

Diseño de una ficha de control para el análisis de un estudio de suelos en la construcción de puentes vehiculares según la norma CCP-14 en Colombia.

Lina Mercedes Sánchez Castillo

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Interventoría y Supervisión de la Construcción

Director

Eder Alfredo García Sánchez

MSc. Calidad de la Construcción y control de la Edificación.

Esp. Mecánica de suelos y cimentaciones.

**Universidad Santo Tomás,
Bucaramanga División de Ingenierías
y Arquitectura Facultad de
Arquitectura**

2021

Dedicatoria

A Dios.

A mis padres Ana y Nelson quienes con su amor, paciencia me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy.

Agradecimientos

Al Arquitecto Eder Alfredo García Sánchez, docente de la Universidad Santo Tomás, tutor de esta monografía, por su aporte de conocimientos y experiencia para la consolidación de este trabajo.

Contenido

Introducción	12
1. Diseño de una ficha de control para el análisis de un estudio de suelos en la construcción de puentes vehiculares según la norma CCP-14 en Colombia.	13
1.1 Objetivos	13
<i>1.1.1 Objetivo General</i>	13
<i>1.1.2 Objetivo Específicos</i>	13
2. Marco Referencial	14
2.1 Marco Teórico	14
<i>2.1.1 Norma colombiana de diseño de puentes – LRFD – CCP 14</i>	17
<i>2.1.2 Sección 10 - Cimentaciones</i>	18
<i>2.1.3 Localización del puente</i>	18
<i>2.1.4 Elementos básicos del proyecto a realizar</i>	18
<i>2.1.5 Información Geológica</i>	19
<i>2.1.6 Información Geofísica</i>	20
<i>2.1.7 Información hidrológica e hidráulica</i>	20
<i>2.1.8 Exploración y muestreo</i>	21
<i>2.1.9 Métodos de Exploración Directos</i>	26
<i>2.1.10 Ensayos de Laboratorio</i>	31
<i>2.1.11 Caracterización del suelo</i>	39
<i>2.1.12 Tipos de Cimentación</i>	41
<i>2.1.13 Análisis Geotécnico</i>	43

2.1.14	<i>Parámetros de deformación a partir de la prueba SPT</i>	48
2.2	Marco Conceptual.....	48
2.3	Marco legal.....	51
3.	Metodología	53
4.	Resultados	54
4.1	Requerimientos exigidos en la LRDF-CCP14 y NSR 10.....	54
4.1.1	<i>Condiciones Mínimas que debe tener un estudio de suelos para puentes vehiculares</i>	55
4.1.2	<i>Informes</i>	55
4.1.3	<i>Planos</i>	57
4.1.4	<i>Formatos</i>	58
4.2	Ficha de control	63
4.2.1	<i>Índice de Criticidad</i>	64
4.3	Aplicación ficha de control.....	86
5.	Conclusiones	94
	Referencias.....	96
	Apéndices	98

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Programa de exploración</i>	22
Tabla 2. <i>Lineamientos generales para definir la profundidad y número de exploraciones</i>	22
Tabla 3. <i>Pruebas índice en suelos y normas de referencia</i>	32
Tabla 4. <i>Correlación de $(N_1)_{60}$ con Φ'</i>	46
Tabla 5. <i>Puntos de Mayor Riesgo y Fallos frecuentes</i>	50
Tabla 6. <i>Índice de Impacto</i>	50
Tabla 7. <i>Índice de Probabilidad</i>	50
Tabla 8. <i>Criterio de Aceptación o Rechazo</i>	51
Tabla 9. <i>Desarrollo de la metodología</i>	53
Tabla 10. <i>Lista de Chequeo Estudio Geotécnico para Puentes</i>	59
Tabla 11. <i>Nivel de criticidad</i>	64
Tabla 12. <i>Puntos de Mayor Riesgo y Fallos frecuentes</i>	65
Tabla 13. <i>Valorización de Riesgos</i>	78
Tabla 14. <i>Criterios técnicos de aceptación y rechazo</i>	79
Tabla 15. <i>Lista de Chequeo Estudio de Suelos Socotá</i>	86

Lista de figuras

Figura 1. <i>Información Geológica</i>	20
Figura 2. <i>Exploración para cimentaciones.</i>	21
Figura 3. <i>Número de sondeos para estudios de suelos en puentes</i>	25
Figura 4. <i>Profundidad de sondeos para un estudio de suelos en puentes</i>	26
Figura 5. <i>Pruebas de laboratorio</i>	32
Figura 6. <i>Relaciones prueba SPT y parámetros geotécnicos</i>	45
Figura 7. <i>Índice de Criticidad</i>	78

Lista de apéndices

Apéndice A. <i>Informe geotécnico.</i>	98
Apéndice B. <i>Informe de laboratorio</i>	98
Apéndice C. <i>Informe geológico</i>	98
Apéndice D. <i>Memoria estructural</i>	98
Apéndice E. <i>Informe hidrológico</i>	98

Resumen

Los estudios geotécnicos se han establecido como una parte fundamental y de vital importancia en la ejecución de los proyectos de ingeniería civil, debido a que estos representan un conjunto de actividades que permiten obtener la información más aproximada de las condiciones, características, y propiedades que posee el suelo, además, de contemplar los análisis y recomendaciones necesarias para el diseño y posterior construcción del sistema de cimentación más adecuado para la edificación proyectada. Por tal motivo se pretende desarrollar una herramienta metodológica mediante una ficha de control, que permita analizar un estudio de suelos en la construcción de puentes vehiculares.

Para cumplir con el propósito de esta monografía se realizará un análisis de la norma Colombiana de diseño de Puentes LRDF - CCP14 sección 10 “Cimentaciones” del INVIAS y del título H “Estudios Geotécnicos” de la Norma Sismo resistente NSR - 10 en lo que refiere al estudio de suelos en puentes. En segunda instancia con base en el análisis de la normatividad se realizara una matriz de riesgo donde se jerarquizar las condiciones que debe tener un estudio de suelos y con ello generar una ficha de control.

Se finaliza con la aplicación de la ficha de control para el estudio de suelos del contrato de obra denominado “*Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá*”, se identifican fallos, se concluye y se fijan recomendaciones.

Palabras Clave: ficha de control, estudio de suelos, CCP-14, NSR-10, puente.

Abstract

Geotechnical studies have been established as a fundamental and vital part in the execution of civil engineering projects, because they represent a set of activities that allow obtaining the most approximate information on the conditions, characteristics, and properties that it possesses. the soil, in addition, to contemplate the analysis and recommendations necessary for the design and subsequent construction of the most suitable foundation system for the projected building. For this reason, it is intended to develop a methodological tool through a control sheet, which allows analyzing a study of soils in the construction of vehicular bridges.

To comply with the purpose of this monograph, an analysis of the Colombian standard for bridge design LRDF - CCP14 section 10 "Foundations" of INVIAS and title H "Geotechnical Studies" of the NSR - 10 earthquake resistant standard will be carried out. To the study of soils in bridges. In the second instance, based on the analysis of the regulations, a risk matrix will be made where the conditions that a soil study must have will be ranked and thereby generate a control sheet.

It ends with the application of the control sheet for the soil study of the work contract called "Construction of a bridge on the Socotá - Los Pinos road over the San Pedro creek of the Municipality of Socotá - Boyacá", failures are identified, concludes and recommendations are made.

Key Words: control sheet, soil study, CCP-14, NSR-10, bridge.

Glosario

CCP -14: norma colombiana de diseño de puentes con la cual se actualiza después de 18 años el código colombiano de diseño sísmico de puentes (CCP 95). La norma está basada en las especificaciones americanas ‘AASHTO LRFD’ 6ª edición, que a su vez se apoya en la filosofía LRFD (factores de diseño de carga y resistencia), acorde con las prácticas actuales de diseño y construcción de estructuras de la mayoría de los países del mundo (Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS, 2014).

Estudio geotécnico: conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS, 2010)

Introducción

La parte geotécnica referente a la exploración y el análisis del terreno se ha convertido en una práctica necesaria y totalmente obligatoria que debe ser contemplada en la proyección de cualquier obra de infraestructura con el fin de asegurar su viabilidad y su adecuada funcionalidad. (ARIZA, 2018).

El desarrollo de nuestro país ha venido creciendo en los últimos años, generando una mayor inversión en las obras de infraestructura vial, lo que hace indispensable conocer las condiciones de los suelos y sus propiedades de acuerdo a la normatividad vigente para evitar que se presenten fallas estructurales graves ya sea por un análisis geotécnico inadecuado o por un sistema de cimentación insuficiente. Lo cual ha sido respaldado legalmente por la nueva norma de diseño de puentes CCP - 14 la cual cuenta con los nuevos parámetros de cargas que circulan en las vías y puentes de nuestro país basada en las especificaciones americanas ‘AASHTO LRFD’ 6ª edición, que a su vez se apoya en la filosofía LRFD (factores de diseño de carga y resistencia) desarrollada por el INVIAS la cual se actualizó después de 18 años y por la norma colombiana de construcción sísmo resistente NSR 10.

El presente documento tiene como objetivo analizar y establecer los parámetros fundamentales para la conformación de un estudio de suelos para puentes vehiculares mediante una ficha de control e identificar los fallos en el estudio de suelos realizado para el contrato de obra denominado “*Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá*”, soportado por la normatividad que será utilizada como medio de justificación técnico para demostrar y argumentar su correcta funcionalidad y empleabilidad para el óptimo desarrollo de un estudio de suelos para puentes vehiculares.

1. Diseño de una ficha de control para el análisis de un estudio de suelos en la construcción de puentes vehiculares según la norma CCP-14 en Colombia.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Diseño y aplicación de una ficha de control para el análisis de un estudio de suelos en la construcción de puentes vehiculares según la norma CCP-14, En Colombia, caso práctico “*Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá*”.

1.1.2 Objetivo Específicos

Identificar los requerimientos exigidos en la NSR 10 y LRDF-CCP14 relacionado con las determinaciones a considerar en el proceso de control y revisión de un estudio de suelo en puentes vehiculares.

Elaborar mediante una ficha de control, las consideraciones establecidas para estudios de suelos en puentes vehiculares, jerarquizados mediante la correlación de una matriz de riesgo generada por la herramienta AMEF.

Aplicar la ficha de control e identificar los fallos en el estudio de suelos realizado para el contrato de obra denominado “*Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá*”.

2. Marco Referencial

A continuación, se presenta la fundamentación teórica que, de acuerdo con el objeto de estudio, sostiene el ejercicio investigativo.

2.1 Marco Teórico

En Colombia las Obras de infraestructura vial han tenido un crecimiento significativo en los últimos años, siendo los puentes estructuras fundamentales que han permitido la conectividad entre las regiones, la movilización poblacional y la productividad económica.

En economías en desarrollo como la de Colombia, donde se cuenta con un componente montañoso y con una gran red hidrológica resulta crucial si se presentan colapsos de estas estructuras viales ya que sus efectos socio-económicos son de gran impacto para las regiones.

Son diversas las causas de los colapsos y fallas en puentes vehiculares que deberían ser estudiadas por las entidades gubernamentales encargadas del mantenimiento de la red vial, aproximadamente en Colombia existen 3266 puentes en la red vial nacional entre concesionados y no concesionados y 921 puentes vehiculares y peatonales del orden Distrito Capital; encontramos que entre los años 1986 y 2011 fallaron en Colombia un total de 282 puentes a cargo de la Red Vial Nacional del Instituto Nacional de Vías INVIAS, y cuyas causas de derrumbamiento sobresalen, sin tener en cuenta los puentes colapsados por atentados terroristas: crecientes y avalanchas 41%, socavación 35%, deficiencias estructurales y de diseño 15%, sobrecarga e impacto 7% y deficiencias en la construcción e interventoría 2%.¹

Si revisamos en los últimos años tenemos varios casos de colapsos de puentes

¹ Cusba Morales David. (2011, 26 de enero), Estudio de las causas y soluciones estructurales del colapso total o parcial -de los puentes vehiculares de Colombia desde 1986 al 2011, y la evaluación de las consecuencias del derrumbamiento de uno de ellos. [Tesis de pregrado en Ingeniería Civil], Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Disponible en el sitio web: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7494>.

vehiculares, quizás uno de los casos más lamentables es el del puente Chirajara, en enero del 2018. El gigante atirantado que conectaría a Bogotá con Villavicencio cayó dejando nueve obreros fallecidos, según investigaciones las causas de su desplome obedecieron a fallas en el diseño y construcción, actualmente la ANI y Coviandes anunciaron que se ejecutará un nuevo viaducto de voladizos sucesivos, bajo los criterios de la norma técnica colombiana de diseños LFRD CCP-14 de 2014, como alternativa a la construcción del puente atirantado la cual no se tuvo en cuenta en los diseños iniciales.

Ese mismo año, muy cerca del lugar, cayó el puente de La Pala, ubicado en el kilómetro 64 cerca al sector de Chirajara y al proyecto de la doble calzada Bogotá-Villavicencio dejando cinco personas muertas, el colapso se presentó por una inestabilidad del suelo que pudo haber generado algún tipo de esfuerzo lateral sobre los andamios que hicieron ceder la estructura.

