04
5.1	39	1.8	0.82	74	3.4	1.72	123	5.7	2.34
6.4	42	1.9	1.00	84	3.9	2.00	154	7.1	2.73
7.6	47.5	2.2	1.09	99	4.6	2.32	176	8.1	2.98
10.2	55	2.5	1.27	121	5.6	2.87	232	10.7	3.65
12.7	62	2.9	1.43	142	6.5	3.22	282	13.0	4.17
CBR A 0.1"		9.1		17.5		22.6			
CBR A 0.2"		7.8		16.4		22.3			
CBR CORR. 0.1"		9		18		23			
CBR CORR. 0.2"		8		16		22			
EXPANSION (mm)		0.64		0.46		0.37			
EXPANSION (%)		0.5		0.37		0.3			

Fuente: Autor

Figura 28. Resultado grafica Presión vs Penetración. Apique 4



Fuente: Autor

Tabla 6-4.2 Parámetros Ensayo (CBR),

MOLDE #	10	1	5
DIAMETRO (m)	0.150	0.150	0.150
ALTURA (m)	0.125	0.125	0.125
VOLUMEN (m3)	0.00221	0.00221	0.00221
N° DE GOLPES	12	26	55

Fuente: Autor

Tabla 6-4.3 Resultado Humedad de Compactación (CBR), Apique4

HUMEDAD DE COMPACTACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0074	0.0077	0.0067	0.0069	0.0074	0.0069
W DE TARA + S.HUMEDO (Kg)	0.0581	0.0582	0.0567	0.0576	0.0500	0.0487
W DE TARA + S.SECO (Kg)	0.0537	0.0541	0.0527	0.0524	0.0461	0.0438
HUMEDAD EN %	9.40	8.86	8.8	11.4	10.0	13.1
PROMEDIO HUMEDAD EN %	9.1		10.1		11.5	
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.1		10.1		11.5	
W MOLDE + S.HUMEDO (Kg)	13.8		14.1		14.3	
PESO MOLDE (Kg)	9.2		9.1		9.1	
W SUELO EN EL MOLDE (Kg)	4.7		5.0		5.2	
DENSIDAD HUMEDA (Kg/m3)	2105		2248		2342	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	1929		2042		2100	

