

PARTICIPACIÓN COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA CIVIL EN ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL DE VIVIENDAS, Puentes VEHICULARES, MUROS DE CONTENCIÓN, DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, COORDINADOR Y SUPERVISOR EN EXPLORACIÓN, PERFORACIÓN Y LABORATORIO.



**PRESENTADO POR:
CAMILO ANDRÉS QUINTERO LEIVA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN-CAUCA
2015**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

PARTICIPACIÓN COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA CIVIL EN ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL DE VIVIENDAS, Puentes VEHICULARES, MUROS DE CONTENCIÓN, DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, COORDINADOR Y SUPERVISOR EN EXPLORACIÓN, PERFORACIÓN Y LABORATORIO.



**PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MODALIDAD PASANTÍA**

**PRESENTADO POR:
CAMILO ANDRÉS QUINTERO LEIVA**

**DIRECTOR:
ING. CARLOS ALBERTO BENAVIDES BASTIDAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN-CAUCA
2015**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y jurado de la Práctica Profesional “PARTICIPACIÓN COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA CIVIL EN ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL DE VIVIENDAS, PUENTES VEHICULARES, MUROS DE CONTENCIÓN, DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, COORDINADOR Y SUPERVISOR EN EXPLORACIÓN, PERFORACIÓN Y LABORATORIO– POPAYÁN 2015” realizada por CAMILO ANDRÉS QUINTERO LEIVA, una vez evaluado el uniforme final y la sustentación del mismo, autorizan al pasante para que desarrolle las gestiones administrativas para optar por el título de Ingeniero Civil.

Director de Pasantía

Jurado 1

Jurado 2

Popayán, ____ de Julio de 2015



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Dedico este trabajo de grado, culminado con mucho esfuerzo pero también con mucho amor especialmente a mi familia que aunque no estuvieron cerca de mí en esta meta siempre me acompañan y sé, que donde me encuentre estarán orgullosos.

A todas y cada una de las personas que de alguna u otra manera, contribuyeron a que lograra esta meta que me propuse en la vida, y que me ha permitido crecer intelectualmente como persona y como ser humano.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, la fortaleza, la salud y el amor para seguir siempre adelante sin decaer.

A mi madre por la confianza, por estar siempre en los momentos difíciles y en especial por nuestra amistad.

A mi padre por enseñarme lo importante que es la responsabilidad y ser fiel a mis principios para lograr lo que deseo.

A mis hermanos por creer en mí, por su apoyo incondicional y por ser unos guerreros de sangre al abrazar sus miedos con mis sueños.

A mis amigos por estar siempre a mi lado y compartir tantos momentos.

Mi sincera gratitud a los ingeniero Carlos Benavides y Hugo Daza, por no dudar de mi capacidad y por impulsar el deseo de lucha y perseverancia en alcanzar las metas trazadas en la vida, por estar en el momento oportuno, infinitas gracias.

A todo el personal que hace parte la empresa CITEC Ltda Ingeniería y Geotecnia, por la colaboración que tuvieron hacia mí en cada uno de los trabajos realizados.

A la Universidad del Cauca por brindarme el honor de pertenecer a tan prestigiosa familia.



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	8
2 RESUMEN.....	9
3 OBJETIVOS.....	10
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
4 INFORMACIÓN GENERAL	11
4.1 NOMBRE DEL PASANTE	11
4.2 ENTIDAD RECEPTORA.....	11
4.3 TUTOR POR PARTE DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.....	11
4.4 TUTOR POR PARTE DE LA EMPRESA RECEPTORA.....	11
4.5 SEDE PRINCIPAL DE TRABAJO:.....	11
4.6 DURACIÓN PASANTÍA	11
4.7 RECURSOS UTILIZADOS.	12
5 GENERALIDADES SOBRE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES DE VIVIENDAS, PUENTES VEHICULARES, MUROS DE CONTENCIÓN Y ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO	14
5.1 PLAZO POR CADA CONSULTORÍA REALIZADA EN ESTE PROYECTO 14	14
5.2 POSICIÓN DEL PASANTE.....	14
5.3 DESCRIPCIÓN DEL OBJETIVO	14
5.4 EXPLORACIÓN DE SUELOS	15
5.4.1 COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN EN EXPLORACIÓN, PERFORACIÓN Y LABORATORIO	16
5.5 ESTUDIOS DE SUELOS PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES REALIZADOS DURANTE EL TIEMPO DE LA PASANTÍA	20
5.5.1 ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL.....	21
5.5.2 CÁLCULOS Y RESULTADOS	25
5.5.3 CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE.....	37
5.6 ESTUDIOS DE SUELOS PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO REALIZADOS DURANTE EL TIEMPO DE LA PASANTÍA	39



5.6.1 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS	39
5.6.2 CÁLCULOS Y RESULTADOS	41
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
7 BIBLIOGRAFÍA.....	52
8 ANEXOS	53



1 INTRODUCCIÓN

Teniendo como base lo establecido por la Universidad del Cauca en el Artículo 3 del Acuerdo N° 027 de 2012 por el Consejo Superior, el cual establece el trabajo de grado como requisito para adquirir el título de Ingeniero Civil, La Universidad Del Cauca, facultad de Ingeniería Civil, reglamenta tres modalidades para la presentación de trabajo de grado siendo estas:

- Trabajo de Investigación
- **Pasantía o Práctica Empresarial**
- Práctica Social

Para el desarrollo del trabajo de grado se seleccionó la alternativa del modelo de pasantía o práctica empresarial, con el ánimo de aplicar el conocimiento adquirido en el proceso de formación universitaria bajo la guía y supervisión de una empresa legalmente constituida y con amplia trayectoria en el sector, dado que dicha modalidad permite un desarrollo integro en la formación como Ingeniero Civil.

Por lo anterior y gracias al convenio establecido entre la Universidad del Cauca y la empresa CITEC Ltda, es posible realizar la participación y acompañamiento en actividades de consultoría en áreas específicas como geotecnia, desarrollando estudios de suelos para cimentaciones, diseño estructural de pavimentos, control de calidad en obra y servicio de laboratorio en el transcurso de esta práctica empresarial para optar el título profesional.

El presente documento contempla información sobre las labores realizadas en el transcurso de la pasantía. Información sustentada con registros fotográficos y cuadros de registro de estudios realizados.



2 RESUMEN

El trabajo de grado en la modalidad de Pasantía se desarrolló en el periodo comprendido entre los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2014; y en los meses enero, febrero, marzo y abril del año 2015 bajo la supervisión y guía de la empresa CITEC Ltda Ingeniería y Geotecnia.

CITEC Ltda es una empresa dedicada a la prestación de servicios integrales relacionados con obras civiles; fue creada legalmente el 26 de Marzo de 1996 e identificada con el NIT. 8170001624-4.

Radicada en la ciudad de Popayán – Cauca es una empresa que ha logrado posicionarse en este campo brindando un servicio oportuno y de calidad apoyado por una planta de personal egresado de la Universidad del Cauca y un grupo de colaboradores formados por esta empresa por más de 15 años.

Actualmente el laboratorio de encuentra en procesos de implementación del sistema de gestión de calidad ISO/IEC 17025:2005 Para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración que ACREDITARÁ a la firma como laboratorio de suelos, materiales, concretos y pavimentos, garante y certificador de procesos y resultados técnicos.

Dentro de las actividades desarrolladas junto con la empresa para el cumplimiento de los objetivos propuestos en este trabajo, se realizaron de manera objetiva en el transcurso del tiempo propuesto; sin mayores dificultades, aprovechando de la manera más óptima la oportunidad presentada, fortaleciendo los conocimientos y la experiencia para la formación integral.

El tiempo invertido en las actividades de pasantía se realizó en un 80% en oficina y un 20% en trabajo de campo, cabe mencionar que toda la información descrita es resultado de la observación y experiencia obtenida en el transcurso de la ejecución del presente proyecto y la información anexa fue facilitada por la empresa CITEC Ltda.



3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Participar como auxiliar de ingeniería civil en estudio de suelos para cimentación superficial de viviendas, puentes vehiculares, muros de contención, diseño de estructuras de pavimento, coordinador y supervisor en exploración, perforación y laboratorio.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar informes de cada uno de los estudios, diseños, controles realizados para las obras correspondientes.
- Diseñar estructuras de pavimentos, con el fin de afianzar y conocer más sobre este tema.
- Aportar soluciones en problemas que surjan en el desarrollo de las consultorías, fundamentadas en la formación académica.
- Realizar un seguimiento al control de calidad de los materiales a ser utilizados para conseguir una óptima obra civil.
- Aplicar los conocimientos sobre los procesos de consultoría obtenidos en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.



4 INFORMACIÓN GENERAL

4.1 NOMBRE DEL PASANTE

Camilo Andrés Quintero Leiva.

4.2 ENTIDAD RECEPTORA

CITEC Ltda Ingeniería y Geotecnia.

4.3 TUTOR POR PARTE DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Ing. Carlos Alberto Benavides Bastidas

4.4 TUTOR POR PARTE DE LA EMPRESA RECEPTORA

Ing. Hugo Edmundo Daza Delgado
Subgerente general

4.5 SEDE PRINCIPAL DE TRABAJO:

El desarrollo de la pasantía se realizó en la oficina de la empresa CITEC Ltda; Diagonal 26 # 26-58, barrio Yanaconas, Popayán, Cauca.