En diciembre del año 2019 se presentó el desplome del puente vehicular en Ciénaga Magdalena el cual dejó dos personas muertas, según el INVIAS la inestabilidad se dio durante el armado del acero de refuerzo de las riostras del puente, estos elementos son los que darían soporte lateral a las vigas y el colapso de los apuntalamientos temporales, lo que generó el volcamiento de una de sus vigas que al golpear las que estaban a su lado causó un efecto domino.

Es importante revisar si se tiene una deficiencia en la formación de los ingenieros, diseñadores, calculistas y constructores, para que se estén presentando tantas fallas en las construcciones de puentes vehiculares en nuestro país, si se debe al no revisar y estudiar la normatividad y metodología vigente la cual se ha actualizado los últimos años o si no se están realizando los estudios necesarios para los diseños.

El 35% de los puentes en el país según el INVIAS fallaron por socavación de la cimentación de sus estribos y/o pilas, lo cual sucede sobre todo en puentes construidos hace más

de veinte (20) años, donde el criterio fundamental de diseño de la cimentación obedecía más a la capacidad portante y no a los fenómenos de socavación probables. Se pensaría que estas fallas no se volverían ocurrentes en la actualidad pero vemos con hechos que se siguen presentando en las cimentaciones de los puentes debido a la ausencia de estudios o a la mala ejecución de los mismos, siendo el estudio geotécnico el pilar fundamental para la estabilidad de las obras, lo que nos garantiza unas fundaciones estables para evitar no solo pérdidas humanas si no retraso económico y social de las poblaciones.

De igual manera es importante que el INVIAS fortalezca las inspecciones rutinarias que permitan conocer el estado general de los puentes e identificar a tiempo las fallas que presenten para generar mantenimientos o cierres de los mismos para evitar accidentes. Es vital que los recursos se destinen a las obras con un índice de gravedad alto y no por interés político, como es el caso en el que la Contraloría general de la Nación en el transcurso del año 2021 encontró varios hallazgos fiscales en proyectos en el departamento del Meta por un valor mayor a los \$16.323 millones de pesos², dineros procedentes de regalías, entre los cuales estaba el mejoramiento de la vía sector veredas Santa Helena, Los Mangos y Patio Bonito, cuyo objetivo es comunicar los municipios de Granada, Fuente de oro y San Juan de Arama, se detectó que las condiciones físicas de los cinco puentes de esta vía indican que no se está dando cumplimiento a la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14-INVIAS, siendo estas obras formuladas en el año 2014 y contratadas en el año 2016.

Cabe recordar que la Norma CCP-14, reemplazó el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes de 1995, norma que se encontraba vigente al momento del diseño y

² Contraloría General de la República, (2021,17 de marzo), Contraloría detectó 17 hallazgos fiscales por \$16.323 millones en proyectos de regalías ejecutados en el Meta. [Comunicado de prensa]. https://www.contraloria.gov.co/contraloria/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/boletines-de-prensa-2021/-/asset_publisher/9IOzepbPkrRW/content/contraloria-detecto-17-hallazgos-fiscales-por-16-323-millones-en-proyectos-de-regalias-ejecutados-en-el-meta

construcción de la mayoría de los últimos puentes vehiculares que han colapsado en el país.

1. ¿Qué es un estudio de suelos?: un estudio de suelo, también conocido como estudio geotécnico, es un conjunto de actividades que nos permiten obtener la información de un determinado terreno. Es una de las informaciones más importantes para la planificación, diseño y ejecución de un proyecto de construcción, este se realiza previamente al proyecto y tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del suelo, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación. Las obras se deben adaptar al tipo de suelo y no suelo al proyecto a realizar. (ARAUCA, GEOTECHNICS, 2020).

2. ¿Para qué sirve un Estudio de Suelo?: el estudio de suelo permitirá conocer:

- Las características físicas, químicas y mecánicas del suelo.
- Composición estratigráfica, (capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad).
- Ubicación del nivel freático, la profundidad a la que se debe estar la cimentación.
- Planificar el diseño, cálculo y dosificación de las fundaciones del proyecto.

3. ¿Cómo se hace un Estudio de Suelo?: un estudio de suelo se caracteriza por tener 3 etapas claramente definidas:

- Trabajo de Campo.
- Trabajo de Laboratorio.
- Informe Final.

2.1.1 Norma colombiana de diseño de puentes – LRFD – CCP 14

En Colombia se utilizó la especificación americana “AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges”, hasta el año 1994, cuando el Gobierno nacional encargó a la Asociación

Colombiana de Ingeniería Sísmica “AIS” la tarea de producir un documento nacional que sirviera de reglamentación para los diseños de los puentes del país. En 1995, la AIS, mediante convenio con el Ministerio del Transporte y el Instituto Nacional de Vías publicó el Código Colombiano de diseño sísmico de puentes “CCP 95”, basado en la especificación AASHTO del 1992. En el año 2013, en convenio con el INVIAS, la AIS desarrolló la nueva Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14, esta vez basada en las especificaciones “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications” 6a edición del 2012 y “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications” 7ª edición del 2014 fundamentadas en la filosofía LRFD. Aspectos relevantes de esta nueva normativa son la actualización de los mapas colombianos de amenaza sísmica y la validación de la carga viva vehicular de diseño para la práctica Colombiana. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS, 2014).

2.1.2 Sección 10 - Cimentaciones

Todo estudio geotécnico o de suelos debe contener exploraciones de campo y ensayos de laboratorio, los cuales serán determinados en base a la importancia y magnitud del proyecto en términos de su longitud y condiciones de suelo. Los estudios deberán comprender la zona de ubicación del puente, estribos, pilares y accesos. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS, 2010).

2.1.3 Localización del puente

Debe indicar las coordenadas de la estructura, revisar costo beneficio.

2.1.4 Elementos básicos del proyecto a realizar

2.1.4.1 Clasificación del puente. El puente está compuesto por:

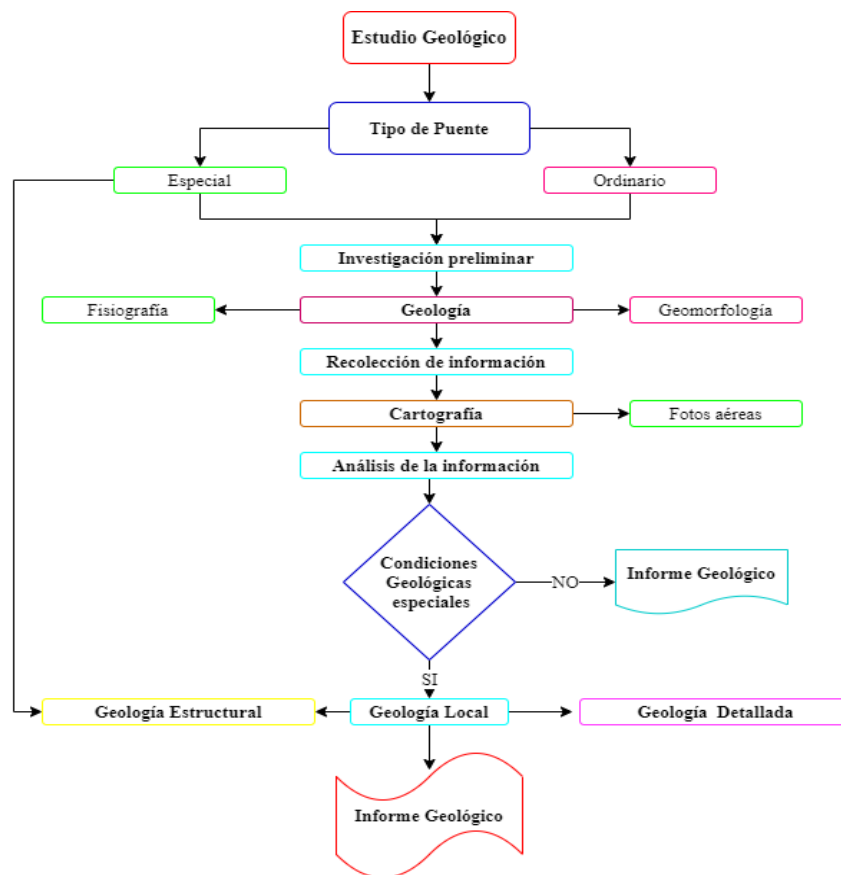
- Loza maciza
- Loza aligerada
- Vigas
- Arco
- Atirantado
- Colgante
- Pórtico
- Reticulado

2.1.4.2 Superestructura. Comprende todos los elementos que se encuentren sobre los apoyos, losa, vigas, ménsulas etc.

2.1.4.3 Subestructura. Son los apoyos, pilas, zapatas y estribos.

2.1.5 Información Geológica

Tiene la finalidad de identificar cualquier aspecto geológico de la zona donde se ubicaran los apoyos del puente, y que influyan en el comportamiento de la cimentación del puente. En la figura 1 la información geológica presente para un adecuado estudio geotécnico.

Figura 1. Información Geológica

2.1.6 Información Geofísica

Si es necesario se tendrán registros Sísmicos de la zona de estudio, por lo general para puentes especiales o si la geología de la zona lo amerita.

2.1.7 Información hidrológica e hidráulica

De gran importancia para el análisis de la Socavación en puentes, la cual se divide en:

- Socavación general
- Socavación por contracción
- Socavación local

2.1.8 Exploración y muestreo

Su objetivo es definir la estratigrafía de la zona en la que se ubicaran los apoyos del puente hasta la máxima profundidad donde se presente la influencia de las cargas transmitidas por la cimentación al suelo de desplante. En la figura 2 se identifican los programas para realizar una exploración.

Figura 2. Exploración para cimentaciones.



2.1.8.1 Trabajos preliminares. Se define el reconocimiento en campo y zonas de acceso.

2.1.8.2 Programa de exploración. Está dado por la cantidad de sondeos de acuerdo al tipo de cimentación programada.

Tabla 1. Programa de exploración

PROGRAMA DE EXPLORACION					
Tipo de estructura	Eje de apoyos	Tipo de cimentación	Cantidad de sondeos	Profundidad	Ubicación (x,y)
Puente especial	1	Superficial	1		
	2	Profunda	2		
	3	Profunda	2		
	4	Ancho =B	1		

Fuente: Propia

2.1.8.2.1 Ubicación de sondeos - Cantidad de sondeos - Profundidad de sondeos. Deben realizarse exploraciones del subsuelo para proporcionar la información necesaria para el diseño y la construcción de cimentaciones. La extensión de exploración debe basarse en la variabilidad de las condiciones del subsuelo, el tipo de estructura, y cualquier otro requisito del proyecto que pueda afectar el diseño o construcción de la cimentación. Las perforaciones deben ser suficientes en número y profundidad para establecer un perfil de estratificación longitudinal y transversal confiable en las áreas de interés, tales como la localización de la estructura de cimentación y localidades de movimientos de tierra adyacentes y para investigar los riesgos geológicos adyacentes. En la Tabla 2 se presenta el número de sondeos y profundidad del mismo los cuales pueden variar dependiendo el tipo de proyecto, ambiente, si se encuentran depósitos de rocas etc.

Tabla 2. Lineamientos generales para definir la profundidad y número de exploraciones

Tipo de estructura	Cantidad de Sondeos	Profundidad del sondeo
Muros de Contención	- Un (01) punto de exploración para cada muro de contención como mínimo.	-Hasta una profundidad a la que el esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo.

Tipo de estructura	Cantidad de Sondeos	Profundidad del sondeo
Muros de Contención	<ul style="list-style-type: none"> - Para muros de contención de más de 30 m de longitud, los puntos exploración deben estar espaciados entre 30 y 60 m con ubicaciones alternadas al frente y detrás del muro. - Para muros anclados, sondeos adicionales de exploración en la zona de anclaje deben estar espaciados entre 30 y 60 m. - Para muros clavados al suelo, los puntos adicionales de exploración a una distancia de 1,0 a 1,5 veces la altura del muro detrás del muro deben estar espaciados entre 30 y 60 m. 	<p>esfuerzo efectivo in situ</p> <ul style="list-style-type: none"> - Profundizar los sondeos hasta material firme o a una profundidad igual a una o dos veces la altura del muro.
Cimentaciones Superficiales	<ul style="list-style-type: none"> - Para subestructuras, como pilas o estribos, de ancho menor o igual a 30 m, mínimo un (01) sondeo por cada una. - Para subestructuras con anchos mayores que 30 m, mínimos dos (02) sondeos por subestructura. Deben suministrarse puntos adicionales de exploración si se encuentran condiciones superficiales erráticas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad suficiente para atravesar materiales de relleno, suelo orgánico, suelos de alta compresibilidad y/o suelos colapsables, hasta llegar a un suelo competente. - 1.5 veces el ancho de la cimentación medido a partir del nivel desplante 1.5B - Hasta una profundidad a la que el esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo insitu $\Delta\sigma_v \leq 10\% \sigma$ y entre una y dos veces la altura del muro. - Si la roca sana es encontrada antes de la profundidad indicada en los incisos anteriores, el sondeo se deberá llevar hasta una profundidad suficiente para penetrar al menos 3,0 m en la roca sana y que permita obtener la información suficiente para obtener el estrato de la roca.
Cimentaciones Profundas	<ul style="list-style-type: none"> - Para pilas o estribos de puentes, de ancho menor o igual a 30m, mínimo un (01) sondeo. - Para subestructuras con anchos mayores que 30 m mínimo dos (02) sondeos por cada una. Deben suministrarse puntos adicionales de exploración si se encuentran condiciones superficiales erráticas especialmente en el caso de pilotes encajados dentro del lecho rocoso. 	<p>a. En Suelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La profundidad del sondeo se deberá extender un mínimo de 6.0 m por debajo de la cota de elevación proyectada de la punta del pilote hincado o perforado, y - Una profundidad mínima de dos veces la máxima dimensión del grupo de pilotes, lo que sea mayor. - 1.5 veces la mínima dimensión de una zapata imaginaria ubicada a 2/3 de la profundidad de las pilas estimadas. Cualquiera que sea más profunda.