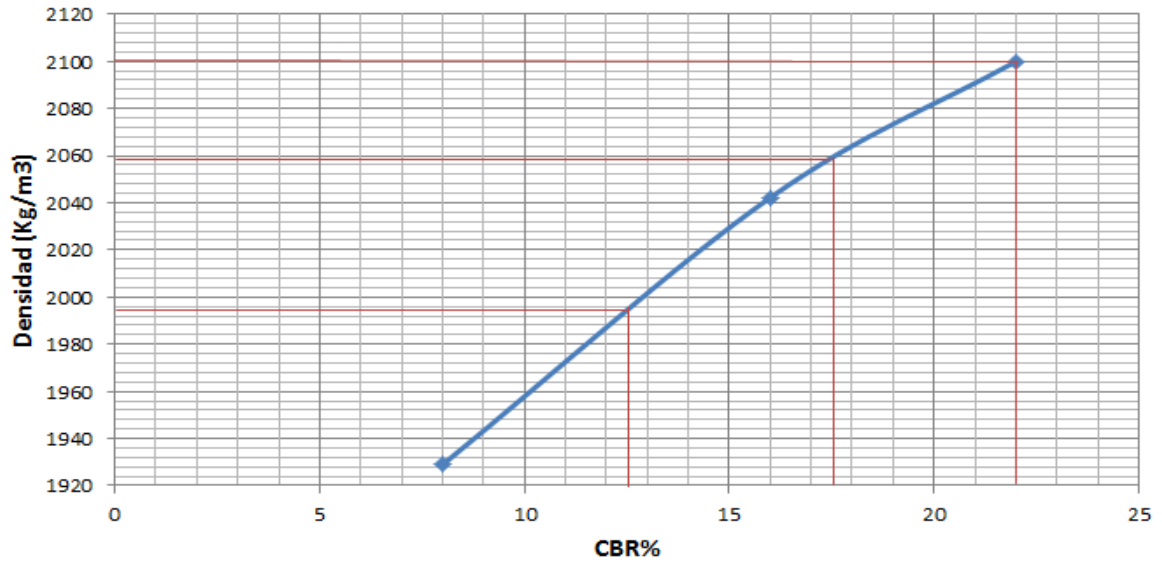
Fuente: Autor

Tabla 6-4.4 Resultado Humedad de penetración (CBR), Apique4

HUMEDAD DE PENETRACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0074	0.0073	0.0069	0.0073	0.0071	0.0073
W TARA + S.H. (Kg)	0.0508	0.0505	0.0504	0.0507	0.0502	0.0509
W TARA + S.SECO (Kg)	0.0446	0.0445	0.0445	0.0450	0.0450	0.0447
HUMEDAD EN %	16.67	16.13	15.7	15.1	13.7	16.6
PROM. HUMEDAD EN %	16.4		15.4		15.1	

Fuente: Autor

Figura 29. Resultado CBR apique 4



Fuente: Autor

Tabla 6-4.5 Resultados de CBR, Apique 4

%Densidad Max	DENSIDAD	CBR (%)
95%	1994.98	13
98%	2057.98	17
100%	2099.98	22

Fuente: Autor

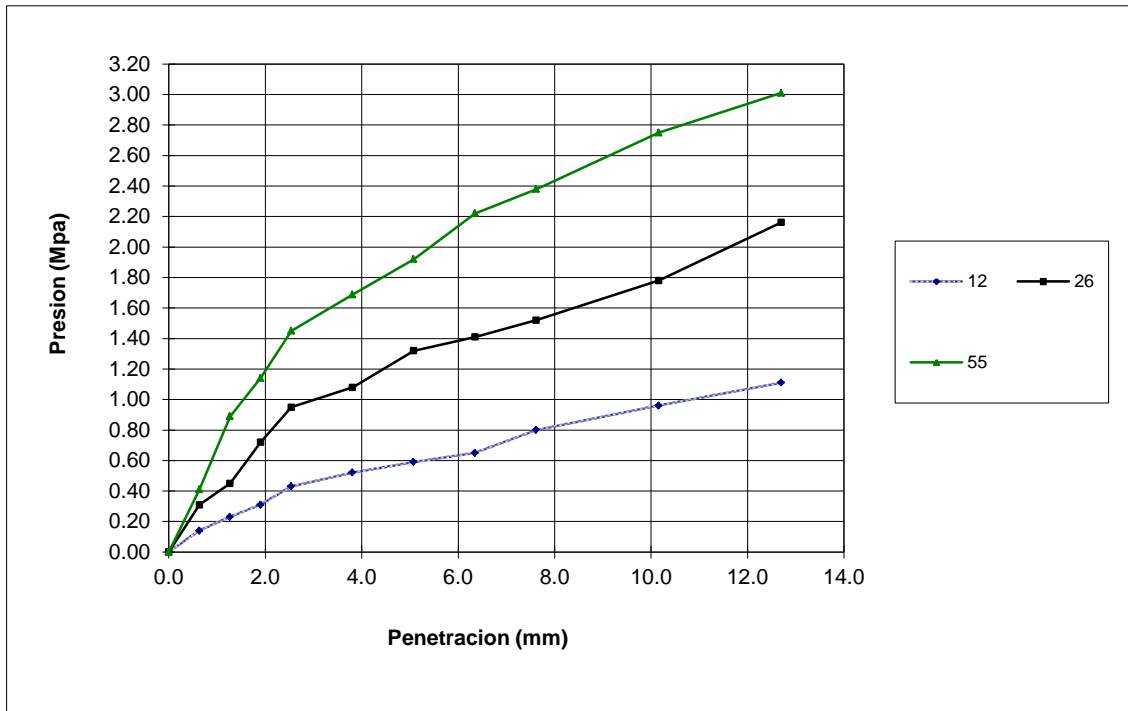
Apique 5 (k2+800)