4.6 DURACIÓN PASANTÍA

La modalidad adoptada tiene una duración de 640 horas para cumplir con el requisito de trabajo de grado; Inició en el mes de Octubre del año 2014, bajo un horario flexible previo acuerdo con la empresa, de lunes a sábado y culminó en el mes de Abril del año 2015.



4.7 RECURSOS UTILIZADOS.

Los recursos utilizados para la realización de esta pasantía fueron los siguientes: El laboratorio y personal de la firma CITEC Ltda Ingeniería y Geotecnia; y a nivel de recursos físicos y financieros se utilizaron los recursos que se presentan en la Tabla 1 que contempla el presupuesto de los valores calculados en base al tiempo estimado de duración de la misma, es decir 7 meses.



Tabla 1. Presupuesto Financiero del Proyecto.

RUBROS	FUENTE			COSTOS TOTALES
	ESTUDIANTE	UNIVERSIDAD	EMPRESA	
Matricula financiera				\$ 279,000
Servicios básicos	\$ 402,000			
Biblioteca y deporte	\$ 80,000			
Recursos computacional	\$ 25,000			
Seguro estudiantil	\$ 13,000			
Descuento trabajo de grado		-\$ 241,000		
Asesores				\$ 3800,000
Asesor Citec			\$ 1800,000	
Asesor Universidad del Cauca		\$ 2000,000		
Manutención				\$ 2220,000
Alimentación			\$ 780,000	
Arriendo	\$ 1440,000			
Transporte				\$ 651,200
Transporte sitios			\$ 260,000	
Transporte a la Empresa			\$ 360,000	
Transporte a la Universidad del Cauca.	\$ 31,200			
Dotacion				\$ 215,000
Botas Seguridad			\$ 45,000	
Tapa oídos a medida			\$ 25,000	
Mascara de Respiración			\$ 90,000	
Casco de Seguridad			\$ 40,000	
Gafas Seguridad			\$ 15,000	
Papelaria e Internet				\$ 510,500
Lapiz portaminas	\$ 3,000			
Lapicero	\$ 5,000			
Memoria USB	\$ 32,000			
Cuadernillo	\$ 7,500			
Impresiones	\$ 250,000			
Fotocopias	\$ 150,000			
Internet	\$ 63,000			
Imprevistos (15% del total de rubros)				\$ 1151,355
TOTAL				\$ 8827,055

Fuente: El Autor.



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

5 GENERALIDADES SOBRE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES DE VIVIENDAS, PUENTES VEHICULARES, MUROS DE CONTENCIÓN Y ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

5.1 PLAZO POR CADA CONSULTORÍA REALIZADA EN ESTE PROYECTO

El plazo estipulado para el desarrollo de los estudios y diseños es de diez (10) días desde la exploración y perforación del lugar donde van a hacer realizada la obra civil.

5.2 POSICIÓN DEL PASANTE

Participación en todas las actividades realizadas tanto en campo como en la oficina de la empresa CITEC Ltda. Las actuaciones correspondieron a las de un auxiliar de ingeniería, en la participación de las consultorías.

5.3 DESCRIPCIÓN DEL OBJETIVO

El objetivo fundamental de las consultorías de estudios geotécnicos es dar las mejores soluciones de cimentaciones para la posterior construcción ya sea de las viviendas unifamiliares, los cerramientos, Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), estructura de pavimentos, etc. En general los estudios y diseños comprenden actividades tales como:

- Visita de conocimiento del terreno y objeto del proyecto.
- Organizar comisión de trabajo y equipo correspondiente para la labor a realizar.
- Ubicar los puntos para la realización de los diferentes tipos de exploración.
- Recuperación de muestras significativas del lugar.
- Hacer los respectivos ensayos en el laboratorio para conocer sus características físicas y mecánicas.



- Presentación y entrega de informe ejecutivo para quien sea el interesado.
- Ingresar datos obtenidos en el campo y resultados del laboratorio.
- Estudiar mejor alternativa y diseñar con ella.
- Entrega del informe pertinente.

5.4 EXPLORACIÓN DE SUELOS

El objetivo de una investigación exploratoria, incluyendo pruebas de campo y laboratorio, es facilitar al ingeniero los datos cuantitativos del suelo a donde se da lugar a la investigación, para proporcionar recomendaciones para la construcción de la obra.

El laboratorio entrega los resultados de cada uno de los estudios a realizarse, es preciso cubrir una etapa previa e imprescindible como es la obtención de las muestras del suelo apropiadas para la realización de las pruebas correspondientes.

Con procedimientos simples y acorde a las normas, se debe procurar adquirir información preliminar suficiente respecto al suelo, que con ayuda de pruebas de clasificación tales como granulometría, plasticidad, humedad, etc, permitan al ingeniero formarse una idea clara de los problemas que se han de esperar en cada caso particular.

Métodos de exploración

Los tipos principales de exploración que se usa la empresa CITEC Ltda para fines de muestreo y conocimiento del subsuelo, en general son los siguientes:

- a) Pozos a cielo abierto con muestreo alterado e inalterado.
- b) Perforaciones con barrenos helicoidales.
- c) Método de penetración estándar (manual y mecánicamente).



- d) Método de penetración a percusión.
- e) Método de perforación por rotación.
- f) Método de penetración cónica.
- g) Método tubo de pared delgada Shelby.

5.4.1 COORDINACIÓN Y SUPERVISIÓN EN EXPLORACIÓN, PERFORACIÓN Y LABORATORIO

Tanto el estudio del sitio donde se proyecta levantar una estructura, como la obtención de muestras, son de gran importancia y deberán hacerse bajo la dirección y constante supervisión de un ingeniero especialista o de un geólogo, en este caso la supervisión por el auxiliar de ingeniería en la empresa CITEC Ltda. El estudio de suelos no debe limitarse al lugar donde estará situada la estructura, sino que debe comprender toda la zona circunvecina. El estudio del sitio debe comprender los principales accidentes naturales del terreno, como ser: quebradas, riachuelos, zonas anegadas, vegetación existente, etc. estos datos son muy valiosos para poder proyectar sistemas de drenaje, prevenir y evitar deslizamientos que pudieran presentarse posteriormente, etc. Así mismo, el conocimiento de las características de la región: si es o no una zona lluviosa, etc.

Hoy en día el estudio del sitio se ha simplificado grandemente pues se cuenta con una información valiosa y detallada proveniente de los levantamientos topográficos que se realizan, de los estudios geológicos. Todos estos datos proporcionan valiosa ayuda al ingeniero o geólogo que está a cargo del estudio de una zona determinada.

Perfil del subsuelo. – Una vez conocidos los perfiles topográficos de la zona y establecida que haya sido la subrasante es conveniente conocer el "perfil del subsuelo", es decir, conocer las clases de material que forman el subsuelo a diferentes profundidades. Un perfil del suelo nos proporciona información valiosa acerca de las clases de material o materiales existentes, situación de las mapas de agua, etc.



Por regla general, deben obtenerse muestras del material tanto en sitios que quedan sobre la subrasante como debajo de ella. Las muestras que se obtengan en los sitios que quedan encima de la subrasante, nos permitirá conocer las clases de material que se usaran en terraplenes y rellenos en general.

Toma de datos de una perforación

- Preliminares

- Reconocimiento geológico y geomorfológico

- Mapa de localización

- Registro de perforación
 - Obra
 - Localización
 - Condiciones climáticas
 - Método de perforación
 - Realizó
 - Supervisó

5.4.1.1 Personal asignado a la ejecución de los ensayos

El laboratorista, denominado generalmente como operador u operario en las presentes normas de ensayo de materiales, es el encargado de realizar los muestreos, ensayos, medidas y cálculos y de reportar los resultados requeridos por el ingeniero para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de las obras de acuerdo con la reglamentación vigente, en relación con la calidad de los materiales empleados, los métodos de ensayo utilizados, los requisitos de diseño y otros aspectos relacionados con los estudios y la ejecución de las obras.



En consecuencia con su responsabilidad, aunque bajo la supervisión del profesional a cargo de los estudios o de la obra, el laboratorista vial deberá conocer y dominar las técnicas de muestreo y ensayo, evaluación e interpretación de los resultados, elaboración y emisión de informes y manejo del personal subalterno. Además, deberá tener conocimiento sobre el manejo de información técnica, el control de calidad, la dosificación de los materiales y demás aspectos del proceso constructivo.

Para demostrar su idoneidad, el laboratorista deberá tener título de geotecnólogo o de técnico en construcción de obras civiles con matrícula que lo respalde si así lo tiene establecido la reglamentación vigente y, además, deberá presentar un documento, expedido por una organización de normalización reconocida o un establecimiento universitario aprobado, donde se certifique que es competente para llevar a cabo los procedimientos propios de los ensayos descritos en la presente versión de las normas de ensayo de materiales. En consecuencia, dicho certificado deberá haber sido expedido con posterioridad a la fecha de adopción de estas normas por el Ministerio de Transporte.