Tipo de estructura	Cantidad de Sondeos	Profundidad del sondeo
		<p>- Todos los sondeos deberán tener profundidad suficiente para atravesarlos estratos inapropiados tales como materiales de relleno, suelos orgánicos, suelos de alta compresibilidad y/o suelos colapsables, hasta llegar a un suelo competente.</p> <p>b. En Roca:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para pilotes apoyados sobre roca, un mínimo de 3.0 m continuos de núcleos de roca deberán obtenerse en cada sondeo para verificar que el sondeo no ha sido finalizado sobre una roca rodante. - Para pilotes perforados apoyados en o empotrados dentro de roca, un mínimo de 3.0 m continuos de núcleos de roca deberán obtenerse en cada sondeo, o una profundidad mínima a tres veces el diámetro del pilote, para pilotes aislados, y/o dos veces la máxima dimensión del grupo de pilotes. Cualquiera que resulte a mayor profundidad. - En ambos casos la profundidad de los sondeos deberá extender por debajo de la cota de elevación de la punta del pilote, hasta la zona de influencia de la cimentación. - Para condiciones de roca, altamente variables, o en áreas donde es probable encontrar rocas rodantes muy grandes, se debe explorar mas allá de 3.0 m para garantizar la calidad de la roca presente en la zona.

Fuente: (American association of state highway and transportation officials - AASHTO, 2012)

Figura 3. Número de sondeos para estudios de suelos en puentes

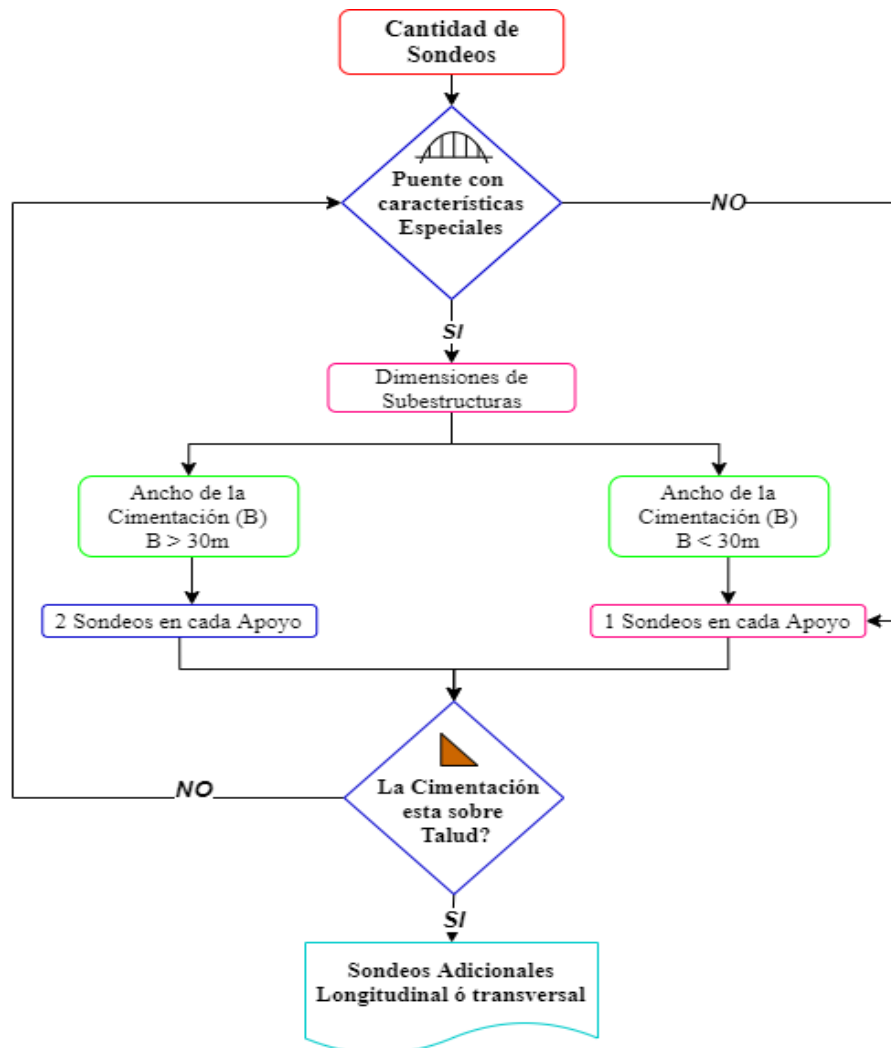
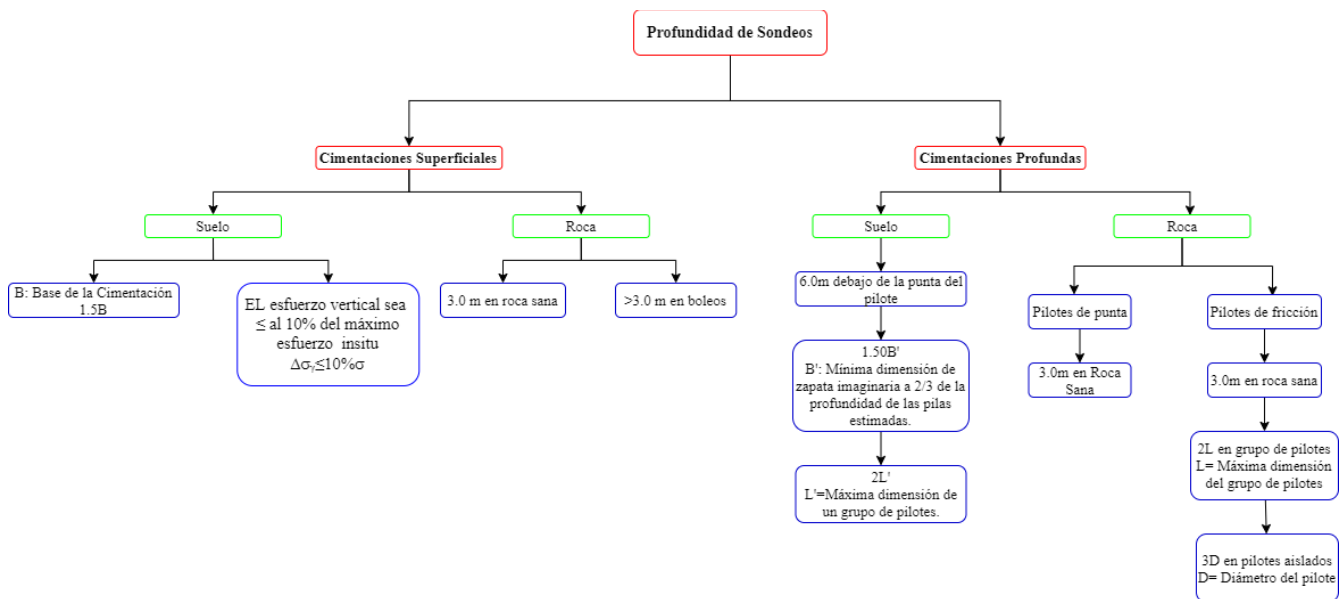


Figura 4. Profundidad de sondeos para un estudio de suelos en puentes

2.1.9 Métodos de Exploración Directos

2.1.9.1 Prueba de Penetración Estándar. El ensayo de penetración estándar (SPT) determina la resistencia que ofrece el suelo a la penetración de un muestreador circular de acero, media caña, que a la vez permite recuperar muestras para fines de identificación y clasificación. No es recomendable llevarlo en depósitos de grava, roca debido a los daños que pueda sufrir el equipo. La finalidad de este ensayo es contar el número de golpes N que necesita para introducir dentro de un estrato de suelo un muestreador de 30 cm de largo a diferentes profundidades (generalmente variando de metro a metro). El muestreador es golpeado bajo energía constante. El ensayo debe realizarse bajo la norma ASTM D1586-08.

2.1.9.2 Prueba de penetración de Cono (CPT). Es un ensayo de penetración estática que consiste en hincar a presión una barra con punta cónica en el terreno a una velocidad constante

(2cm/s) para medir el esfuerzo necesario para la penetración de la punta y la fricción que se desarrolla en la superficie de una camisa colocada inmediatamente después de la punta cónica. Los suelos blandos constituyen un campo de aplicabilidad óptima de este ensayo. Conociendo la resistencia de penetración es posible determinar una serie de parámetros como la densidad relativa, módulo de deformación, ángulo de fricción interna para suelos granulares, cohesión no drenada, presión de preconsolidación y sobre consolidación en suelos cohesivos. El ensayo de penetración del cono permite obtener de igual manera la estratigrafía del suelo.

2.1.9.3 Presiometro de Menard (Ensayo de Presurometria). Es un ensayo de carga lateral in situ, que consiste en expandir una membrana radialmente dentro de una perforación en el suelo mediante incrementos constantes de presión o mediante incrementos constantes de volumen. Los datos del volumen del fluido y las presiones para expandir la membrana se interpretan para obtener la respuesta esfuerzo - deformación unitaria de suelo, ofreciendo resultados de deformidad y resistencia a cortante. Este ensayo se aplica a todo tipo de suelos, saturados o no, desde arcillas blandas hasta rocas. En los suelos el fluido empleado para expandir la membrana es agua o gas, mientras que en rocas se emplea aceite.

Con los resultados de este ensayo se pueden realizar los siguientes análisis:

- Cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales y profundas.
- Cálculo de asientos en zapatas y pilotes.
- Diseño de pilotes cargados lateralmente.
- Diseño de estructuras de sostenimientos.
- Diseño de anclajes.

2.1.9.4 Pozos a cielo abierto. Son excavaciones de dimensiones suficientes para que un especialista pueda bajar directamente a inspeccionar y examinar los diferentes estratos, permitiendo extraer muestras alteradas e inalteradas. Se debe llevar un registro completo y detallado de las condiciones observadas en los diferentes estratos (humedad, color, estado natural). Este ensayo no puede realizarse a grandes profundidades, depende del tipo de material existente en los diferentes estratos y la ubicación del nivel freático. Esta metodología es ideal para suelos cohesivos duros, cuando se tienen suelos blandos cohesivos y sin grava, las muestras inalteradas se obtienen utilizando un tubo muestreador de lámina con filo. En el caso de muestras inalteradas de arenas la extracción es imposible.

Se puede identificar la estratigrafía superior del sitio.

2.1.9.5 Prueba de corte con Veleta. El ensayo de corte con veleta consiste básicamente en colocar una veleta de cuatro hojas dentro del suelo inalterado, y en girarla desde la superficie para determinar la fuerza de torsión necesaria para lograr que una superficie cilíndrica sea cortada por la veleta; con esta fuerza de corte se halla entonces la resistencia unitaria de dicha superficie. Se realiza bajo la norma INV E -170 -13. (Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2012)

2.1.9.6 Ensayo de Permeabilidad. Este ensayo determina el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares, basado en la norma INV E 130 -13. El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como bases bajo

pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10 % de partículas que pasen tamiz de 75 μm (No.200). (Instituto Nacional de Vías - INVIAS , 2012)

2.1.9.7 Método de ensayo estándar carga estática para capacidad portante del suelo. El ensayo de carga directa es un ensayo in-situ que permite la estimación de la capacidad portante del suelo mediante métodos empíricos. Este método proporciona información del suelo sólo hasta una profundidad igual a dos veces el diámetro de la placa a partir del nivel de ensayo, y toma en cuenta sólo parte del efecto del tiempo. (American Society of Testing Materials - ASTM, 2004).

El ensayo consiste en la aplicación de una carga estática transferida al suelo mediante una placa rígida o flexible, de forma circular o rectangular, cuyas dimensiones mínimas están establecidas en la norma citada y son; 30 cm de diámetro o lado, según sea la forma de la placa y 2.5 cm de espesor. La carga puede ser aplicada mediante un mecanismo hidráulico, o bien mediante carga muerta y su medición se realiza mediante celdas de carga o manómetros calibrados.