Tabla 6-5.1 Ensayos (CBR), Apique 5

MOLDE No		12			15			7		
No DE GOLPES		12			26			55		
DIAS DE INMERSION		4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)	
0.0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	
0.6	3	0.1	0.14	12	0.6	0.31	10	0.5	0.41	
1.3	5.5	0.3	0.23	17.5	0.8	0.45	22	1.0	0.89	
1.9	9	0.4	0.31	22	1.0	0.72	34	1.6	1.14	
2.5	1.5	0.1	0.43	26.5	1.2	0.95	52	2.4	1.45	
3.8	14	0.6	0.52	38	1.7	1.08	71	3.3	1.69	
5.1	19	0.9	0.59	46	2.1	1.32	93	4.3	1.92	
6.4	21.5	1.0	0.65	56	2.6	1.41	110	5.1	2.22	
7.6	25	1.2	0.80	67	3.1	1.52	123	5.7	2.38	
10.2	32	1.5	0.96	80	3.7	1.78	134	6.2	2.75	
12.7	38	1.7	1.11	91	4.2	2.16	155	7.1	3.01	
CBR A 0.1"		6.23			13.77			21.01		
CBR A 0.2"		5.62			12.57			18.29		
CBR CORR. 0.1"		6			14			21		
CBR CORR. 0.2"		6			13			18		
EXPANSION (mm)		1.45			1.19			0.81		
EXPANSION (%)		1.2			0.96			0.7		

Fuente: Autor

Figura 30. Resultado grafica Presión vs Penetración. Apique 5



Fuente: Autor

Tabla 6-5.2 Parámetros Ensayo (CBR).

MOLDE #	12	15	7
DIAMETRO (m)	0.150	0.150	0.150
ALTURA (m)	0.125	0.125	0.125
VOLUMEN (m3)	0.00221	0.00221	0.00221
N° DE GOLPES	12	26	55

Fuente: Autor

Tabla 6-5.3 Resultado Humedad de Compactación (CBR), Apique5

HUMEDAD DE COMPACTACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0074	0.0077	0.0067	0.0069	0.0074	0.0086
W DE TARA + S.HUMEDO (Kg)	0.0580	0.0577	0.0586	0.0591	0.0453	0.0428
W DE TARA + S.SECO (Kg)	0.0545	0.0546	0.0557	0.0554	0.0426	0.0405
HUMEDAD EN %	7.45	6.45	5.9	7.6	7.6	7.3
PROMEDIO HUMEDAD EN %	7.0		6.8		7.5	
CONTENIDO DE HUMEDAD %	7.0		6.8		7.5	
W MOLDE + S.HUMEDO (Kg)	11.7		12.0		12.2	
PESO MOLDE (Kg)	7.1		7.0		7.0	
W SUELO EN EL MOLDE (Kg)	4.6		4.9		5.1	
DENSIDAD HUMEDA (Kg/m3)	2101		2235		2326	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	1965		2094		2165	