No es la intención del Instituto Nacional de Vías que al individuo le sea certificada su competencia para todos los ensayos incluidos en las presentes normas, sino que demuestre su idoneidad para la ejecución de los ensayos fundamentales en diferentes módulos, que incluyan los ensayos rutinarios en los trabajos relacionados con los estudios, la ejecución y el control de las obras a cargo de la entidad. En este orden de ideas, el laboratorista vial deberá estar obligatoriamente calificado en los módulos que exija el Instituto Nacional de Vías en el pliego de condiciones o en los términos de referencia del respectivo proyecto, entre los siguientes: Suelos, Agregados Pétreos, Concretos, y Mezclas Asfálticas.

5.4.1.2 Seguridad e higiene

Las normas de ensayo de materiales contienen un conjunto de instrucciones para realizar una o más operaciones específicas y no pretenden tratar sobre los eventuales problemas de seguridad asociados con su empleo. Aunque ocasionalmente incluyen previsiones específicas sobre la protección de los operarios, de terceros y de los equipos e instalaciones, no resulta posible incluir en ellas todos los asuntos relacionados con la seguridad. Por lo tanto, es de absoluta



responsabilidad del usuario de cada norma, adoptar las medidas de seguridad e higiene adecuadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones legales, antes de su uso. El Instituto Nacional de Vías no asume responsabilidad alguna por los accidentes y riesgos derivados del uso de las normas incluidas en el manual.

Es política del Instituto Nacional de Vías asegurar que los riesgos de todos los productos, equipos, procedimientos y métodos de ensayo sean debidamente identificados, y que la información relacionada con ellos sea oportuna y debidamente transmitida a los empleados de cada laboratorio, por parte de la persona legalmente responsable del mismo. ¹

¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Especificaciones generales para la construcción de carreteras, 2007 y 2013.



5.5 ESTUDIOS DE SUELOS PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES REALIZADOS DURANTE EL TIEMPO DE LA PASANTÍA

En el periodo comprendido entre los meses de Octubre del año 2014 a Abril del año 2015, participé en la realización de los siguientes estudios de suelos para el cálculo de su respectiva geometría y capacidad de soporte de las mimas:

- Estudio de suelos para la cimentación de puente vehicular en el municipio de Argelia, Cauca.
- Estudio de suelos para la cimentación de la ampliación y remodelación de vivienda unifamiliar en los barrios Pajonal, Palacé, Santa Clara, Popayán, Cauca.
- Estudio de suelos para la cimentación de la construcción de vivienda unifamiliar en la parcelación Los Alpes, Popayán, Cauca.
- Estudio de suelos para la cimentación del cerramiento en las subestaciones energéticas de Occidente de Popayán, El Tambo, Piendamó y El Bordo, Cauca.
- Estudio de suelos para la cimentación del cerramiento del batallón Pichincha, Cali, Valle del Cauca.
- Estudio de suelos para la cimentación de la reparación y remodelación del coliseo municipal de Guapi, Cauca.
- Estudio de suelos para la cimentación de la construcción de un muro de contención en la gallera Mi Palenque del barrio Yanaconas, Popayán, Cauca.
- Estudio de suelos para la cimentación de la construcción de una PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) en la vereda Alto Torres del municipio de Belalcázar, Cauca.



- Estudio de suelos para la cimentación de la construcción de aulas para el servicio educativo del municipio de Oporapa, Huila.
- Estudio de suelos para la cimentación de la construcción de plaza de comercio municipal de Saladoblanco, Huila.

5.5.1 ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

Las cimentaciones superficiales son aquellas en que la profundidad de desplante no exceda dos o tres veces el ancho del cimientto.

Los tipos más frecuentes son las zapatas aisladas, zapatas corridas y las losas de cimentación; tal como se muestra en la fotografía 1 tomada de Civilgeeks que sirve como referencia para observar algunos tipos de estas cimentaciones.

Fotografía1. Cimentaciones superficiales.



Fuente: Civilgeeks.



Normalmente las zapatas aisladas son cuadradas o rectangulares y casi siempre de concreto. El objetivo básico es ampliar el área de apoyo de un elemento estructural para comunicar al terreno esfuerzos a nivel adecuado.

Se entiende por terreno de cimentación la parte de la corteza terrestre en que se apoya la infraestructura de la obra y que es afectada por la misma.

El análisis de capacidad de carga representa un paso importante en la evaluación de la estabilidad y economía de las cimentaciones. Junto con el análisis de asentamientos que se realiza para asegurarse de que la cimentación se comporta en forma satisfactoria, desde un punto de vista tanto estructural como funcional.

Las teorías de capacidad de carga y el análisis de asentamientos son la contribución medular de la mecánica de suelos al problema de las cimentaciones.

Ecuación general utilizada para determinar la capacidad de carga

$$q_u = C * N_C * F_{Cs} * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma * F_{\gamma s} * F_{\gamma d} * F_{\gamma i} \quad (1)$$

Donde:

C = cohesión del suelo

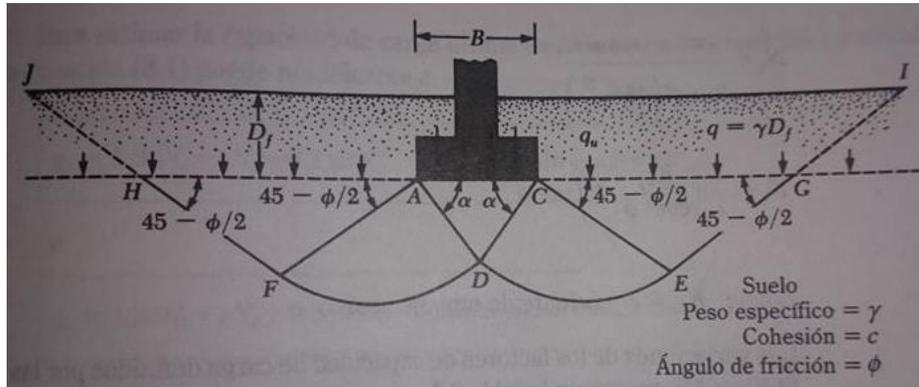
F_{cs}, F_{qs}, F_{γs} = son factores de forma

F_{cd}, F_{qd}, F_{γd} = son factores de profundidad

F_{ci}, F_{qi}, F_{γi} = son factores de inclinación de carga



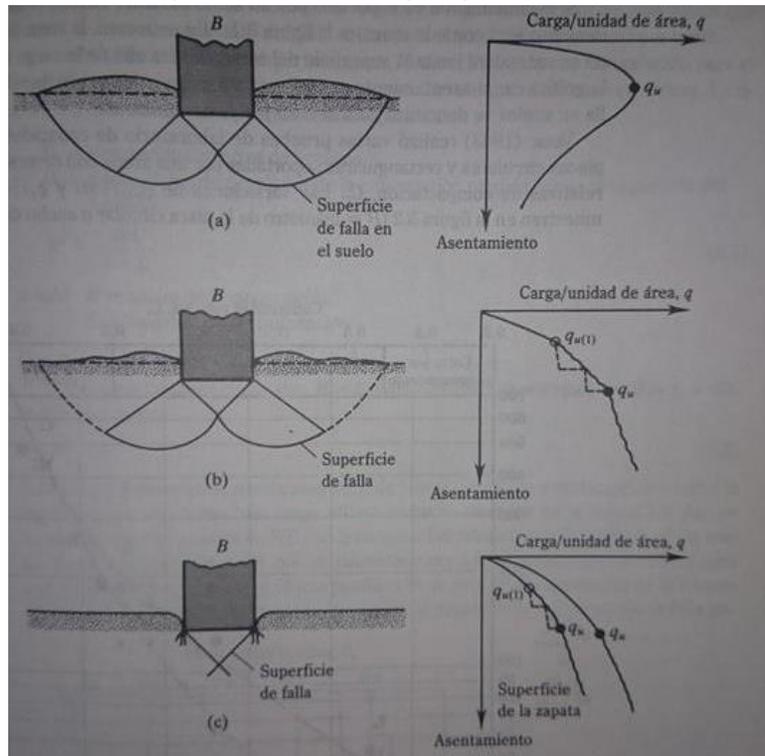
Figura1. Falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación rígida corrida.



Fuente: Principios de ingeniería de cimentaciones. Braja M. Das.

Figura2. Naturaleza de la falla en suelo por capacidad de carga.

- a) Falla general por corte.
- b) Falla local de corte.
- c) Falla de corte por punzonamiento



Fuente: Principios de ingeniería de cimentaciones. Braja M. Das.



En los diferentes proyectos se utilizaron las teorías de Terzaghi, Skempton y Meyerhof para determinar la carga ultima que posee cada suelo en estos lugares explorados.

5.5.1.1 Teoría de Terzaghi:

$$q_u = C * N_c + q * N_q + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma \text{ (cimentación corrida)} \quad (2)$$

Donde:

C = cohesión del suelo

γ = peso específico del suelo

$$q = \gamma * D_f$$

N_c, N_q, N_γ

= factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del ángulo ϕ de fricción del suelo.