La resistencia nominal al aplastamiento se determina a partir de una prueba de carga de placa que puede ser extrapolada a las zapatas adyacentes en donde el perfil del subsuelo es confirmado por la exploración similar del subsuelo. Los resultados de la prueba de placa de carga deben aplicarse sólo en una zona -área del sitio del proyecto para el que las condiciones del subsuelo, es decir la estratificación, la historia geológica y propiedades, son relativamente uniformes.

2.1.9.8 Ensayo de refracción sísmica. Refracción Sísmica es uno de los métodos sísmicos de la geofísica aplicada. Este método mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación. Para esto se disponen una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción sísmica. (GEOSEISMIC, 2017).

Este método es muy útil para determinar, de manera rápida, la estructura del subsuelo. Sus aplicaciones más frecuentes son la detección del sustrato rocoso.

2.1.9.9 Ensayo de compresión Uniaxial en Roca. El ensayo uniaxial se desarrolla aplicando una carga creciente a velocidad de tensión constante entre 0,5 y 1,0 MPa/s. Los valores de deformación axial y radial se miden con gran precisión (alrededor de 5×10^{-6}). Se ejecutan también ciclos de carga y descarga para obtener una evaluación correcta de las propiedades de compresibilidad.

Este ensayo sirve para determinar la resistencia a compresión uniaxial de una probeta cilíndrica de roca. Este ensayo puede proporcionar también las constantes elásticas de la roca intacta. La importancia de este ensayo radica principalmente en que a partir de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta permite clasificar las rocas, a grandes rasgos.

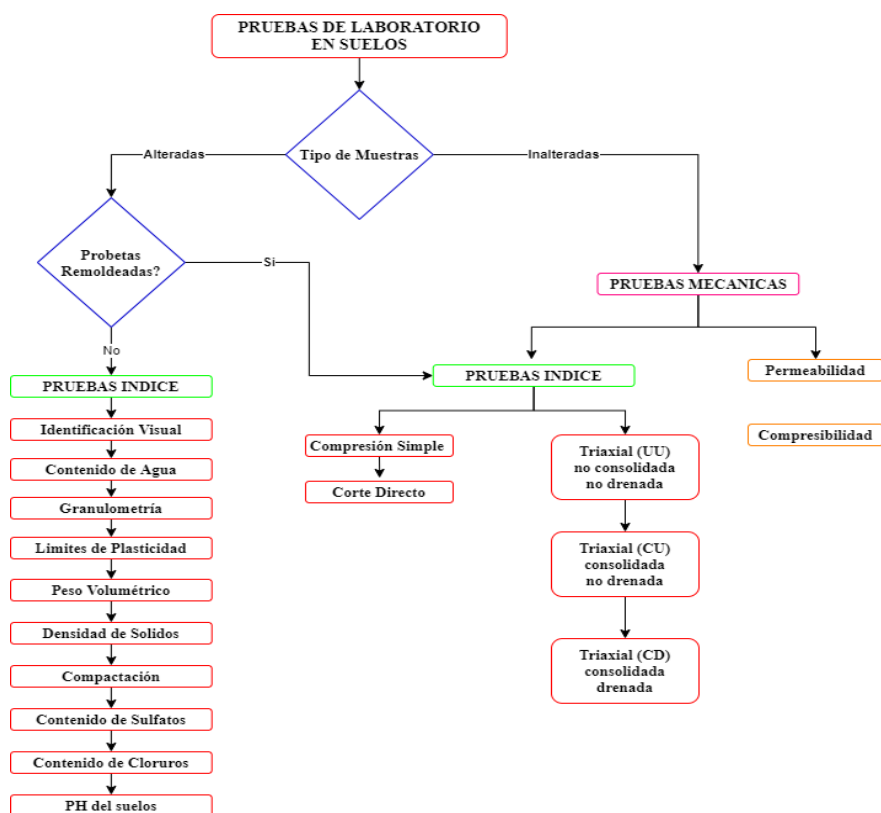
2.1.9.10 Resistencia al corte directo en discontinuidades en roca. El ensayo tiene como finalidad encontrar el valor del ángulo de fricción residual en testigos de roca que han sido previamente fracturados. Se puede aplicar en rocas duras o blandas y en testigos de roca que contengan planos de falla o discontinuidades naturales o artificiales.

El análisis correcto de la resistencia al corte en discontinuidades de roca juega un papel importante en el diseño de excavaciones en rocas, análisis en estabilidad de taludes de roca y en otras obras civiles. El comportamiento de corte en discontinuidades planas de roca se puede investigar en laboratorio utilizando un aparato de corte directo en el que la carga vertical se mantiene constante durante el proceso de corte. Este modo de cizallamiento es adecuado para entornos en las que la roca permite que el plano de falla se corte sin restringir la dilatación, manteniendo así la tensión vertical constante durante el proceso de corte.

2.1.10 Ensayos de Laboratorio

Para clasificar el tipo de suelo se deben realizar pruebas de identificación en campo mediante ensayos empíricos, siendo el técnico en perforación y el ingeniero responsable de los trabajos de exploración. Las pruebas de laboratorio pueden clasificarse en pruebas índice y mecánicas como lo muestra la figura 5.

Figura 5. Pruebas de laboratorio



2.1.10.1 Pruebas Índice. Se clasifican de la siguiente manera.

Tabla 3. Pruebas índice en suelos y normas de referencia

Tipo de Prueba	Norma	
	AASHTO	ASTM
Identificación Visual	---	D 2488
Contenido de Agua	T 265	D 4959
Límites de Plasticidad	T 89	D 4318
Granulometría	T 88	D 422
Porcentaje de Finos	---	D 1140
Peso Volumétrico Natural	---	---
Densidad de sólidos	---	---
Compactación AASHTO Estándar	T 99	D 698
Compactación AASHTO Modificada	T 180	D 1557
Contenido de sulfatos solubles en suelos	T 290	---
Contenido de cloruros solubles en suelos	T 291	---
Determinación del pH del suelo	T 289	---

Fuente: Propia

2.1.10.1.1 Identificación Visual. Está basada en una inspección visual y pruebas manuales, para ello se pueden considerar:

- a) Agrupación de partículas de suelo y fragmentos de roca de acuerdo a su tamaño.
- b) Información descriptiva de los suelos.
 - Angulosidad de la partícula.
 - Forma de la partícula.
 - Color, olor y condiciones de humedad.
- c) Granulometría.
- d) Dilatancia (rápida, lenta o nula).
- e) Tenacidad (Nula, media, alta).
- f) Resistencia en estado seco (Nula, media, alta).

2.1.10.1.2 Contenido de Agua. El contenido de agua de un suelo es asumido como la cantidad de agua que se encuentra entre los poros y es removible, expresada en un porcentaje de las partículas sólidas secas, entendiendo como partículas sólidas secas a las partículas minerales del suelo después de someter la muestra a un secado en horno de convección por un periodo comprendido de 12 hrs a 24 hrs.

2.1.10.1.3 Límites de Plasticidad o de Atterberg. Son los contenidos de agua que definen los límites de los estados de consistencia para suelos finos, y con los cuales cambia el comportamiento de los suelos. El límite líquido de un suelo se define como el contenido de agua expresado en porcentaje de peso de un suelo secado en el horno, con el cual una ranura se cierra aproximadamente 1.27mm con 25 golpes en la Copa de Casagrande; y representa el contenido de

agua en el cual cualquier incremento de agua provocaría que el suelo se comportara como un líquido.

El límite plástico es definido como el contenido de agua con el cual una muestra de suelo en forma de cilindros pequeños se agrieta al ser rodado, con un diámetro de 3.2 mm, y representa el contenido de agua correspondiente a las fronteras entre los estados plástico y semisólido. La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico nos da como resultado el índice plástico.

2.1.10.1.4 Granulometría. La granulometría de un suelo se define como la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas. Las partículas de cada fracción se caracterizan porque su tamaño se encuentra comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones de tal modo que el máximo de una fracción es el mínimo de la que le sigue correlativamente. Se utiliza el método de cribado o de mallas.

2.1.10.1.5 Peso Volumétrico Natural. La prueba de laboratorio para la determinación del peso volumétrico natural consiste en determinar el peso de la muestra y su volumen, siendo este último el que representa más detalles para obtenerlo. El peso volumétrico natural es determinado por una muestra de suelo inalterada.

Para determinar la densidad o peso específico existen los métodos de Medida Lineal, por desplazamiento de agua y por inmersión de agua.

2.1.10.1.6 Densidad de Sólidos. Es la relación entre el peso específico de los sólidos y el peso específico del agua a una temperatura de 4°C. Los valores de la densidad de sólidos de

suelos como arenas cuarzosas o con otros minerales, arcillas compuestas con caolinita o illita se encuentran en un rango muy estrecho de valores de $G_s=2.7 \pm 0.$; a excepción de los orgánicos.

2.1.10.1.7 Compactación. Es el proceso mecánico en el cual se aplica al suelo energía de compactación necesaria para producir una disminución de la columna de vacíos, por lo tanto una disminución del volumen total. Lo que sería un incremento en la densidad, un aumento de la resistencia al corte, una disminución de la permeabilidad y una disminución de compresibilidad. Tenemos la prueba AASHTO Estándar y la prueba AASHTO Modificada consiste básicamente en compactar en un número determinado de capas una muestra de suelo dentro de un molde de compactación, implementando un martillo con un peso y altura de caída específica con la finalidad de obtener su peso volumétrico seco.

2.1.10.1.8 Contenido de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea. Este método de prueba cubre la determinación del contenido de iones sulfato soluble en agua en el suelo. Se divide en dos partes. La primera parte especifica el procedimiento de muestreo y preparación de la muestra al tamaño para la prueba. La segunda parte delinea dos procedimientos de prueba (métodos A o B) para la determinación del contenido de iones sulfato en suelos. La selección del método depende de la concentración de ion sulfato y la precisión deseada. Se dan dos métodos como sigue:

El método a es una medida principal de ion sulfato. El método B requiere menos tiempo, pero a menudo más susceptible de interferencia que el Método A. Es particularmente útil en el rango de sulfato más bajo y puede ser utilizado como prueba de detección. Este método es directamente aplicable en el rango de 10 a 100 mg / kg.

- *Método a:* este método se utiliza para determinar la cantidad de ion sulfato soluble en agua en el suelo. Es directamente aplicable a muestras que contienen aproximadamente de 20 a 100 mg / kg de ion sulfato. Se puede extender a rangos más altos o más bajos ajustando el tamaño de la muestra.

- *Método b:* este método está diseñado para pruebas rápidas de rutina o de control del ion sulfato soluble en agua en el suelo. Donde no se requiere una exactitud y precisión extremas.

Es directamente aplicable en el rango de 10 a 100 mg / kg de ion sulfato. (American association of state highway and transportation officials - AASHTO, 2012)

2.1.10.1.9 Contenido de cloruros solubles en suelos y agua subterránea. Establece el procedimiento de ensayo para la determinación cuantitativa del ion cloruro soluble en agua contenido en suelos y agua subterránea. Especifica el procedimiento para la determinación del contenido de ion cloruro soluble en agua mediante el método volumétrico de Mohr. Con este método se pueden analizar muestras de suelos cuyo contenido de cloruro sea de 10 mg/kg a 150 mg/kg y muestras de aguas con contenidos de 1,5 ppm a 100 ppm. Esta Norma Técnica puede involucrar el uso de materiales, equipos y operaciones peligrosas. (American association of state highway and transportation officials - AASHTO, 2018)

2.1.10.1.10 Determinación del pH del suelo para uso en pruebas de corrosión. El alcance de este ensayo es que nos ayuda a determinar la condición de la muestra, en un nivel de acidez que puede ser fundamental al escoger la calidad de material a utilizar en las cimentaciones o estructuras sean agregados, cemento o acero.

El pH del agua es un parámetro crítico que afecta la solubilidad de los oligoelementos, la

capacidad del agua para formar la escala o para causar la corrosión metálica, y la conveniencia del agua para sostener los organismos vivos. Es una escala definida, basada en un sistema de soluciones tampón con valores asignados. En agua pura a 25 ° C, pH 7,0 es el punto neutro, pero esto varía con la temperatura y la fuerza iónica de la muestra. El agua pura en equilibrio con el aire tiene un pH de aproximadamente 5,5, y la mayoría de las aguas naturales no contaminadas varían entre pH 6 y pH 9. Estos métodos de ensayo cubren la determinación del pH mediante medición electrométrica utilizando el electrodo de vidrio como sensor. Dos métodos de ensayo se dan de la siguiente manera:

El *Método de Ensayo A* cubre la medición precisa del pH en agua utilizando al menos dos de las siete soluciones tampón de referencia estándar para la normalización de instrumentos.