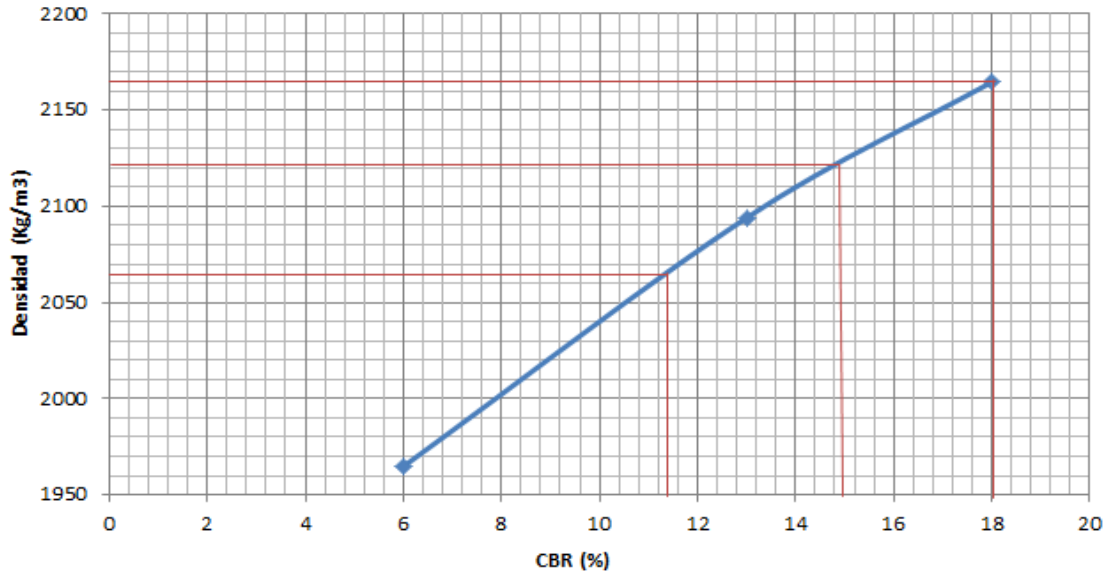
Fuente: Autor

Tabla 6-5.4 Resultado Humedad de penetración (CBR), Apique5

HUMEDAD DE PENETRACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0070	0.0076	0.0082	0.0085	0.0074	0.0069
W TARA + S.H. (Kg)	0.0587	0.0566	0.0607	0.0556	0.0583	0.0600
W TARA + S.SECO (Kg)	0.0520	0.0504	0.0547	0.0504	0.0528	0.0542
HUMEDAD EN %	14.91	14.55	12.8	12.4	12.0	12.3
PROM. HUMEDAD EN %	14.7		12.6		12.1	

Fuente: Autor

Figura 31. Resultado CBR apique 5



Fuente: Autor

Tabla 6-5.5. Resultados de CBR, Apique 5

%Densidad Max	DENSIDAD	CBR (%)
95%	2056.29	11
98%	2121.22	15
100%	2164.51	18

Fuente: Autor

Apique 6 (k3+200)

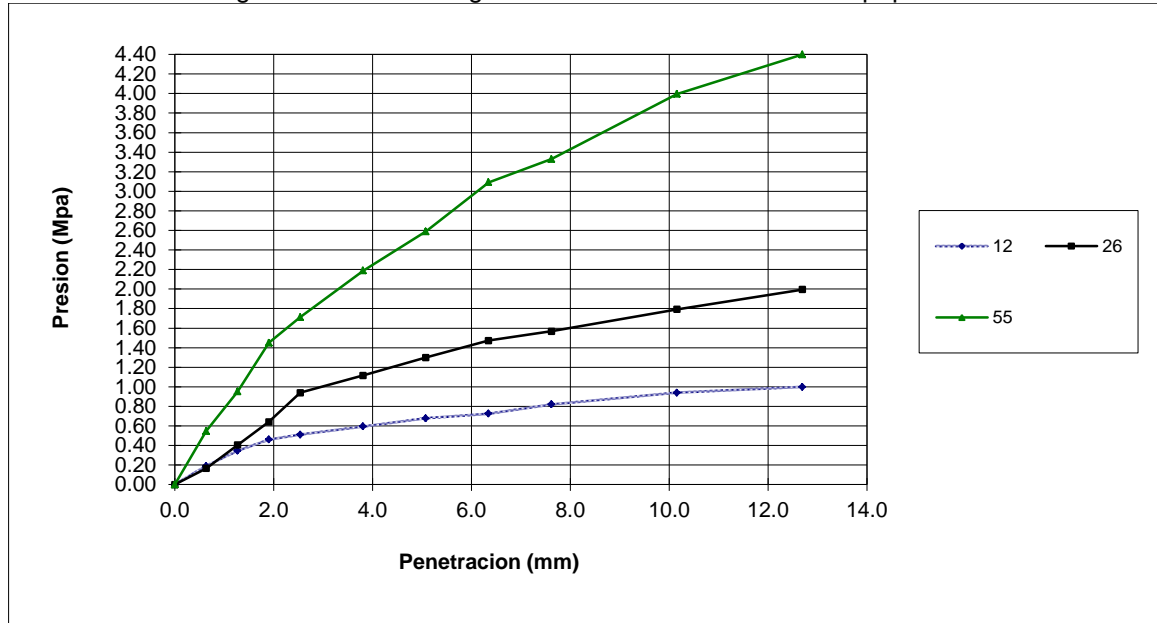
Tabla 6-6.1 Ensayos (CBR), Apique 6

MOLDE No		2		10		14			
No DE GOLPES		12		26		55			
DIAS DE INMERSION		4		4		4			
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)
0.0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
0.6	8	0.4	0.19	7	0.3	0.17	23	1.1	0.55
1.3	14.5	0.7	0.34	17	0.8	0.40	40	1.8	0.95
1.9	20	0.9	0.46	27	1.2	0.64	61	2.8	1.45
2.5	21.5	1.0	0.51	36.5	1.7	0.94	72	3.3	1.71
3.8	25	1.2	0.59	47	2.2	1.12	92	4.2	2.19
5.1	28.5	1.3	0.68	57.5	2.6	1.30	116	5.3	2.59
6.4	30.5	1.4	0.73	62	2.8	1.47	130	6.0	3.09
7.6	32	1.5	0.82	66	3.0	1.57	144	6.6	3.33
10.2	39	1.8	0.94	75.5	3.5	1.79	168	7.7	3.99
12.7	42	1.9	1.00	84	3.9	2.00	185	8.5	4.40
CBR A 0.1"		7.4		13.6		24.8			