Los factores de capacidad de carga N_c, N_q y N_γ se definen mediante las expresiones

$$N_c = \cot \phi * \left[\frac{e^{2 * \left(\frac{3\pi - \phi}{4}\right) * \tan \phi}}{2 * \cos^2\left(\frac{\pi + \phi}{4}\right)} - 1 \right] \quad (3)$$

$$N_q = \frac{e^{2 * \left(\frac{3\pi - \phi}{4}\right) * \tan \phi}}{2 * \cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (4)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} * \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right) * \tan \phi \quad (5)$$



Donde $K_{p\gamma}$ = coeficiente de empuje pasivo.

Para estimar la capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas o circulares, la ecuación se pudo modificar a:

$$q_u = 1.3 * C * N_c + q * N_q + 0.4 * \gamma * B * N_\gamma \text{ (cimentación cuadrada)} \quad (6)$$

$$q_u = 1.3 * C * N_c + q * N_q + 0.3 * \gamma * B * N_\gamma \text{ (cimentación circular)} \quad (7)$$

5.5.1.2 Teoría de Skempton:

$$q_u = C * N_c + \gamma * D_f \quad (8)$$

5.5.1.3 Teoría de Meyerhof:

$$q_u = C * N_c + \gamma * D_f * N'_q \quad (9)$$

5.5.2 CÁLCULOS Y RESULTADOS

Para fines del trabajo y políticas de la empresa CITEC Ltda se plantean algunos de los perfiles de terreno de los lugares donde se hicieron los diferentes estudios de suelos como fueron de unas de las viviendas unifamiliares y también de muros de contención para el diseño de sus respectivas cimentaciones y posteriormente a estos perfiles el cálculo de la capacidad de carga admisible que tiene cada suelo de cimentación; como final las estructuras de pavimentos con los respectivos espesores de cada capa..



5.5.2.1 VIVIENDA UNIFAMILIAR BARRIO PAJONAL

Para determinar la magnitud de la capacidad portante σ_u , en el suelo limo arcilloso (MH) encontrado y su estratigrafía tipo, (Ver Figura 3), se hizo uso de la teoría de *Brown y Meyerhof* que evalúa la capacidad de soporte del suelo cuando debajo del estrato de cimentación se encuentra otro de menor resistencia, y corresponden igualmente a estratos de suelos finos plásticos. La Capacidad portante estará regida por la ecuación $\sigma_u = C_1 * Nm$ y sus unidades serán tn/m².

Donde:

$c_1 = qu/2$ y $Nm = f$ (Profundidad de desplante, ancho, y largo de la cimentación, y de la condición de los suelos comprometidos).

Para efectos prácticos del informe, hemos definido una única área homogénea de diseño y un perfil deducido, donde se detalla la característica del suelo que servirá de cimentación y así determinar la capacidad de soporte para evaluación estructural según el modelo arquitectónico asumido y aprobado para la vivienda del barrio Pajonal.

En consideración a lo anterior, se propone un cálculo tipo para el área homogénea.

$$qu_1 = 1.78 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma h = 1.36 \text{ tn/m}^3$$

$$qu_2 = 0.20 \text{ kg/cm}^2$$

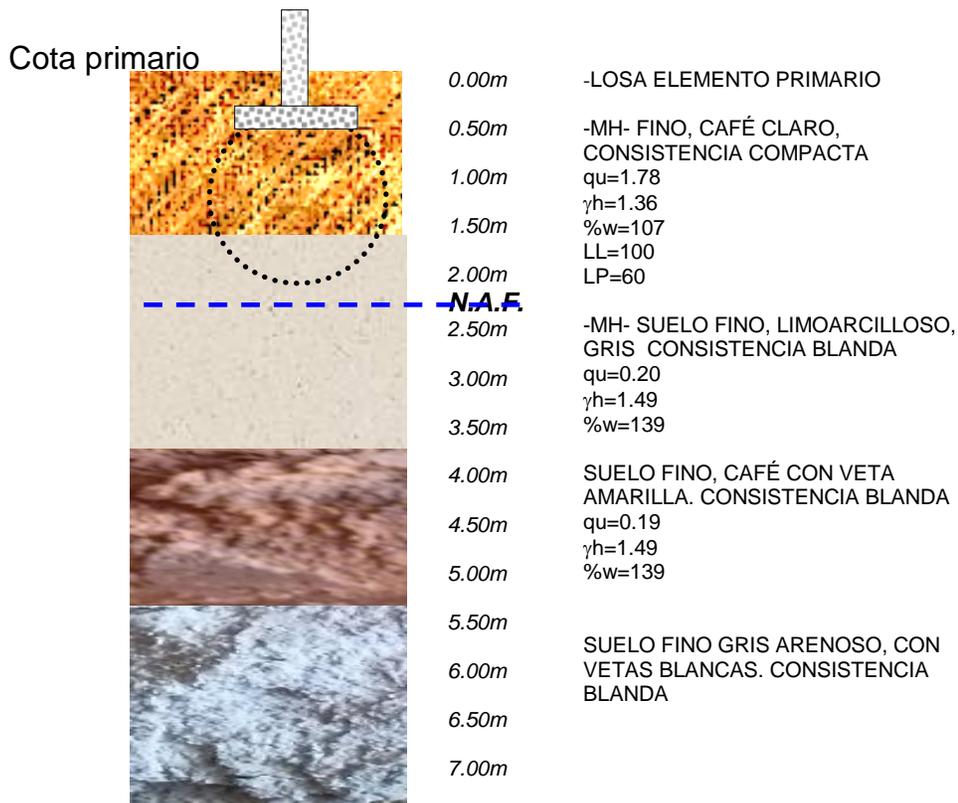
$$\%w = 107$$

Ancho de cimiento considerado: 60cm (zapata corrida tipo T invertida, reforzada)

Profundidad de desplante: 0.50 metros



Figura 3. Perfil estratigráfico tipo vivienda Pajonal.



Fuente: CITEC Ltda.

$$\sigma_u = C_1 * Nm$$

$$C_1 = \frac{qu}{2} = \frac{1.78 \text{ kg}}{2 \text{ cm}^2} = 8.9 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$

$$Nc = 5 * \left(1 + 0.2 * \frac{0.4}{0.6}\right) * \left(1 + 0.2 * \frac{0.6}{L}\right)$$

$$Nc = 5.7$$

$$Nm = \frac{1}{\beta} + \frac{C_2}{C_1} * Nc \leq Nc$$

$$\beta = \frac{B * L}{2 * H * (B + L)}$$

$$\beta = \frac{B}{2 * H} = \frac{0.6}{2 * 1} = 0.30$$



$$\therefore Nm = \frac{1}{0.30} + \frac{0.1}{0.89} * 5.7$$

$$Nm = 3.98 \leq Nc$$

$$\sigma u = 8.9 \frac{tn}{m^2} * 3.98 = 35 \frac{tn}{m^2}$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma u}{3} = \frac{35}{3} = 11 \frac{tn}{m^2}$$

5.5.2.2 VIVIENDA UNIFAMILIAR BARRIO PALACÉ

Para determinar la magnitud de la capacidad portante σu , en el suelo limo arcilloso (MH) encontrado y su estratigrafía tipo, (ver Figura 4), se hizo uso de la teoría de *Brown y Meyerhoff* que evalúa la capacidad de soporte del suelo cuando debajo del estrato de cimentación se encuentra otro de menor resistencia, y corresponden igualmente a estratos de suelos finos plásticos.

La Capacidad portante estará regida por la ecuación $\sigma u = C1 * Nm$ y sus unidades serán tn/m^2 .

Donde:

$$c_1 = qu/2$$

$Nm = f$ (Profundidad de desplante, ancho, y largo de la cimentación, y de la condición de los suelos comprometidos).

Para efectos prácticos del informe, hemos definido una única área homogénea de diseño y un perfil deducido, donde se detalla la característica del suelo que servirá de cimentación y así determinar la capacidad de soporte para evaluación estructural según el modelo arquitectónico asumido y aprobado para la vivienda del barrio Palacé.

En consideración a lo anterior, se propone un cálculo tipo para el área homogénea.

$$qu_1 = 0.96 \text{ kg/cm}^2$$



$$\gamma h = 1.97 \text{ tn/m}^3$$

$$q_{u2} = 0.66 \text{ kg/cm}^2$$

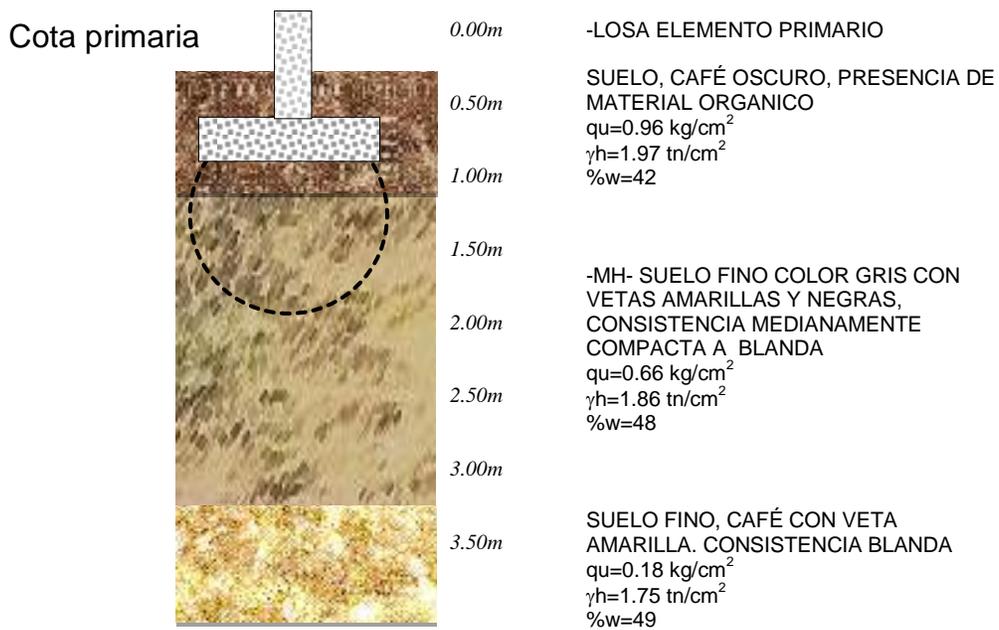
$$\%w = 42$$

Ancho de cimiento considerado: 60cm (zapata corrida tipo T invertida, reforzada)

Profundidad de desplante: 0.50 metros

No se detecta el nivel de aguas freáticas hasta el final de la perforación

Figura 4. Perfil estratigráfico tipo vivienda Palacé.