El *Método de Ensayo B* cubre la medición rutinaria del pH en agua y es especialmente útil para el monitoreo continuo. Se utilizan dos amortiguadores para estandarizar el instrumento bajo parámetros controlados, pero las condiciones son algo menos restrictivas que las del Método de Ensayo A. Ninguno de los métodos de ensayo se considera adecuado para la medición del pH en agua cuya conductividad es inferior a aproximadamente 5 $\mu\text{S} / \text{cm}$. (American association of state highway and transportation officials - AASHTO, 2018)

2.1.10.1.11 Consolidación. Este ensayo es utilizado para determinar el grado de consolidación y sus características en suelos con baja permeabilidad, del mismo se obtienen los parámetros: la compresibilidad de suelos expresado en términos del coeficiente de compresibilidad volumétrica, el cual es la cantidad de deformación a la que el suelo va estar comprimido tanto en la carga como en la descarga, durante la consolidación y el parámetro del tiempo expresados en términos del coeficiente de consolidación el cual indica el grado de

compresión relacionado en un periodo de tiempo en el cual la consolidación tomará lugar.

2.1.10.1.12 Permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad es una propiedad físico-mecánica atribuible a medios porosos y se expresa como la velocidad con la que fluye el agua a través de un suelo bajo un gradiente hidráulico unitario. Para determinarlos existen varios métodos, los ensayos efectuados en el lugar y los empíricos. Tenemos la Prueba de carga constante adecuada para gravas, arenas y suelos finos y la prueba de carga variable para arenas, gravas y limos.

2.1.10.1.13 Prueba Triaxial. Es un ensayo de compresión triaxial, un espécimen cilíndrico inalterado y representativo del suelo en estudio es revestido con una membrana de látex dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de la muestra está conformada por dos piedras porosas y papel filtro. La membrana de látex se ajusta posteriormente sobre ambos cabezales mediante anillos de goma dura, con la intención de producir un cierre hermético; ambos cabezales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. Armada y ajustada la cámara triaxial se procede a llenar el interior con agua, la cual es la responsable de proporcionar la presión lateral al espécimen. La carga axial se transmite al espécimen por medio de un vástago que atraviesa la parte superior de la cámara. Debido a que la resistencia cortante del suelo está controlada por la cantidad de drenaje que ocurre durante la carga, es necesario medir la resistencia cortante utilizando un procedimiento de ensayo que sea apropiado para simular el drenaje y la consolidación que ocurrirán durante la construcción y vida de la estructura. Los procedimientos son:

- *No Consolidado - no drenado (UU):* en este ensayo no se permite consolidar al espécimen durante el estado de esfuerzo inicial, ni drenar durante el corte. En la práctica se

implementa cuando la carga en campo será lo suficientemente rápida para prevenir cualquier drenaje significativo y cambio en el contenido de agua, antes de que el suelo falle.

- *Consolidado - drenado (CD)*: se consolida completamente el suelo bajo un estado de esfuerzo inicial. Se aplica el esfuerzo axial muy lentamente para que las presiones de poro generadas puedan tener tiempo de disiparse, o la carga axial se aplica en incrementos pequeños manteniendo cada incremento hasta que las presiones de poro se hayan disipado antes de aplicar el próximo incremento. Este ensayo se implementa cuando el suelo en campo drena relativamente rápido durante la aplicación de cargas de construcción o cuando el suelo tiene tiempo suficiente para drenar bajo la carga aplicada y la resistencia cortante se determinará cuando la disipación de la presión de poros y el drenaje en el campo hayan ocurrido. Se utiliza este ensayo en suelos granulares (arenas) y en finos aunque estos llevan más tiempo.
- *Consolidado - no drenado (CU)*: en este ensayo el espécimen se consolida completamente bajo el estado inicial de esfuerzo. Sin embargo durante el corte se cierran las líneas de drenaje y el espécimen se carga a la falla en condiciones no drenadas. En la práctica se implementa este ensayo para simular condiciones de campo donde el estado inicial de carga resulta en la consolidación del suelo sin el peligro de falla, y después se aplica una segunda etapa de carga suficientemente rápida que resulta en carga esencialmente no drenada.

2.1.11 Caracterización del suelo

La investigación geotécnica e identificación de materiales de la superficie y del subsuelo involucra la intervención de diferentes especialidades que se conjuntan para definir la estratigrafía del suelo y/o roca de la zona de estudio. Un estudio adecuado del subsuelo debe contener información suficiente para el diseño de la cimentación de puentes:

- a) *Reconocimiento del sitio:* antes de iniciar el programa de campo, debe recopilarse la información disponible como planos topográficos, mapas geológicos, geotécnicos e informes.
- b) *Plan de exploración:* es necesario evaluar la magnitud del proyecto. Indicar las áreas que requieran una investigación más amplia.
- c) *Exploración Geofísica:* los métodos sísmicos y geoelectrónicos pueden ser muy útiles cuando existen diferencias entre las propiedades de los materiales superficiales, ya que se basan en la medición de la variación de velocidades de propagación de las ondas sísmicas o de la resistividad eléctrica de los suelos; con esto se puede deducir el nivel freático y posibles propiedades de los suelos y rocas. Es útil para la localización de los sondeos.
- d) *Pruebas de Exploración:* se realizan sondeos para la obtención de muestras de calidad de suelo y roca, suficientes en número y tipo que permitan determinar la clasificación geotécnica del sitio, su mineralogía, propiedades geotécnicas para generar la información necesaria para el diseño del proyecto.
- e) *Pruebas de campo y laboratorio:* deben ser programados y ejecutados con una adecuada caracterización de los materiales presentes en el sitio y deben proporcionar la mayoría información geotécnica.
- f) *Elaboración de perfiles estratigráficos:* las condiciones generales del subsuelo pueden definirse rigurosamente en el sitio del sondeo. Deberá presentarse un perfil detallado del suelo únicamente donde la relación continua entre profundidades y los diferentes tipos de suelo y roca puedan inferirse. En esta etapa de investigación puede complementarse con registros gráficos de los afloramientos de suelos y rocas observados en paredes de excavaciones o áreas de cortes, o mediante la correlación de perfiles estratigráficos.
- g) *Interpretación de resultados:* los resultados deben interpretarse en términos conceptuales.

El informe presentado debe incluir: localización del sitio investigado, la descripción de los procedimientos de investigación, un resumen del reconocimiento de campo de las condiciones generales del subsuelo, y la interpretación de los resultados del estudio y las recomendaciones pertinentes.

2.1.12 Tipos de Cimentación

Las podemos clasificar en superficiales y profundas, según se apoyen directamente en los estratos cercanos a la superficie o transmitan las cargas a capas profundas del subsuelo. Los tipos más comunes de cimentaciones empleadas en los apoyos de puentes son las zapatas corridas y aisladas en caso de cimentaciones superficiales, y pilas o pilotes de fricción o punta para cimentaciones profundas. Entre ellas se debe elegir la solución más conveniente de acuerdo a las características del subsuelo (natural o estabilizado), la configuración de la estructura, la magnitud de las cargas aplicadas, los requerimientos de seguridad, el costo y la facilidad relativa del procedimiento constructivo.

2.1.12.1 Cimentaciones Superficiales. Análisis geotécnico de cimentaciones por medio de zapatas aisladas y corridas para su uso en apoyo en columnas, muros de contención y otros elementos de la subestructura del puente; estas zapatas deben ser diseñadas de tal manera que el suelo o la roca de soporte proporcionen la resistencia o capacidad de carga nominal adecuada para satisfacer los estados límites.

Las zapatas deben ser dimensionadas de modo que el esfuerzo bajo las mismas sea lo más uniforme posible en el estado límite de servicio.

2.1.12.2 Cimentaciones profundas. Estas cimentaciones se utilizan para dos propósitos los cuales son:

- Aumentar la capacidad de carga de la cimentación
- Reducir los hundimientos de la estructura

Estos objetivos se alcanzan mediante la transferencia de carga a través de un estrato suave a un estrato más rígido que se ubica a una profundidad mayor, o mediante la distribución de cargas a través del estrato por la fricción a lo largo del fuste, o por la combinación de ambos. El método de instalación de este tipo de cimentaciones es uno de los factores más importantes que afectan a la transferencia de carga entre el elemento y el suelo de soporte. En estas cimentaciones encontramos los pilotes hincados y pilas coladas en sitio.

2.1.12.2.1 Pilotes hincados. Los pilotes deben ser considerados en las siguientes condiciones:

- Cuando las zapatas o cimentaciones superficiales no se puedan desplantar en roca o estratos competentes a un costo razonable.
- Cuando los asentamientos con cimentaciones superficiales son excesivos.
- En los lugares donde las condiciones del suelo normalmente permitiría el uso de zapatas pero existe la posibilidad de que exista erosión, licuefacción o desplazamientos laterales.
- En caso de limitaciones de espacio que no permitan el uso generalizado de zapatas.
- Cuando un suelo existente está contaminado por materiales peligrosos, y estos deben ser removidos para la construcción de zapatas,

- *Pilotes a través de relleno del terraplén:* los pilotes a ser conducidos a través de terraplenes deben penetrar un mínimo de 3.0m a través de la tierra original a menos que un rechazo sobre la roca o estratos competentes de apoyo se produzca a una penetración menor.

El relleno utilizado para la construcción de terraplenes debe ser un material selecto, que no impida la penetración del pilote a la profundidad requerida.

2.1.12.2 Pozos perforados. El uso del término "pozo perforado" debe interpretarse en el sentido de un pozo construido utilizando perforación (orificio abierto o con perforación de lechada) o la cubierta y equipo de excavación y la tecnología.

Se aplican a los pozos que se construyen utilizando casing advancers que tuerquen o rotan cubiertas en el suelo concurrente con la excavación en lugar de la perforación.

Los pozos perforados pueden ser una alternativa económica para zapatas o cimentaciones pilotadas, en particular cuando las zapatas no pueden fundarse en un suelo adecuado o estrato de roca a una profundidad razonable o en pilotes hincados. Los pozos perforados pueden ser una alternativa económica para zapatas donde la profundidad de socavación es grande. Los pozos perforados también se pueden considerar para resistir altas cargas laterales o axiales, o cuando las tolerancias de deformación son pequeñas. Por ejemplo, un puente móvil es un puente en donde es deseable mantener pequeñas deformaciones.

2.1.13 Análisis Geotécnico

2.1.13.1 Modelo Geotécnico. Este pretende predecir la respuesta del terreno durante la construcción con la finalidad de resolver los problemas geotécnicos mediante métodos numéricos. Entre los modelos más utilizados está el geológico, geomecánico y geotécnico de

comportamiento.

2.1.13.2 Caracterización del suelo: su objetivo principal es identificar, delimitar y caracterizar los diferentes tipos de suelos y rocas en el proyecto a estudiar. Un estudio geotécnico por lo general debe contener un reconocimiento del sitio, plan de exploración, exploración geofísica, pruebas de exploración, pruebas de campo y laboratorio.

Las propiedades geotécnicas del suelo deben ser conocidas, incluyendo las variaciones en el nivel freático.

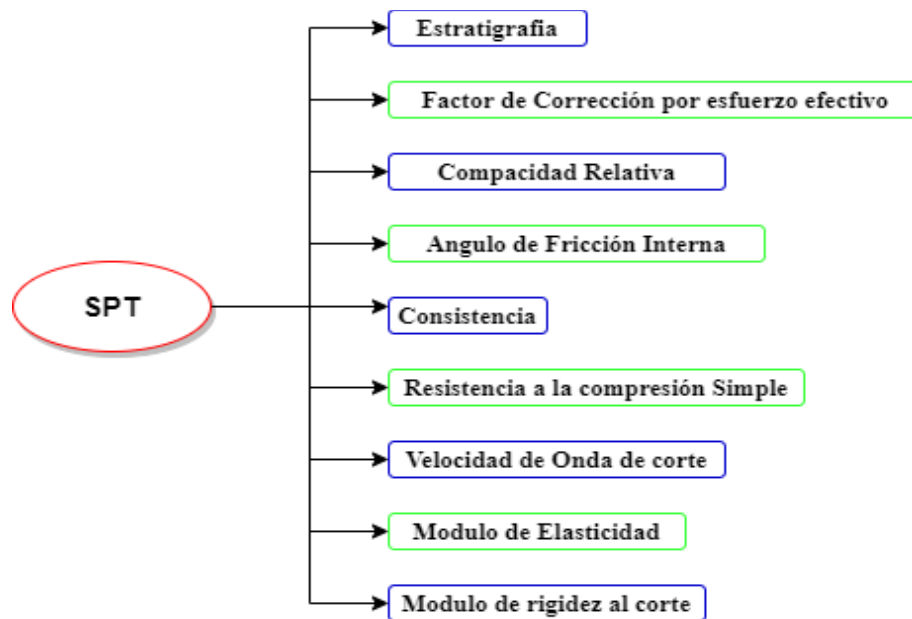
- Parámetros de resistencia para suelos.
- Resistencia no drenada al esfuerzo cortante de suelos cohesivos.
- Resistencia drenada al esfuerzo cortante de suelos cohesivos.
- Resistencia drenada al esfuerzo cortante de suelos no cohesivos.
- Consolidación.
- Parámetros de deformación en suelos.
- Parámetros de resistencia en rocas.
- Parámetros de deformación en rocas.