CBR A 0.2"	6.5	12.4	24.7
CBR CORR. 0.1"	7	14	25
CBR CORR. 0.2"	6	12	25
EXPANSION (mm)	0.99	0.64	0.48
EXPANSION (%)	0.8	0.51	0.4

Fuente: Autor

Figura 32. Resultado grafica Presión vs Penetración. Apique 6



Fuente: Autor

Tabla 6-6.2 Parámetros Ensayo (CBR).

MOLDE #	2	10	14
DIAMETRO (m)	0.150	0.150	0.150
ALTURA (m)	0.125	0.125	0.125
VOLUMEN (m3)	0.00221	0.00221	0.00221
N° DE GOLPES	12	26	55

Fuente: Autor

Tabla 6-6.3 Resultado Humedad de Compactación (CBR), Apique6

HUMEDAD DE COMPACTACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0078	0.0069	0.0070	0.0069	0.0076	0.0074
W DE TARA + S.HUMEDO (Kg)	0.0588	0.0581	0.0571	0.0575	0.0585	0.0582
W DE TARA + S.SECO (Kg)	0.0543	0.0540	0.0518	0.0524	0.0532	0.0532
HUMEDAD EN %	9.66	8.79	11.9	11.2	11.4	11.0
PROMEDIO HUMEDAD EN %	9.2		11.5		11.2	

CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.2	11.5	11.2
W MOLDE + S.HUMEDO (Kg)	13.5	11.9	12.2
PESO MOLDE (Kg)	8.8	7.0	7.0
W SUELO EN EL MOLDE (Kg)	4.6	4.9	5.1
DENSIDAD HUMEDA (Kg/m ³)	2101	2218	2329
DENSIDAD SECA (Kg/m ³)	1923	1989	2094

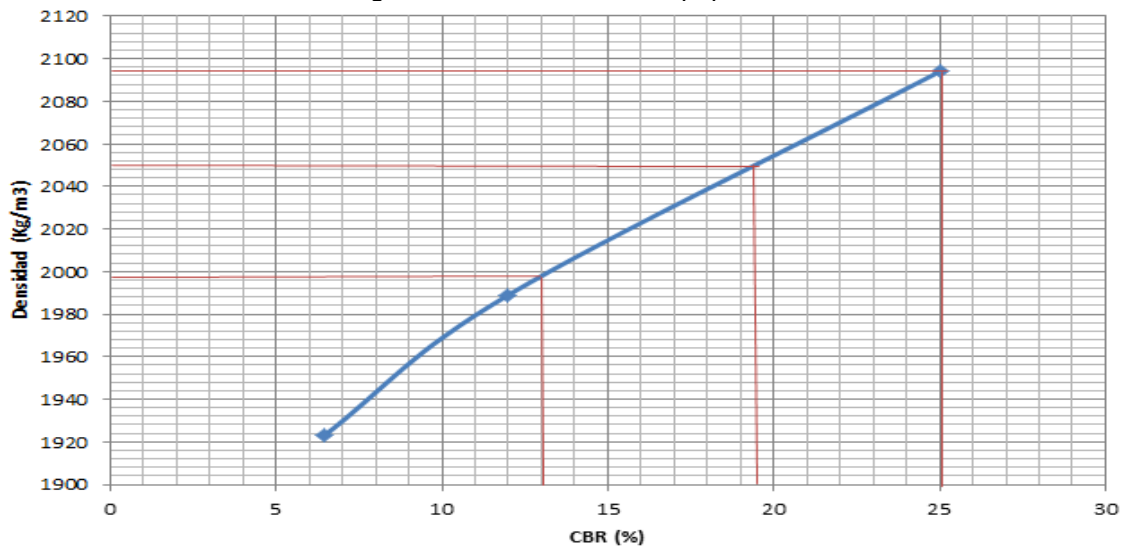
Fuente: Autor

Tabla 6-6.4 Resultado Humedad de penetración (CBR), Apique6

HUMEDAD DE PENETRACION	12	26	55			
PESO TARA (Kg)	0.0068	0.0067	0.0073	0.0077	0.0077	0.0069
W TARA + S.H. (Kg)	0.0652	0.0548	0.0583	0.0610	0.0627	0.0604
W TARA + S.SECA (Kg)	0.0557	0.0468	0.0498	0.0526	0.0544	0.0525
HUMEDAD EN %	19.41	20.00	20.0	18.7	17.8	17.5
PROM. HUMEDAD EN %	19.7	19.4	17.6			