Fuente: CITEC Ltda.



$$\sigma u = C_1 * Nm$$

$$C_1 = \frac{qu}{2} = \frac{0.96 \text{ kg}}{2 \text{ cm}^2} = 5.0 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$

$$Nc = 5 * \left(1 + 0.2 * \frac{0.5}{0.6}\right) * \left(1 + 0.2 * \frac{0.6}{L}\right)$$

$$Nc = 5.8$$

$$Nm = \frac{1}{\beta} + \frac{C_2}{C_1} * Nc \leq Nc$$

$$\beta = \frac{B * L}{2 * H * (B + L)}$$

$$\beta = \frac{B}{2 * H} = \frac{0.6}{2 * 0.5} = 0.60$$

$$\therefore Nm = \frac{1}{0.60} + \frac{0.33}{0.5} * 5.8$$

$$Nm = 5.49 \leq Nc$$

$$\sigma u = 5.0 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2} * 5.49 = 27 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma u}{3} = \frac{27}{3} = 9.2 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$



5.5.2.3 MURO DE CONTENCIÓN

Para determinar la magnitud de la capacidad portante σ_u , en el suelo limo arcilloso (MH) encontrado y su estratigrafía tipo (Ver Figura 5), se hizo uso de la teoría de *Skempton* que evalúa la capacidad de soporte del suelo cuando el estrato tiene un espesor muy grande, y corresponden igualmente a estratos de suelos finos plásticos.

La Capacidad portante estará regida por la ecuación $\sigma_u = C \cdot N_c$ y sus unidades serán tn/m^2 . Donde:

$C = qu/2$ y $N_c = f$ (Profundidad de desplante, ancho, y largo de la cimentación, y de la condición de los suelos comprometidos).

Para efectos prácticos del informe, hemos definido una única área homogénea de diseño y un perfil deducido, donde se detalla la característica del suelo y así determinar la capacidad de soporte para evaluación estructural del muro para garantizar la seguridad, de acuerdo a los diseños propuestos por el diseñador estructural de este proyecto.

En consideración a lo anterior, se propone un cálculo tipo para el área homogénea.

$$qu = 0.68 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$\gamma h = 1.50 \text{ tn}/\text{m}^3$$

$$\%w = 100$$

Tipo del cimiento: muro corrido

Profundidad de cimiento: 3.00 metros

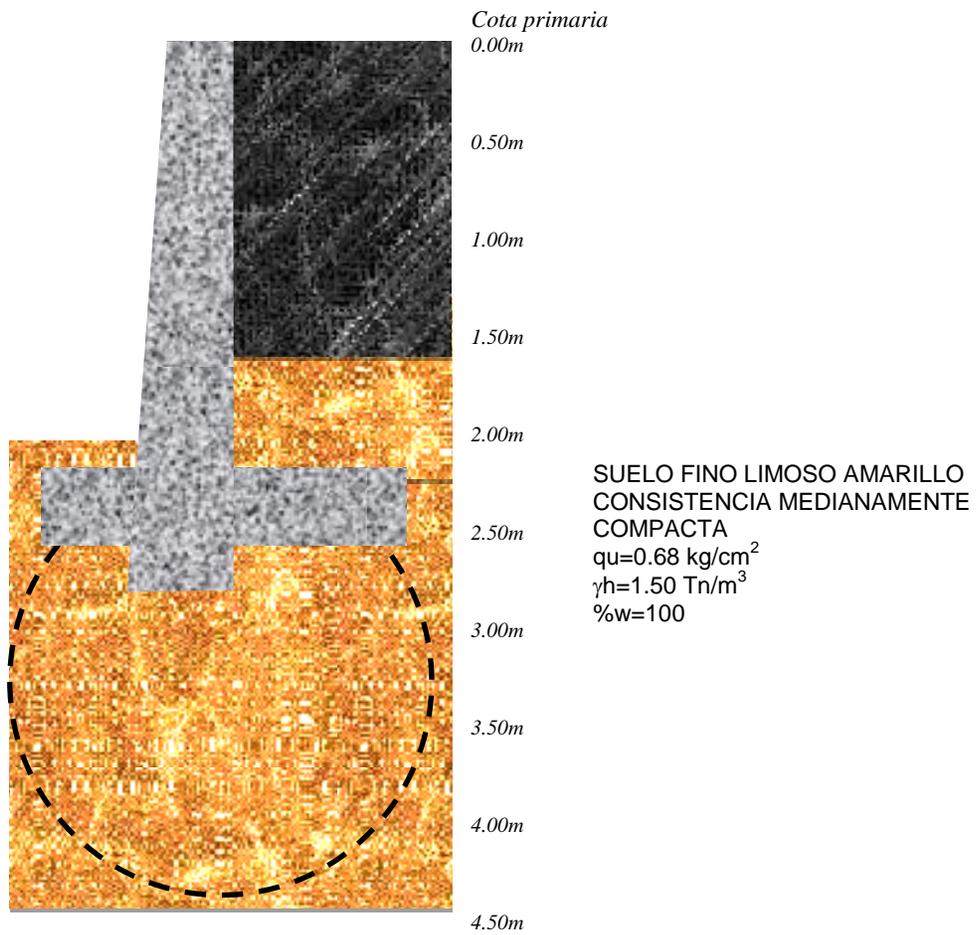
Profundidad de desplante: 1.50 metros, sobre el suelo donde va a ir cimentada la estructura.

No se detecta el nivel de aguas freáticas hasta el final de la perforación

El sistema de exploración por el método de sondeos, se efectuó con equipo de perforación a percusión y de penetración estándar (SPT), encontrando el valor de $\phi = 29^\circ$.



Figura 5. Perfil estratigráfico tipo muro de contención.



Fuente: CITEC Ltda.



$$\sigma_u = C * N_c$$

$$C = \frac{qu}{2} = \frac{0.68 \text{ kg}}{2 \text{ cm}^2} = 3.40 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$

$$N_c = 5 * \left(1 + 0.2 * \frac{Df}{B}\right) * \left(1 + 0.2 * \frac{B}{L}\right)$$

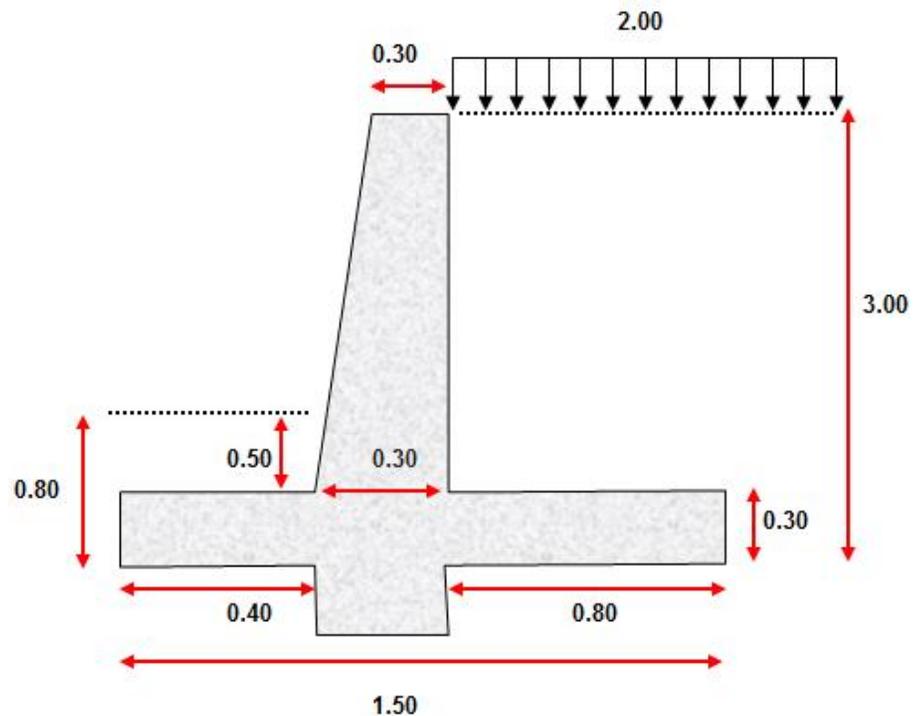
$$N_c = 5 * \left(1 + 0.2 * \frac{1.50}{1.50}\right) * \left(1 + 0.2 * \frac{1.50}{50}\right)$$

$$N_c = 6.00$$

$$\sigma_u = 3.4 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2} * 6.00 = 20.4 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{3} = \frac{20.4}{3} = 6.8 \frac{\text{tn}}{\text{m}^2}$$

Figura 6. Perfil tipo muro de contención.