2.1.13.3 Parámetros de resistencia a partir de la prueba SPT. Es importante contemplar un modelo del comportamiento del suelo junto con las propiedades del suelo en cada uno de los problemas geotécnicos que vayamos a estudiar. Es importante relacionar los errores cometidos en la prueba de penetración estándar, como es el número de golpes, golpes del martillo excéntricos en la barra de perforación; se debe puntualizar la diferencia que existe entre el número de golpes de penetración estándar de campo N y el número corregido por

procedimientos de campo, N_{60} . Estas correcciones por procedimientos de campo incluyen la eficiencia del martillo en una relación de energía igual a 60%. Existen diferentes correlaciones que son utilizadas para determinar los parámetros de resistencia en suelos a partir del número N_{60} obtenido en la prueba de penetración estándar.

A continuación se describen algunas correlaciones,

Figura 6. Relaciones prueba SPT y parámetros geotécnicos



2.1.13.3.1 Estratigrafía: Se define a partir del número de Golpes N para hincar el penetrómetro 30cm. Se fundamenta en la clasificación en campo de suelos de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) o las ASTM.

2.1.13.3.2 Factor de corrección por esfuerzo efectivo: este factor normaliza los valores de N medidos en campo debido al incremento de esfuerzos efectivos. Se utilizan por lo general las correlaciones de:

- Liao y Whitman (1986)
- Skempton (1986)
- Seed et al (1975)
- Peck et al. (1974)
- Bazaraa (1967)
- Teng (1962)
- Tokimatsu y Yoshimi (1983)

2.1.13.3.3 Compacidad relativa, C_r y ángulo de fricción Interna ϕ : encontramos algunas correlaciones entre el número de golpes N y la densidad relativa C_r de los siguientes autores para:

- Gibbs y Holtz (1957)
- Peck y Bazarra (1969)
- Skempton (1986)

Según las especificaciones de diseño para puentes, indican que el ángulo de fricción drenado, de suelos granulares es posible estimarlo con la siguiente tabla,

Tabla 4. Correlación de $(N_1)_{60}$ con Φ'

N_1	Φ'
<4	25-30
4	27-32
10	30-35
30	35-40
50	38-43

Fuente: (American association of state highway and transportation officials - AASHTO, 2012)

Se presentan igual correlaciones para la determinación del ángulo de fricción interna a partir del número de golpes de la prueba de SPT.

- Peck y Hanson (1953)
- Dunham (1954)
- Ohsaki (1959)
- Muromachi (1974)
- Japan Road Association (1990)
- Hatanaka y Uchida (1996)

2.1.13.3.4 Consistencia: tenemos una correlación entre la resistencia a la penetración estándar y la consistencia. Expresión dada por Szechy y Vargi (1978).

2.1.13.3.5 Cohesión: correlación dada por Hara (1971) entre la resistencia no drenada al esfuerzo cortante de arcillas.

2.1.13.3.6 Velocidad de Ondas de corte, V_s : Existen pocos ensayo pero la correlaciones más utilizadas son.

- Kanai (1966)
- Imai y Yoshimura (1970)

- Ohba y Toriumi (1970)
- Shibata (1970)
- Okamoto (1989)

2.1.14 Parámetros de deformación a partir de la prueba SPT

Cálculo del módulo de Young de suelos granulares dado por la correlación de Kulhawy y Mayne. En la norma de diseño de puentes (Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS, 2014) encontramos las tablas para su estimación, donde se menciona el módulo de elasticidad E_s , de suelos granulares el cual es posible estimarlo con base al $(N_1)_{60}$.

2.2 Marco Conceptual

Pino, Lobo, (2017) realizó el análisis de la incidencia técnica al aplicar la norma CCP-14 versus la norma CCDSP 95 en el diseño estructural de la superestructura de un puente reforzado³, el cual aporta una visión detallada de los cambios que se han generado en el diseño de puentes bajo la nueva normatividad Colombiana, estos nos permite revisar las característica y conceptos nuevos que se deben tener en cuenta para el diseño de puentes.

- *Cimentación*: conjunto de elementos que transmiten de manera adecuada los esfuerzos transmitidos por la superestructura y subestructura al suelo.
- *LRFD*: diseño por factores de carga y resistencia.
- *Puente*: se define como toda estructura cuyo ancho sea mayor a 6m. Los puentes están diseñados para salvar un obstáculo. Los puentes que salvan valles o depresiones sobre el

³ Pino, Lobo. (2017). Análisis de la incidencia técnica al aplicar la norma CCP-14 versus la norma CCDSP 95 en el diseño estructural de la superestructura de un puente reforzado simplemente apoyado de 20 metros de longitud. [Tesis de posgrado, Magíster en infraestructura vial], Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia. Disponible en el sitio web: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10029>

terreno se denominan viaductos, los puentes que están por encima de vías se denominan pasos elevados. Los puentes se clasifican según el tipo de material por el cual están conformados, ubicación de la calzada, sistema constructivo, por su uso, sistema estructural etc.

Superestructura: El sistema estructural conformado por un tablero o losa de concreto, el cual soporta directamente las cargas dinámicas (tránsito vehicular) y las distribuye a estribos y pilas.

Subestructura: Son los elementos del puente requerido para apoyar la superestructura y transmitir sus cargas al suelo. Los componentes básicos consisten en estribos, pilas, cimentaciones y losas de acceso. Los estribos y las pilas son las estructuras que sirven de apoyo en los extremos y en la parte intermedia del puente, respectivamente. Las cimentaciones son solo los elementos estructurales que se encargan de transmitir las cargas al suelo de cimentación sin sobrepasar el estado límite de falla y servicio.

(Salazar, Mosquera, & Muñoz) Resalta la importancia de AMEF O FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) por sus siglas en inglés, la cual la definen como una metodología estructurada que permite identificar los posibles fallos en un proceso o diseño, con el fin de establecer los controles adecuados para evitar su ocurrencia. La metodología está definida por las siguientes actividades.

2.2.1 Definición de puntos de mayor Riesgos y Fallos Frecuentes

Está compuesta de la siguiente manera:

Tabla 5. *Puntos de Mayor Riesgo y Fallos frecuentes*

(01) Elemento	(02) Fallos Frecuentes	(03) Índice de Impacto	(04) Índice de probabilidad	(05) Indicé de Criticidad
------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------------	------------------------------

(01) *Elemento*: se plasman los parámetros que componen el proceso a evaluar, en este caso los documentos y requisitos de la norma CCP-14 sección 10 y NSR - 10 título H, para el desarrollo de un estudio de suelos para puentes.

(02) *Fallos Frecuentes*: se identifican los modos de falla para cada uno de los elementos que componen el proceso que se está analizando. Se deben enumerar todos los posibles problemas o contingencias que se puedan dar en el proceso.

(03) *Índice de Impacto*: de acuerdo a la magnitud del impacto que presenta el fallo, se jerarquiza el riesgo bajo la siguiente escala,

Tabla 6. *Índice de Impacto*

Despreciable Muy Bajo	Poco Significativo Bajo	Significativo Medio	Crítico Alto	Desastroso Muy Alto
--------------------------	----------------------------	------------------------	-----------------	------------------------

(04) *Índice de Probabilidad*: es la ocurrencia de que la falla ocurra, su calificación se da bajo la siguiente escala,

Tabla 7. *Índice de Probabilidad*

Improbable Muy Baja	Poco Frecuente Baja	Algunas Veces Media	Varias Veces Alta	Frecuentemente Muy Alta
------------------------	------------------------	------------------------	----------------------	----------------------------

(05) *Indicé de Criticidad*: es un indicador el cual permitirá establecer la jerarquía del proceso

de acuerdo a los elementos analizados. Una vez determinado el índice de impacto y probabilidad de cada uno de los elementos estudiados, se cruzaran en una matriz de valores y colores que establecerán su valor de acuerdo a su riesgo, ver Tabla 11.

- *Criterios Técnicos de Aceptación o Rechazo:* definidos en dos columnas para su correspondiente análisis,

Tabla 8. *Criterio de Aceptación o Rechazo*

(01) Elemento sometido a inspección	(02) Tolerancias o condiciones de no aceptación
--	--

(01) *Elemento sometido a inspección:* indica el elemento que obtuvo un mayor grado de criticidad el cual será sometido a análisis, en este caso las variables que obtengan un valor de 20-25 serán las evaluadas. Las que se encuentran por debajo de este valor necesitan control pero no afectan de manera significativa la operación.

(02) *Tolerancias o condiciones de no aceptación:* son las acciones que permitirán reducir las amenazas, impacto o probabilidad de ocurrencia del fallo. De acuerdo a esto el Ing. encargado de la revisión y/o generación del estudio de suelos tendrá conocimiento de los elementos que pueden generar resultados óptimos o negativos del proceso.

2.3 Marco legal

Para el siguiente trabajo se consideró las siguientes normatividades para el diseño:

CCP - 14 Sección 10 - Cimentaciones: en esta Sección se muestran las disposiciones para el diseño de cimentaciones tales como zapatas, pilotes (hincados o perforados) y micro pilotes.

Se dictan los parámetros para los métodos de análisis y cálculo de la resistencia para

cimentaciones. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS, 2014).

Es importante al revisar la norma Colombiana tener a la mano la AASHTO LRDF BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS ya que algunos de sus apartes tiene una traducción errónea y se pueden cometer equivocaciones en alguna de sus disposiciones.

NSR - 10 Título H - Estudios Geotécnicos: establece los criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS, 2010).

AASHTO T 290 - Contenido de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea: este método de prueba determina el contenido de iones de sulfato soluble en agua en el suelo y establece los métodos de ensayo para su determinación cuantitativa. (American association of state highway and transportation officials - AASHTO, 2012).

AASHTO T 291 - Contenido de cloruros solubles en suelos y agua subterránea: este método de ensayo se basa en el procedimiento de Mohr para la determinación del ión de cloruro con nitrato de plata. (American association of state highway and transportation officials - AASHTO, 2018).

AASHTO T 289 - Determinación del pH del suelo para uso en pruebas de corrosión: este método de prueba se utiliza para determinar el valor de pH del suelo para las pruebas de corrosión. El uso principal de esta prueba es complementar las mediciones de resistividad del suelo y así identificar las condiciones bajo las cuales la corrosión de los metales en el suelo puede acentuarse marcadamente. (American association of state highway and transportation

officials - AASHTO, 2018).

3. Metodología

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño, análisis y aplicación de una ficha de control para un estudio de suelos en la construcción de puentes vehiculares utilizando la normatividad colombiana. Para su correcto desarrollo se clasificaron las siguientes etapas:

Tabla 9. *Desarrollo de la metodología*

ITEM	OBJETIVOS	METODOLOGÍA	HERRAMIENTAS
1	Identificar los requerimientos exigidos en la LRDF-CCP14 y NSR 10 relacionados con las determinaciones a considerar en el proceso de control y revisión de un estudio de suelos en puentes vehiculares.	Revisión de la norma LRDF-CCP14 y NSR - 10 para determinar los requerimientos para el control de un estudio de suelos.	Norma LRDF-CCP14 NSR - 10.
2	Elaborar mediante una ficha de control, las consideraciones establecidas para estudios de suelos en puentes vehiculares, jerarquizados mediante la correlación de una matriz de riesgo generada por la herramienta AMEF.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Identificar los fallos frecuentes con base en los elementos fijados en la ficha de control creada. ○ Determinar el grado de impacto que generan los fallos obtenidos. ○ Identificar la probabilidad de que los fallos ocurran. ○ Fijar el valor de la criticidad de acuerdo a los índices de impacto y probabilidad. ○ Identificar los fallos con índice de criticidad más alto y plantear las acciones para su mitigación. 	Herramienta AMEF (Análisis de Métodos y Efectos de las Fallas)
3	Aplicar la ficha de control e identificar los fallos en el estudio de suelos realizado para el contrato de <i>un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá</i> .	Con la ficha de control obtenida revisar el estudio de suelos <i>“Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá”</i> , para identificar las falencias presentadas.	Estudio de suelos realizado al proyecto <i>“Construcción de un puente en la vía la Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá”</i> , para identificar las falencias presentadas.

Fuente: Propia

- Se realizó una revisión de la normatividad vigente, Norma Colombiana para el Diseño De puentes CCP14 y NSR 10 titulo H, para obtener los parámetros de estudios geotécnicos que basan este proyecto. Se realiza una clasificación y se genera una lista de chequeo práctica para la revisión general de un estudio geotécnico para puentes.
- Se elaboró una matriz de riesgo con la metodología AMEF para identificar las variables significativas en el proceso de la revisión de un estudio geotécnico para puentes, y así determinar y establecer las acciones correctoras necesarias para la prevención del fallo, o la detección del mismo si éste se produce, evitando fallas en el proceso final.

Se evaluará el impacto y probabilidad de los fallos generados en cada uno de los elementos a estudiar, se calculará el índice de criticidad para cada uno y así priorizar los fallos sobre los cuales se deberá generar una acción correctora.

- Se realizó el análisis del estudio de suelos para el caso en estudio “*Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá*”, mediante el uso de la ficha de control generada, se determinaron sus fallas y se dieron recomendaciones.