Fuente: Autor

Figura 33. Resultado CBR apique 6



Fuente: Autor

Tabla 6-6.5. Resultados de CBR, Apique 6

%Densidad Max	DENSIDAD	CBR (%)
95%	1989.26	13
98%	2052.08	20
100%	2093.96	25

Fuente: Autor

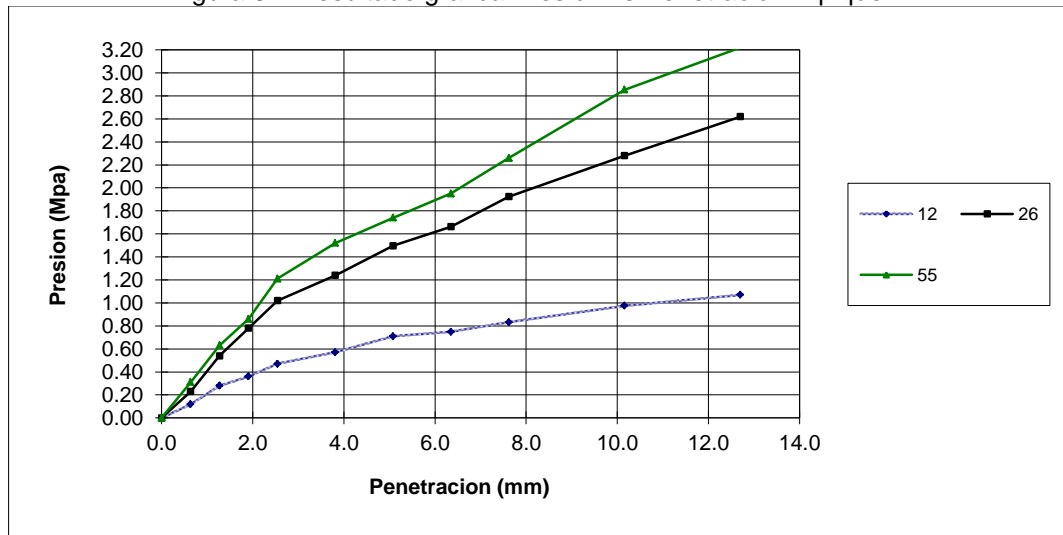
Apique 7 (k3+800)

Tabla 6-7.1 Ensayos (CBR), Apique 7

MOLDE No	11 rect			16			11 circ		
No DE GOLPES	12			26			55		
DIAS DE INMERSION	4			4			4		
PENETRACION (mm)	LEC	CARGA (KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION (MPa)	LEC	CARGA(KN)	PRESION(MPa)
0.0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
0.6	5	0.2	0.12	7	0.3	0.23	10	0.5	0.31
1.3	11	0.5	0.28	17	0.8	0.54	18	0.8	0.63
1.9	13.5	0.6	0.36	28	1.3	0.78	27	1.2	0.86
2.5	17.5	0.8	0.47	34	1.6	1.02	37	1.7	1.21
3.8	24	1.1	0.57	48	2.2	1.24	54	2.5	1.52
5.1	27	1.2	0.71	63	2.9	1.50	65	3.0	1.74
6.4	31.5	1.4	0.75	70	3.2	1.66	82	3.8	1.95
7.6	35	1.6	0.83	81	3.7	1.92	95	4.4	2.26
10.2	41	1.9	0.97	100	4.6	2.28	120	5.5	2.85
12.7	45	2.1	1.07	117	5.4	2.62	145	6.7	3.22
CBR A 0.1"	6.8			14.8			17.5		
CBR A 0.2"	6.8			14.3			16.6		
CBR CORR. 0.1"	7			15			18		
CBR CORR. 0.2"	7			14			17		
EXPANSION (mm)	1.45			1.19			0.81		
EXPANSION (%)	1.2			0.96			0.7		

Fuente: Autor

Figura 34. Resultado grafica Presión vs Penetración. Apique 7



Fuente: Autor

Tabla 6-7.2 Parámetros Ensayo (CBR).