Fuente: CITEC Ltda.



$$\phi = 29^\circ$$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$K_a = \text{presión activa}$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{29}{2}\right)$$

$$K_a = 0.35$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$K_p = \text{presión pasiva}$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{29}{2}\right)$$

$$K_p = 2.88$$



5.5.2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP), BELÁLCAZAR, CAUCA

Para la evaluar la capacidad de soporte del suelo de fundación nos basamos en la teoría de *Terzaghi* que define de manera acertada la capacidad portante del suelo, cuando este es de índole friccionante y/o cohesivo friccionante. De esta manera y con base a la prueba de penetración estándar y al entorno del sitio, la capacidad portante del suelo de cimentación es de 9.5 tn/m^2 tal como se describe a continuación:

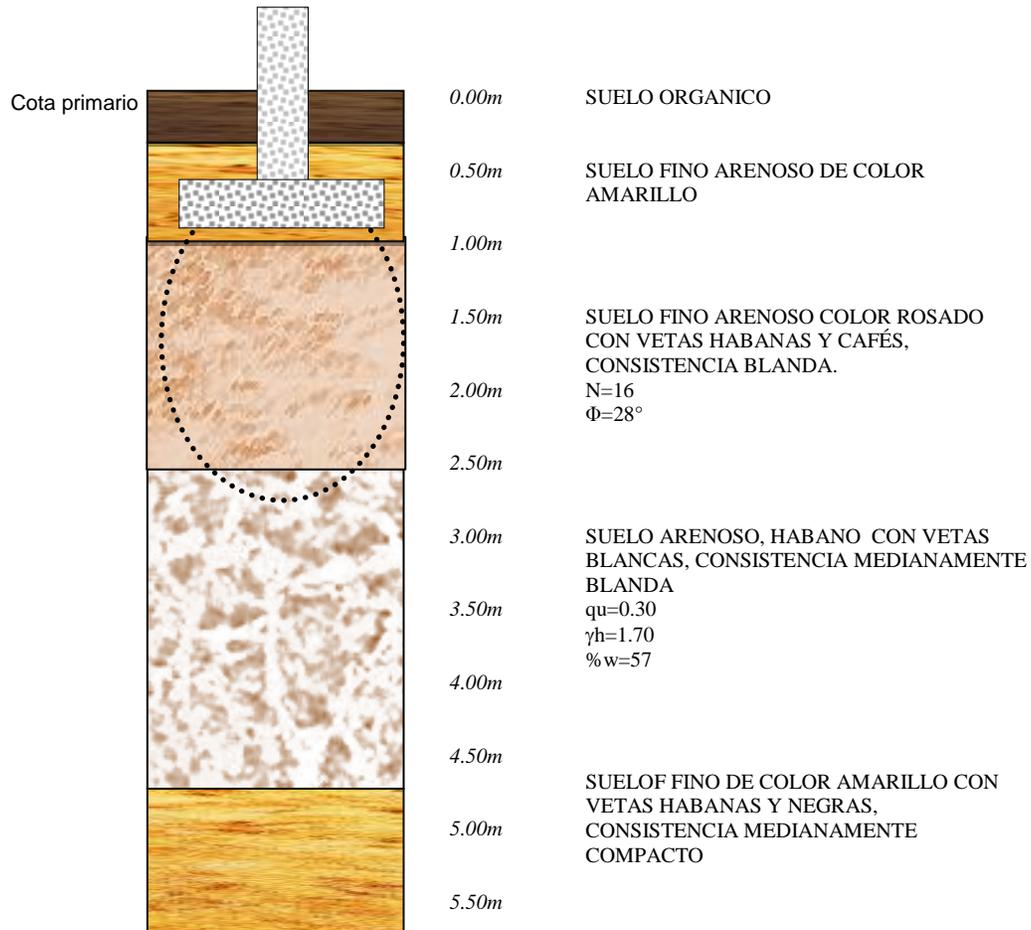
El sistema de exploración por el método de sondeos, se efectuó con equipo de perforación a percusión y de penetración estándar (SPT), obteniendo un valor de $\phi=28^\circ$.

Ancho de cimiento considerado: 2.00 metros

Profundidad de desplante: 2.00 metros



Figura 7. Perfil estratigráfico tipo planta de tratamiento, Belálcazar, Cauca.



Fuente: CITEC Ltda.



$$N = 16$$

$$\phi = 28^\circ$$

$$\sigma_u = 0.5 * \gamma * B * N_\gamma$$

$$\gamma = 1.74 \frac{tn}{m^3}$$

$$N_\gamma = 16.72$$

$$\sigma_u = 0.5 * 1.74 * 2 * 16.72$$

$$\sigma_u = 29.0 \frac{tn}{m^2}$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{3} = \frac{29.0}{3} = 9.5 \frac{tn}{m^2}$$

5.5.3 CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

Todas las teorías de capacidad de carga mencionadas anteriormente corresponden a valores en la falla, es decir, a valores tales que si esos esfuerzos fueran comunicados por el cimiento al suelo presentarían fallas. Por lo tanto no son estos los valores que se asignan en la práctica a cimentaciones reales; nace así el concepto de capacidad de carga admisible o de trabajo con la que habrá de diseñarse la cimentación.

Esta capacidad será siempre menor que la de falla y deberá quedar lo suficientemente lejos de ella como para dar los márgenes de seguridad necesarios, que cubran todas las incertidumbres referentes las propiedades de los suelos y a su determinación, a la variabilidad de la magnitud de las cargas actuante, a las teorías y a sus hipótesis en las que están basadas y a los problemas y desviaciones de la construcción.

En la práctica se ha generalizado la costumbre de expresar la capacidad de carga admisible como una fracción a la de falla, obtenida dividiendo ésta entre un número mayor que 1 al que se denomina factor de seguridad y éste está con un



mínimo de seguridad de 3 a 4 por capacidad de carga última neta o bruta. Para el desarrollo del trabajo prestado en la pasantía y en este proyecto se tomó un factor de seguridad **F.S** igual a **3**.²

El cálculo de la capacidad de carga bruta admisible de cimentaciones superficiales:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F.S} \quad (10)$$

² Braja M. Das, “Principios de ingeniería de cimentaciones”, Cuarta Edición.



5.6 ESTUDIOS DE SUELOS PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO REALIZADOS DURANTE EL TIEMPO DE LA PASANTÍA

En este campo participé en la realización del estudio geotécnico para el diseño de la estructura del pavimento de las siguientes vías:

- Estructura de pavimento de las vías Cajapí y El Descolgadero del municipio de Tumaco, Nariño.

5.6.1 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

De la calidad de la subrasante depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito.

Como se muestra en la fotografía 2 tomada de Flickr que sirve como referencia para observar una subrasante con un suelo fino de color café claro.

Fotografía2. Subrasante.



Fuente: Flickr.



En la empresa CITEC Ltda normalmente en las etapas de exploración, muestreo y análisis realizados en el laboratorio, normalmente para determinar las propiedades físicas y características mecánicas de los suelos en relación con la estabilidad y capacidad de soporte de la subrasante, para posterior realizar el diseño de un pavimento:

- a) Determinación del perfil de suelos.
- b) Muestreo de las diferentes capas de suelos.
- c) Determinación del contenido de humedad.
- d) Análisis granulométrico.
- e) Determinación del límite plástico de los suelos.
- f) Determinación del límite líquido de los suelos.
- g) Peso específico.
- h) Ensayos de compactación de suelo.
- i) Determinación de la densidad del suelo en el terreno.
- j) Determinación de la resistencia de los suelos:
 - Los ensayos de resistencia más usados por la firma CITEC Ltda son el CBR (de laboratorio y campo) y los ensayos de carga sobre una placa.



5.6.2 CÁLCULOS Y RESULTADOS

5.6.2.1 PAVIMENTO ARTICULADO Y RÍGIDO, SECTORES DEL MUNICIPIO DE TUMACO, NARIÑO

- **Subrasante**

La capacidad de soporte se evalúa con base en la información sustraída de los resultados de laboratorio y que para efectos del diseño se nombró como unidad homogénea de diseño N°1, apiques N° 1, 2,....., 8. (Ver Tabla 2).

De esta manera se presenta la información geotécnica registrada en el estudio principal de diseño de pavimentos.

Tabla 2. Valores de CBR encontrados en el tramo.

TRAMO 1					
APIQUE	PROF M	TIPO	ABSCISA PR	CBR	% W
1	0.35	I	K 0+530 D	7.00%	37
2	.38	I	K2+200	4.40%	47
3	0.50	I	K 3+100 I	6.00%	30
4	0.34	I	K4+050D	5.20%	38
5	0.45	I	K 5+000 I	7.00%	30
6	0.42	I	K6+200I	4.80%	73
7	0.40	I	K6+500	4.40%	68
8	0.40	I	K 7+000	4.00%	83

Fuente: CITEC Ltda.