4. Resultados

En este capítulo se indican los resultados de la investigación realizada:

4.1 Requerimientos exigidos en la LRDF-CCP14 y NSR 10

Identificar los requerimientos exigidos en la LRDF-CCP14 y NSR 10 relacionado con las determinaciones a considerar en el proceso de control y revisión de un estudio de suelo en puentes vehiculares.

4.1.1 Condiciones Mínimas que debe tener un estudio de suelos para puentes vehiculares

A continuación se indican los criterios para la presentación de un estudio geotécnico para puentes vehiculares.

4.1.1.1 Presentación del Estudio. El ingeniero contratista a cargo de la realización del estudio, tendrá que elaborar un informe técnico de acuerdo a los términos de referencia o especificaciones técnicas del proyecto a estudiar, el cual debe contener como mínimo antecedentes, objetivos y alcances del mismo, los datos que se consideren para la ejecución de los trabajos refiriendo las fuentes de su obtención, los resultados de los trabajos de campo, oficina y laboratorio con la descripción, métodos y procedimientos utilizados, tablas, figuras, planos, conclusiones, recomendaciones. Registros de campo y laboratorio, memorias de cálculo, informe fotográfico. Con base a esto el informe debe contener:

4.1.2 Informes

Como mínimo deben contener la siguiente información:

- Nombre del proyecto
- Objetivo
- Alcance
- Introducción
- Antecedentes
- Localización del área a investigar
- Alcance de la investigación
- Resumen de los estudios previos (Geológicos, de mecánica de suelos, geofísicos y

geotécnicos).

- Descripción general de las condiciones climáticas y geológicas del sitio incluyendo formación geológica predominante y los posibles riesgos potenciales del sitio (agrietamientos).
- Descripción de las condiciones regionales como sismo y variación del nivel del agua superficial.
- Trabajos de exploración. Descripción detallada de los trabajos de campo, incluyendo el número, tipo y localización de los sondeos con coordenadas terrestres. Así como los procedimientos utilizados en la exploración, muestreo y transporte de muestras, equipo y materiales utilizados, de igual manera registro de la toma de los sondeos.
- Trabajos de laboratorio. Resultados del análisis, discusión, interpretación y presentación de resultados de las pruebas de laboratorio mostrando gráficas, tablas y figuras si se hace necesario. Se debe presentar anexos con todas las pruebas realizadas, incluyendo curvas de consolidación, compresibilidad, curvas esfuerzo - deformación y copias de los registros tomados en laboratorio.
- Análisis Geotécnico:
 - Modelo geotécnico
 - Análisis geotécnico de la cimentación, estados límite de falla y de servicio.
 - Análisis de estabilidad de taludes
 - Análisis de empuje de tierras
 - Resultados para determinar la susceptibilidad de licuación en los suelos.
- Observaciones y recomendaciones
- Conclusiones

- Anexos. (Planta de ubicación de los sondeos, registros de campo, reportes de laboratorio (incluir las hojas tomadas en el laboratorio), perfil estratigráfico (longitudinal), memorias, reporte fotográfico.

4.1.3 Planos

El plano de ubicación de sondeos así como los perfiles estratigráficos de cada sondeo, perfil estratigráfico longitudinal y/o transversal.

4.1.3.1 Ubicación de los sondeos. El ingeniero especialista en geotecnia responsable del estudio debe revisar que este contenga como mínimo:

- Planta del puente con la ubicación de los ejes de apoyo del puente
- Ubicación de los sondeos en la planta en coordenadas UTM, colocar mediante símbolos los tipos de sondeo, número de sondeo, profundidad.
- Tabla de ubicación de los sondeos que contengan coordenadas (x,y,z).

4.1.3.2 Perfil estratigráfico longitudinal. Se elaborará el perfil estratigráfico longitudinal considerando los perfiles estratigráficos individuales de cada uno de los sondeos ejecutados. Si es el caso de taludes en los cuales se hayan ejecutado sondeos en el sentido transversal se incluirá una sección de construcción con los sondeos y su interpretación.

El plano debe contener como mínimo:

- Descripción de los estratos principales o unidades geotécnicas definidas para fines de análisis.
- Ubicación del nivel de aguas freáticas o en su caso, tirante de agua.
- Notas.

4.1.4 Formatos

4.1.4.1 Registros de campo. Los registros se deben presentar ordenados con sus respectivos anexos. Para cada sondeo ejecutado se debe presentar en el registro:

- Datos del proyecto
- Coordenadas x,y,z.
- Nivel de aguas freáticas
- Descripción de cada una de las muestras recuperadas en los sondeos.

4.1.4.2 Perfiles estratigráficos. Los perfiles estratigráficos deben presentarse en orden en el informe, deben incluir los siguientes datos:

- Datos principales del proyecto.
- Coordenadas x, y, z.
- Nivel de aguas freáticas
- Clasificación de cada estrato mediante pruebas de laboratorio.
- Gráfica del número de golpes de SPT
- Gráfica del contenido de agua y límite líquido contra la profundidad.
- Resultados de laboratorio de las pruebas realizadas a cada estrato, pruebas índice y de resistencia.

4.1.4.3 Entrega del Estudio. Se entregará en físico y en forma digital incluyendo anexos, planos, memorias de cálculo y análisis de ellos.

De acuerdo a los lineamientos exigidos estudiados y presentes en este documento se presenta

una ficha de control para un estudio geotécnico en puentes.

Tabla 10. *Lista de Chequeo Estudio Geotécnico para Puentes*

Lista de Chequeo Estudio Geotécnico para Puentes					
Nombre del Proyecto:					
Contrato N°:					
Zona del estudio:			Municipio:		
Responsable de Elaboración:	Laboratorio:				
	Nombre:				
	N° Matricula Profesional:				
	Título:				
Responsable de Supervisión:	Fecha:				
	Nombre:				
	N° Matricula Profesional:				
	Título:				
Aprobación del Cliente:	Fecha:				
	Nombre:				
	Cargo:				
Descripción		Si	No	No Aplica	Observaciones
El informe realizado es presentado por un laboratorio de suelos con Certificación ISO 9001:2008 e ISO/Ice 17025 requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y de calibración.					
1 Antecedentes					
1.1	Los informes contienen título, fecha, revisión, numeración?				
1.2	Los informes contienen objetivo, alcance, introducción, antecedentes?				
1.3	Se presenta la localización del área a investigar?				
1.4	Se presenta la localización del Puente?				
1.5	Clasificación del Puente?				
1.6	Descripción de la Superestructura?				
1.7	Descripción de la Subestructura?				
1.8	Se presenta resumen de la información Geológica?				
1.9	Contiene la descripción general de las condiciones climáticas y geológicas del sitio incluyendo formación geológica predominante?				
1.10	Se presenta resumen de la información Geofísica?				
1.11	Incluye la descripción de las condiciones regionales como sismo y variación del agua superficial?				
1.12	Se presenta información Hidrológica e hidráulica?				
1.13	Presenta análisis de socavación?				
2 Trabajos de Exploración					
2.1	Se presenta la descripción detallada de los trabajos en campo?				
2.2	Presenta ubicación de los sondeos de acuerdo a la proyección de los apoyos				
2.3	Se utilizo el método de exploración Directa - Pozos a Cielo Abierto?				
2.4	Se utilizo el método de exploración Directa - Prueba de				

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
	Penetración Estándar SPT?				
2.5	Se utilizo el método de exploración Directa - Prueba de Penetración de Cono CPT?				
2.6	En relación a la prueba de piezocono (CPTU), adicional a los datos de resistencia por punta, fricción y presión de poro, ¿se presentan los resultados de la resistencia por punta corregida, la relación de fricción, la resistencia neta del cono, la presión de poro en exceso, la relación de presión de poro, la resistencia del cono normalizada y la relación de fricción normalizada?				
2.7	Se utilizo el método de exploración Directa - Presiómetro de Menard?				
2.8	Otro? Cuál?				
2.9	Presenta información de los procedimientos que se utilizaron en la exploración, muestreo, equipos?				
2.10	El numero de sondeos realizados cumplen con la norma ccp-14 (Sección 10 - Tabla 10.4.2-1)?				
2.10.1	Cimentación Superficial (pilas y/o estribos del puente)				
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho ≤ 30 m.				
	2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho ≥ 30 m.				
2.10.2	Cimentación profunda				
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho ≤ 30 m.				
	2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho ≥ 30 m.				
	Sondeos adicionales si presenta condiciones erráticas altas.				
2.10.3	Muros de Contención en estribos y/o terraplenes				
	1 sondeo por cada terraplén de acceso al puente				
	Sondeos separados cada 30 y 60 m al frente o por detrás del muro.				
	En muros anclados, sondeos adicionales en la zona de anclaje cada 30 a 60m.				
	Muros Soil Nail sondeos adicionales separados cada 30 a 60m.				
2.10.4	Terraplenes Altos				
	2 sondeos perpendiculares al eje del proyecto.				
	En zonas erráticas sondeos cada 60 m.				
	En zonas Homogéneas sondeos cada 150m.				
2.10.5	Cortes en accesos del puente				
	2 sondeos ubicados perpendiculares al eje del proyecto				
	En zonas erráticas sondeos cada 60 m.				
	En zonas Homogéneas sondeos cada 150 m.				
2.11	La localización y profundidad de los sondeos cumple con la norma CCP -14 (Sección 10 - Tabla 10.4.2-1), presentan las coordenadas terrestres, corresponden a los mismos puntos tomados en campo?				
2.11.1	Cimentación Superficial (pilas y/o estribos del puente)				
	1.5 veces el ancho de la cimentación.				
	Hasta una profundidad a la que el esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo efectivo in situ.				
2.11.2	Cimentación Profunda				
	Suelo				
	6 m por debajo del nivel de desplante estimado para la punta del pilote				
	2 veces la máxima dimensión del grupo de pilotes.				

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
	1.5 veces la mínima dimensión de una zapata imaginaria ubicada a 2/3 de la profundidad de las pilas estimadas				
	Roca				
	Pilas proyectadas para trabajar por punta desplantadas en roca, obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.				
	Pilas proyectadas para trabajar por fricción positiva en roca, obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.				
	3 veces el ϕ del pilote y/o 2 veces la dimensión del grupo del pilotes.				
	Para condiciones en roca explorar más de 3 m.				
	Muros de Contención en estribos y/o terraplenes				
	Dos veces la altura del muro o hasta nivel firme de terreno.				
	Profundidad a la que el Esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo insitu $\Delta\sigma_v \leq 10\% \sigma$				
	Terraplenes Altos				
	Hasta suelo firme o dos veces la altura del terraplén				
	Cortes en accesos del puente				
2.12	3 a 5 m por debajo del nivel de corte en suelos blandos hasta suelo firme o una profundidad igual a la altura del corte. Se reporta la posición de los sondeos en planta y elevación de acuerdo a las referencias indicadas por el geotecnista?				
2.13	Se presentan planos en planta, con simbología que contenga tipo de sondeo, número de sondeo, kilómetro y profundidad?				
2.14	Los reportes de campo contienen la información requerida en los formatos utilizados, incluyen los sondeos y pruebas?				
2.15	Son congruentes los datos de los reportes de campo, con los registrados durante la exploración y muestreo, y la ejecución de pruebas?				
2.16	Se presentan los formatos de cada una de las pruebas realizadas, completos y firmados por el Ingeniero Geotecnista?				
3	Trabajos de Laboratorio				
3.1	Las pruebas de laboratorio corresponden con las indicadas por el ingeniero Geotecnista y/o la supervisión?				
3.2	Se realizaron Pruebas Índice.				
3.3	Identificación Visual? <i>ASTM D 2488</i>				
3.4	Contenido de agua? <i>AASHTO T 265</i>				
3.5	Granulometría? <i>AASHTO T 88</i>				
3.6	Límites de Plasticidad? <i>AASHTO T9</i>				
3.7	Peso Volumétrico?				
3.8	Densidad de Sólidos?				
3.9	Compactación AASHTO Estándar / AASHTO Modificada?				
3.10	Contenido de sulfatos? <i>AASHTO T290</i>				
3.11	Contenido de Cloruros? <i>AASHTO T 291</i>				
3.12	PH del suelo? <i>AASHTO T 289</i>				
3.13	Presenta el ensayo de Consolidación?				
3.14	Presenta el ensayo Permeabilidad?				
3.15	Presenta el ensayo de Prueba Triaxial No consolidado No drenado?				
3.16	Presenta la Prueba Triaxial consolidado - drenado?				
3.17	Presenta la Prueba Triaxial consolidado No drenado?				
3.18	Se presenta el análisis, interpretación y discusión de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio?				
4	Análisis Geotécnico				
4.1	Presenta caracterización del suelo?				