MOLDE #	11 rect	16	11 circ
DIAMETRO (m)	0.150	0.150	0.150
ALTURA (m)	0.125	0.125	0.125
VOLUMEN (m3)	0.00221	0.00221	0.00221
N° DE GOLPES	12	26	55

Fuente: Autor

Tabla 6-7.3 Resultado Humedad de Compactación (CBR), Apique7

HUMEDAD DE COMPACTACION	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0077	0.0077	0.0069	0.0074	0.0070	0.0067
W DE TARA + S.HUMEDO (Kg)	0.0533	0.0522	0.0534	0.0592	0.0560	0.0562
W DE TARA + S.SECO (Kg)	0.0484	0.0470	0.0491	0.0546	0.0513	0.0511
HUMEDAD EN %	11.87	13.11	10.1	9.8	10.8	11.5
PROMEDIO HUMEDAD EN %	12.5		10.0		11.2	
CONTENIDO DE HUMEDAD %	12.5		10.0		11.2	
W MOLDE + S.HUMEDO (Kg)	11.7		12.1		14.2	
PESO MOLDE (Kg)	6.9		7.1		9.0	
W SUELO EN EL MOLDE (Kg)	4.7		5.0		5.2	
DENSIDAD HUMEDA (Kg/m3)	2149		2275		2351	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	1911		2069		2115	

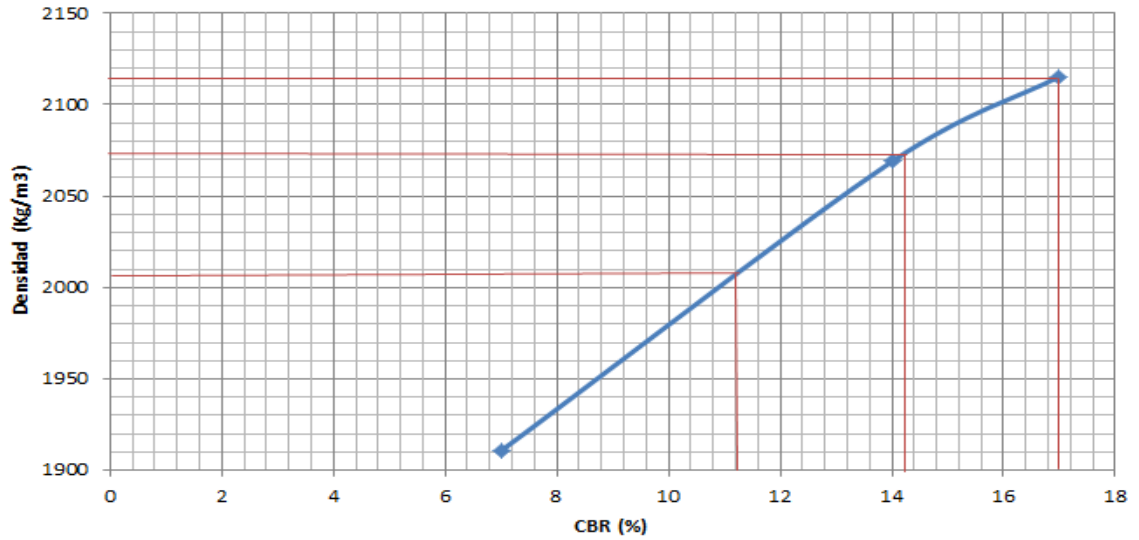
Fuente: Autor

Tabla 6-7.4 Resultado Humedad de penetración (CBR), Apique7

HUMEDAD DE PENETRACIÓN	12		26		55	
PESO TARA (Kg)	0.0072	0.0088	0.0068	0.0071	0.0077	0.0084
W TARA + S.H. (Kg)	0.0599	0.0614	0.0552	0.0597	0.0581	0.0590
W TARA + S.SECO (Kg)	0.0517	0.0535	0.0482	0.0520	0.0510	0.0519
HUMEDAD EN %	18.35	17.77	16.9	17.2	16.6	16.4
PROM. HUMEDAD EN %	18.1		17.0		16.5	