- Tránsito

Tabla 3. Transito total año a año del sector en estudio

AÑO	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TPD
2014	12	1	6	1	2	2	3	27
2015	12	1	6	1	13	2	3	38
2016	12	1	6	1	2	2	3	28
2017	13	1	6	1	2	2	3	29
2018	13	1	6	1	2	2	3	29
2019	13	1	7	1	2	2	3	30
2020	13	1	7	1	2	2	3	30
2021	14	1	7	1	2	2	3	31
2022	14	1	7	1	2	2	4	31
2023	14	1	7	1	2	2	4	32
2024	15	1	7	1	2	2	4	33
2025	15	1	7	1	2	2	4	33
2026	15	1	8	1	2	3	4	34
2027	15	1	8	1	2	3	4	35
2028	16	1	8	1	3	3	4	35
2029	16	1	8	1	3	3	4	36
2030	16	1	8	1	3	3	4	37
2031	17	1	8	1	3	3	4	37
2032	17	1	8	1	3	3	4	38
2033	17	1	9	1	3	3	4	39
2034	18	1	9	1	3	3	4	40
	308	26	154	26	60	51	77	702
Nº DE DIAS	365	365	365	365	365	365	365	365
20AÑOS	112339	9362	56170	9362	22070	18723	28085	256110
%	43.86	3.66	21.93	3.66	8.62	7.31	10.97	

Fuente: CITEC Ltda.

Cargas máximas vehiculares consideradas para el diseño del pavimento

Para determinar las magnitudes de carga por eje, los cuales constituyen un parámetro fundamental para la realización del diseño del pavimento, se cuenta con la siguiente distribución de cargas por eje para los diferentes tipos de vehículos, de acuerdo con las últimas reglamentaciones de peso bruto vehicular máximo autorizadas por el Ministerio de Transporte. En la Tabla 4 se detalla las cargas máximas y su distribución por eje.



Tabla 4. Cargas máximas vehiculares y distribución de cargas en cada eje

CARGAS MAXIMAS VEHICULARES Y DISTRIBUCION DE CARGAS EN CADA EJE				
TIPO DE VEHICULO	PESO BRUTO MAX (tn)	CARGA (tn)		
		EJE DELANTERO	EJE TRASERO	EJE REMOLQUE
BUS	10	4	6	
CAMION C2 PEQUENO	8.5	2.5	6	
CAMION C2 GRANDE	16	6	10	
CAMION C3	28	6	22 TANDEM	
CAMION C5	48	7	20.5 TANDEM	20.5 TANDEM
CAMION C6	52	7	21 TANDEM	24 TRIDEM

Fuente: CITEC Ltda.

Espectro de cargas para el diseño

Ahora teniendo en cuenta el número total de vehículos por cada categoría y su distribución de cargas por eje, se deduce el siguiente espectro de cargas para el diseño del pavimento rígido. En la Tabla 5 se detalla el espectro de carga encontrado en el sector.

Tabla 5. Tránsito general para diseño de pavimento.

TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (tn)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS	F.C.	EJES EQUIVALENTES DE 8,2
SIMPLE RUEDA SIMPLE	2.5	39319	0.02	786
	4	6553	0.13	852
	6	22002	0.68	14962
	7	32766	1.27	41612
TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (tn)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS	F.C.	REPETICION
SIMPLE RUEDA DOBLE	6	45872	0.31	14220
	10	6553	2.86	18742
TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (tn)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS	F.C.	REPETICION
TANDEM	20.5	26212	3.49	91482
	21	19659	3.84	75492
	22	15449	4.85	74929
TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (tn)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS	F.C.	REPETICION
TRIDEM	24	19659	6.37	125230
				458307
				500000

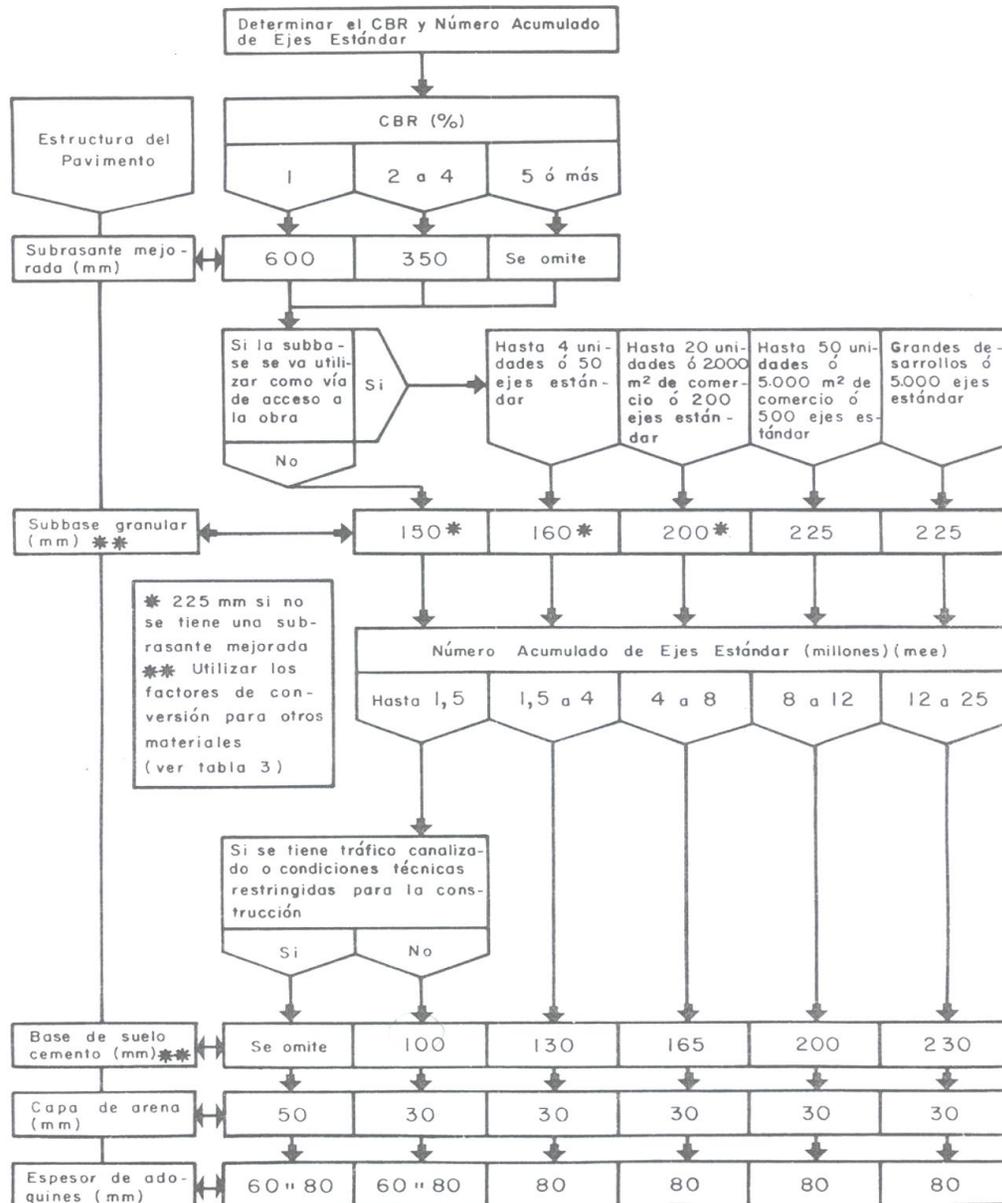
Fuente: CITEC Ltda.



Diseño de pavimento articulado para el sector

Para obtener los espesores requeridos de la estructura se aplicó la metodología del “Seminario Internacional sobre Pavimentos de Aadoquines de Concreto” de John Knapton, la cual se ilustra y resume en la Figura 7 de este documento.

Figura 8. Ábaco de diseño para estructuras en adoquín.



Fuente: CITEC Ltda.



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Resistencia de la subrasante para el sector

La resistencia de diseño para este sector en particular, se ha estimado en un 4.0% de CBR. En el evento de que exista áreas con CBR menores al 4.0%, se recomienda realizar un remplazo de mínimo 40cm usando para tal fin un suelo que tenga como mínimo una resistencia CBR del 6.0% y que cumpla con los mínimos requisitos exigidos para materiales adecuados para corona de terraplén del artículo 220 el Instituto Nacional de Vías, esto debido a que la resistencia CBR de la subrasante es muy baja (menor al 4%) y su capacidad portante no es suficiente para soportar las solicitaciones requeridas.

5.6.2.2 PAVIMENTO ARTICULADO

- Para la determinación de espesores de las capas que conformará la estructura de pavimento articulado, partiendo del hecho y con estudios realizados por la Cement Concrete Association (Reino Unido), el comportamiento de una estructura de este tipo, es similar a un pavimento flexible.

- $TA = (BG / 2) + CA$

$$TA = (16.5cm/2) + 12cm = 21 cm$$

- $(BG' / 2) = TA - 16$

$$BG' = (21 - 16cm) * 2 = 10.0cm. \text{ usar } 16.0 cm$$

- *TA: Valor Integral de la estructura en términos de concreto asfáltico*
- *CA: Espesor de la carpeta asfáltica*
- *BG: Espesor de la base granular necesario en pavimento flexible*
- *BG': Espesor de la base granular necesario en pavimento articulado*

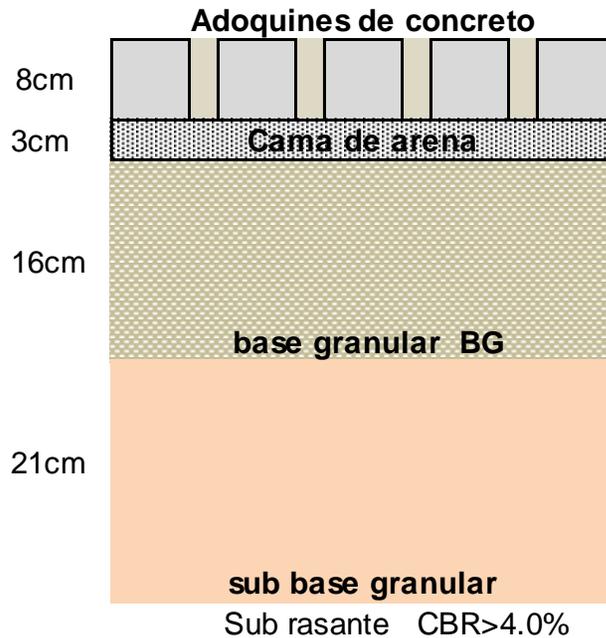
Para la base granular plena se recomienda un espesor mínimo de 16cm; este espesor se hace más práctico y da mejores resultados en el proceso de



colocación y densificación. Si se usa sub base como formadora de una parte de la estructura, se hace la equivalencia de una parte de base granular por su equivalente en subbase granular.

A continuación se muestra la sección de la estructura de pavimento articulado propuesta. (Ver Figura 8)

Figura 9. Sección de la estructura de pavimento articulado propuesta para la vía.



Fuente: CITEC Ltda.



5.6.2.3 DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO

La modelación de este tipo de estructuras se hará con el método de la PCA. El método PCA, tiene como base el conocimiento de varias teorías de pavimentos como Westergaard, Picket y Ray así como de elementos finitos.

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y la fatiga del pavimento de concreto.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas. El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

Una ventaja que se debe reconocer en el método del PCA es que toma el tráfico real que estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo Ejes Sencillos Equivalentes.

- **Espesor inicial del pavimento**

Se realizó una estimación del espesor mínimo de la placa de concreto que va desde 17 cm hasta 21 cm para esta única unidad homogénea y con base en ello se sensibilizó el espesor para un módulo de rotura de 4.0 MPa, encontrando que se tiene una buena eficiencia para espesores entre 19 y 21 cm.

- **Con subbase granular**

Con el 4.0% del CBR que tenemos es necesario reforzarlo mediante la inclusión de un material de mejoramiento como mínimo o la implementación de UNA MALLA BIAXIAL DE PAVCO LBO202, se encontró que con el mejoramiento de entre 15 y 20 cm, el K de la subrasante es de 23 MPa/m. si se considera en la modelación una subbase granular de 20cm, el K del conjunto será de 33MPa/m.



En la Tabla 6. se evidencia los valores de dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido:

Tabla 6. Resultados modulación con MR 4.00 sin bermas.

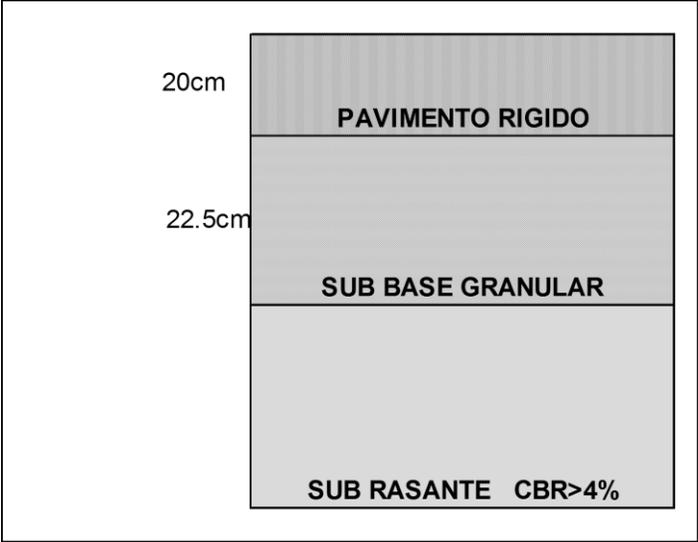
MODELACION N°	1
CODIGO MODELACION	22.5-20-4.0
DETALLE	MARCA
CBR DE DISEÑO	4%
SUB-BASE GRANULAR ESPESOR EN cm	22.5
GEOMALLA PAVCO ref. LBO 202	NO
MEJORAMIENTO	SI
MODULO DE ROTURA MR DEL CONCRETO EN Mpa	4.0
K DE LA SUBRASANTE EN MPa	30
K DE APOYO O DE CONJUNTO EN MPa	48.5
TRANSITO TIPO	TOTAL
DISTRIBUCION DIRECCIONAL DEL TRANSITO	70%
ESPESOR DE LOSA EN cm	20
BERMAS	NO
PASADORES	SI
FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA	1.1
CONSUMO DE FATIGA EN %	33.9
CONSUMO DE EROSIÓN EN %	11.1
APROBACION	SI

Fuente: CITEC Ltda.



A continuación se muestra la sección de la estructura de pavimento articulado propuesta. (Ver Figura 9)

Figura 10. Modelo de estructura en pavimento rígido



Fuente: CITEC Ltda.



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Durante el desarrollo de la pasantía pude evidenciar la importancia de la realización de los estudios cuando se hace un acompañamiento en la etapa constructiva de estos proyectos para lograr una adecuada ejecución y obtener mayores beneficios tanto para el proyecto como para los clientes que solicitan los estudios.
- En la exploración de suelos se recomienda buscar la colaboración en mayor frecuencia de otras ciencias afines, como la geología que pueden proveer información importante de carácter general.
- En el proceso de la pasantía en la empresa CITEC Ltda pude aplicar mis conocimientos de las asignaturas de mecánica de suelos y de fundaciones en los estudios sobre cimentaciones superficiales, tales como las zapatas individuales, combinadas y losas de cimentación, con estos conocimientos realicé los proyectos que me fueron asignados durante el tiempo de esta práctica profesional, estos conceptos fueron aprendidos en el transcurso académico de pregrado en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.
- En el tiempo de la pasantía tuve que aplicar software específico desarrollado para el dimensionamiento de estructuras de pavimentos, estos programas BS – PCA y DEPAV desarrollados en la Universidad del Cauca, son fáciles de entender, aplicar y de gran utilidad para el análisis y dimensionamiento de estructuras de pavimentos.
- Se recomienda que antes de cambiar cualquier diseño, método o herramienta, estos no pierdan el verdadero objetivo y tener una economía en los casos, si quien solicita los estudios lo requiere y con ello realizar un completo tratamiento a conciencia tal como lo pude comprobar con los estudios realizados en la empresa CITEC Ltda.
- La empresa CITEC Ltda busca garantizar para cada estudio realizado el buen uso y manejo de las normas exigidas para estos estudios y permite solucionar en el menor tiempo posible algunas consultas técnicas, asesorando a las



personas, contribuyendo en su formación práctica profesional con la finalidad de no tener consecuencias en el futuro comportamiento de las obras.

- La pasantía realizada en CITEC Ltda fue un apoyo y experiencia muy grande para complementar mi formación profesional, porque pude afianzar muchos de mis conocimientos obtenidos en el transcurso del proceso académico en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, al poder aplicar los conceptos geotécnicos en los estudios de cimentaciones y de pavimentos en los proyectos que me fueron encomendados durante el tiempo de la pasantía.
- Considero importante fomentar y apoyar la participación de estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil para que participen como requisito de trabajo de grado en la realización de pasantías o prácticas profesionales, porque permiten tener una mejor visión y aplicación de los conceptos teóricos aprendidos durante la formación académica, enfrentándose a situaciones reales en las cuales se comienza a aplicar el ejercicio de la ingeniería civil.



7 BIBLIOGRAFÍA

Textos guías para la realización de los informes y diseños anteriormente mencionados, con ellos también realizar el presente proyecto:

1. Alfonso Rico R. – Hermilo Del Castillo, “La ingeniería de suelos en las vías terrestres” Vol. 1, Carreteras, ferrocarriles y aeropistas.
2. George B. Sowers y George F. Sowers, “Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones”.
3. Karl Terzaghi – Ralph B. Peck, “Mecánica de suelos en la ingeniería práctica”, Segunda Edición.
4. Braja M. Das, “Principios de ingeniería de cimentaciones”, Cuarta Edición.
5. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, ICPC.
6. Alfonso Montejo Fonseca, “Ingeniería de pavimentos para carreteras”, Segunda Edición.
7. Rico del Castillo, “La ingeniería de suelos en las vías terrestres; Carreteras, ferrocarriles y aeropistas”, Volumen 1.
8. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, Especificaciones generales para la construcción de carreteras, 2007 y 2013.
9. The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).



8 ANEXOS