Fuente: Autor

Figura 35. Resultado CBR apique 7



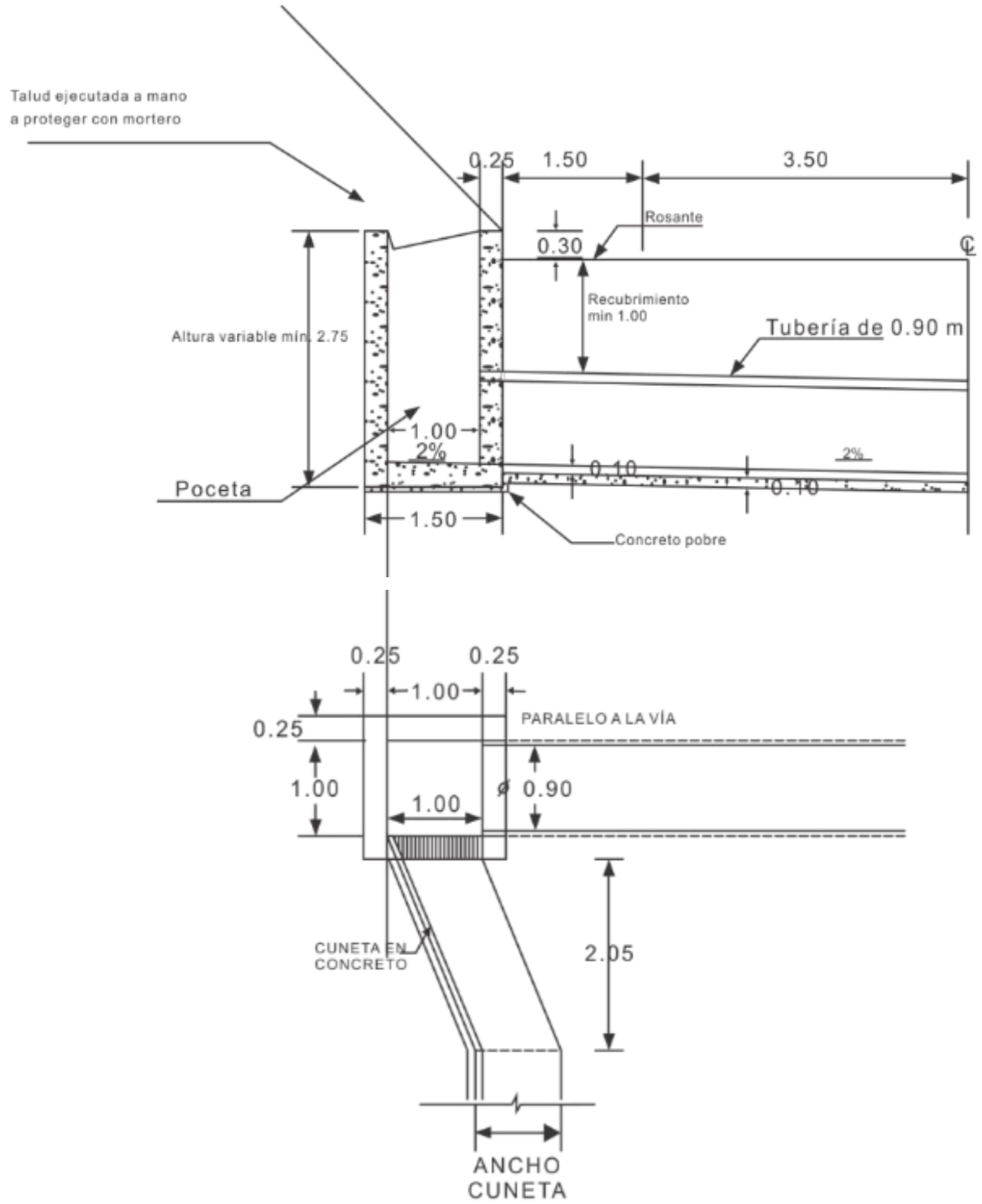
Fuente: Autor

Tabla 6-7.5 Resultados de CBR, Apique 7

%Densidad Max	DENSIDAD	CBR (%)
95%	2009.60	11
98%	2073.06	14
100%	2115.37	17

Fuente: Autor

ANEXO D CAJA COLECTORA TÍPICA



ANEXO E ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN