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
4.2	Parámetros de Resistencia a partir de la prueba SPT				
4.2.1	Adicional al número de golpes de la prueba SPT, se presenta el número de golpes corregido por esfuerzo y nivel freático donde aplique, la densidad relativa de la arena y el ángulo de fricción interna?				
4.2.2	Las correlaciones utilizadas para la caracterización de los estratos de arena, utilizando el numero de golpes de campo o corregido de la prueba de penetración estándar, son acordes a las condiciones estratigráficas y a las recomendaciones para su uso?				
4.2.3	Se define la Estratigrafía?				
4.2.4	Se presentan los modelos estratigráficos utilizados en los análisis?				
4.2.5	Se presentan los perfiles y los cortes estratigráficos preliminares, con los resultados de las prueba de laboratorio realizadas a la fecha de emisión de los informes?				
4.2.6	Se presenta plano del perfil estratigráfico longitudinal, considerando los perfiles individuales de cada uno de los sondeos ejecutados en los apoyos del puente, mostrando una descripción de los estratos principales definidas.				
4.2.7	En los planos se indica el nivel de aguas freáticas?				
4.2.8	Presenta factor de corrección por esfuerzo efectivo?				
4.2.9	Presenta el cálculo de la Compacidad relativa Cr, Angulo de Fricción Interna, ϕ ?				
4.2.10	Presenta el cálculo de la Cohesión?				
4.2.11	Presenta resultado según correlaciones para la Velocidad de Onda de Corte?				
4.2.12	Presenta cálculos del Módulo de Rigidez de los suelos?				
4.2.13	Presenta resultado según correlaciones entre la penetración estándar y la Consistencia?				
4.3	Parámetros de deformación a partir de la prueba SPT - Módulo de Young o de elasticidad				
4.3.1	Tipo de Cimentación				
	Se presentan modelos geotécnicos para el análisis de las cimentaciones?				
	Superficial? (Zapatas Aisladas, Corridas).				
	Profunda? (Pilotes Hincados, pilas fundidas in sitio)				
4.3.2	Capacidad de Carga				
	Presenta cálculo de capacidad de carga en cimentaciones Superficiales				
	Presenta calculo de Capacidad de carga en roca				
	Capacidad de carga en cimentaciones Profundas				
	<i>Presenta calculo para Pilotes Hincados:</i>				
	Presenta calculo para Capacidad de carga por punta				
	Presenta calculo para Capacidad de carga por fricción o fuste				
	Presenta calculo para Capacidad a tensión				
	Asentamientos				
	Asentamientos en cimentaciones superficiales				
	- Asentamientos en roca?				
	Asentamientos en cimentaciones Profundas				
	Modulo de Reacción				
	Presenta calculo de módulo de reacción en cimentaciones Profundas?				
5	Se presentan memorias de cálculo de los trabajos de gabinete presentados en los reportes?				

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
6	Se presenta el análisis, interpretación y discusión de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio?				
7	Las recomendaciones para el análisis y diseño de las cimentaciones presentadas con los resultados en el informe son congruentes con la concepción del proyecto del puente?				
8	Para el caso del estudio de bancos de materiales, se presentan las recomendaciones para el tratamiento y uso potencial, así como distancia de acarreo, volúmenes potenciales de explotación, características de los materiales a explotar, regalías e información complementaria?				
9	Se dan recomendaciones y/o soluciones para los problemas previstos?				
10	Se relacionan fuentes bibliográficas?				
11	Se entregan los formatos de campo, gabinete completos y firmados?				
12	Se entregan planos, firmados, en físico y medio magnético?				
13	Se entregan memorias editables?				
14	Presenta la relación del personal empleado?				
15	Presenta fotografías y/o videos del trabajo en campo?				
16	Anexa copia de tarjeta profesional del ingeniero Geotecnista encargado del informe, con experiencia mayor a cinco años en diseño geotécnico de cimentaciones?				

Observaciones:

Elaboró:	Supervisor:	Cliente:
-----------------	--------------------	-----------------

Fuente: Propia

4.2 Ficha de control

Elaborar mediante una ficha de control, las consideraciones establecidas para estudios de suelos en puentes vehiculares, jerarquizados mediante la correlación de una matriz de riesgo generada por la herramienta AMEF.

A continuación se determinó las posibles causas de fallas mediante la aplicación de la metodología AMEF para un estudio geotécnico basado en una ficha de control desarrollada bajo la norma CCP-14 y NSR -10, de acuerdo a los siguientes pasos:

- Delimitar los elementos a estudiar.
- Examinar todas las formas posibles en que puedan ocurrir fallas (identificar los modos potenciales de falla).

- Identificar el índice de impacto para cada elemento.
- Identificar la probabilidad de que las fallas del elemento ocurran.
- Calcular la criticidad para cada fallo.
- Establecer los elementos críticos, potenciales a ocurrencia de falla.
- Establecer las condiciones de aceptación o rechazo de los elementos con fallos más frecuentes.
- Encontrar las causas potenciales de la falla y estimar la frecuencia de ocurrencia de falla debido a cada causa.

4.2.1 Índice de Criticidad

El análisis de la criticidad se establece mediante rangos relativos, para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de fallos y los impactos que generan. Ambos índices, se registran en una matriz diseñada en base a un código de colores y valores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo.

Tabla 11. Nivel de criticidad

Índice de Impacto	Índice de Criticidad de Riesgo				
	Índice de Probabilidad				
	Improbable Muy Baja	Poco Frecuente Baja	Algunas Veces Media	Varias Veces Alta	Frecuentemente Muy Alta
Despreciable Muy Bajo	1	2	3	4	5
Poco Significativo Bajo	2	4	6	8	10
Significativo Medio	3	6	9	12	15
Crítico Alto	4	8	12	16	20
Desastroso Muy Alto	5	10	15	20	25

Fuente: Propia

4.2.1.1 Criterios de Aceptación o Rechazo. El último paso consiste en la toma de acciones. Estas acciones pueden estar dirigidas a cambiar el diseño o proceso en aras de reducir la el impacto y la ocurrencia o probabilidad de fallo.

De acuerdo al estudio por el método Análisis Modal de Efecto y Falla se tiene que, las variables con mayor número de riesgo serán las que se revisara sus acciones para solventar las posibles fallas para este caso son las que presentan índice de criticidad entre 20-25, señaladas en color rojo.

Los métodos de exploración, trabajos de laboratorio y análisis geotécnico son variables que tienen que tener un control mayor, ya que en estas se pueden cometer fallas que ocasionarían que el estudio final tenga incongruencias y fallas en el diseño.

Se analizaron los elementos que ponen la ficha técnica bajo la metodología de Análisis Modal de Efecto y Falla, teniendo como resultado;

Tabla 12. Puntos de Mayor Riesgo y Fallos frecuentes

Definición de puntos de mayor riesgos y Fallos Frecuentes					
Nº	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Índice de Criticidad
	El Informe realizado es Presentado por un Laboratorio de suelos con Certificación ISO 9001:2008 e ISO/Iec 17025 requisitos generales para la competencia de lab. de ensayo y de calibración	No cumple, No presenta garantías ni calidad en los trabajos realizados.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
1	Antecedentes				
1.1	Los informes contienen título, fecha, revisión, numeración?	El Ing. encargado no lo vio relevante. Olvido involuntario.	Despreciabl e Muy Bajo	Algunas Veces Media	6
1.2	Los informes contienen objetivo, alcance, introducción, antecedentes?	No se realiza una investigación para conocer antecedentes en la zona. Puede generar falsas consideraciones a nivel ingenieril.	Significativ o Medio	Algunas Veces Media	9
1.3	Se presenta la	No se conoce el sitio de la obra, si	Crítico	Poco	8

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Indicé de Criticidad
1.4	localización del área a investigar? Se presenta localización del Puente?	existen peligros en el sitio, acceso para la toma de muestras etc. No presenta ubicación topográfica del puente, se desconoce el emplazamiento de los apoyos, genera incertidumbre para los sondeos.	Alto Desastroso Muy Alto	Frecuente Baja Varias Veces Alta	20
1.5	Clasificación del Puente?	No se presenta información del tipo de puente a diseñar según su propósito, no se puede avanzar en los estudios, se desconoce ubicación de apoyos.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
1.6	Descripción de la Superestructura?	No se definen sus componentes básicos (losa, vigas, ménsulas). El Ing. geotecnista no realizó el análisis del puente a proyectar según su necesidad.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
1.7	Descripción de la Subestructura?	No se definen sus componentes básicos (pilas, zapatas de distribución, estribos), no se puede realizar el estudio geotécnico.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
1.8	Se presenta resumen de la información Geológica?	No se definen sus componentes básicos (losa, vigas, ménsulas). El Ing. geotecnista no realizó el análisis del puente a proyectar según su necesidad.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
1.9	Contiene la descripción general de las condiciones climáticas y geológicas del sitio incluyendo formación geológica predominante?	No se realizó estudios y análisis de la zona geológica. No se pueden definir los riesgos, si existen agrietamientos, fisiografía etc. Se pueden generar fallos en el comportamiento de la cimentación.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	17
1.10	Se presenta resumen de la información Geofísica?	Si la envergadura del proyecto lo amerita (puentes especiales) y no se hacen los respectivos métodos de exploración geofísicos no se podrá evaluar de una manera correcta la respuesta ante un sismo.	Crítico Alto	Frecuentemen te Muy Alta	20
1.11	Incluye la descripción de las condiciones regionales como sismo y variación del agua superficial?	No presenta análisis para revisar niveles del agua superficial, información incompleta.	Significativ o Medio	Varias Veces Alta	12
1.12	Se presenta información Hidrológica e hidráulica?	Si no se presenta no se puede determinar el nivel máximo de agua, los datos necesarios como la velocidad, tirante de agua que ayudan al cálculo de socavación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Indicé de Criticidad
1.13	Presenta análisis de socavación?	Si no se presentan cálculos de la socavación local y/o general se tendrá un análisis inconsistente de la cimentación en los apoyos del puente que se encuentren dentro del cauce.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2 Trabajos de Exploración					
2.1	Presenta ubicación de los sondeos de acuerdo a la proyección de los apoyos	La ubicación debe ir de manera exacta con las coordenadas donde se fijarán los apoyos. Si no presenta la localización el análisis y perfil de suelo será erróneo para los cálculos de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	los trabajos en campo?	beneficio, definir equipos para evitar fallos en su desarrollo.	Medio	Media	
2.3	Se utilizó el método de exploración Directa - Pozos a Cielo Abierto.	Si se propone por el Ing. Estructural se debe realizar para profundidades cortas de lo contrario no es viable.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
2.4	Se utilizó el método de exploración Directa - Prueba de Penetración Estándar SPT.	Si se ejecuta de manera errónea el ensayo se obtendrán inconsistencias en los valores de las propiedades de resistencia en el suelo. (Recordar que esta prueba genera mejores resultados en suelos granulares).	Desastroso Muy Alto	Frecuentemen te Muy Alta	25
2.5	Se utilizó el método de exploración Directa - Prueba de Penetración de Cono CPT.	Si se ejecuta de manera errónea el ensayo se obtendrán inconsistencias en los valores de las propiedades de resistencia en el suelo. (Recordar que esta prueba genera mejores resultados en suelos blandos).	Desastroso Muy Alto	Frecuentemen te Muy Alta	25
2.6	Con relación a la prueba de piezocono (CPTU), adicional a los datos de resistencia por punta, fricción y presión de poro, ¿Se presentan los resultados de la resistencia por punta corregida, la relación de fricción, la resistencia neta del cono, la presión de poro en exceso, la relación de presión de poro, la resistencia del cono normalizada y la relación de fricción normalizada?	Si se ejecuta de manera errónea el ensayo se obtendrán inconsistencias en los valores de las propiedades de resistencia en el suelo. (Recordar que esta prueba genera mejores resultados en suelos blandos).	Crítico Alto	Varias Veces Alta	20

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Índice de Criticidad
2.7	Se utilizó el método de exploración Directa - Presiómetro de Menard?	Si se ejecuta de manera errónea el ensayo se obtendrán inconsistencias en los valores de las propiedades de resistencia en el suelo. (Recordar que esta prueba genera mejores resultados en todo tipo de suelos).	Crítico Alto	Varias Veces Alta	20
2.9	Presenta información de los procedimientos que se utilizaron en la exploración, muestreo, equipos?	No se define procedimientos, calibración de equipos, puede ocasionar fallos en los cálculos	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
2.10	El numero de sondeos realizados cumplen con la norma ccp-14 (Sección 10 - Tabla 10.4.2-1)?				
2.10.1	Cimentación Superficial (pilas y/o estribos del puente)				
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\leq 30m$.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\geq 30m$.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.10.2	Cimentación profunda				
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\leq 30m$.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\geq 30m$.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Sondeos adicionales si presenta condiciones erráticas altas.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.10.3	Muros de Contención en estribos y/o terraplenes				
	1 sondeo por cada terraplén de acceso al puente	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Sondeos separados cada 30 y 60m al frente o por detrás del muro.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	En muros anclados, sondeos adicionales en	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Indicé de Criticidad
	la zona de anclaje cada 30 a 60m.	Información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.			
	Muros Soil Nail sondeos adicionales separados cada 30 a 60m.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.10.4 Terraplenes Altos					
	2 sondeos perpendiculares al eje del proyecto.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	En zonas erráticas sondeos cada 60 m.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	En zonas Homogéneas sondeos cada 150m.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.10.5 Cortes en accesos del puente					
	2 sondeos ubicados perpendiculares al eje del proyecto	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas al detalle.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	En zonas erráticas sondeos cada 60 m.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	En zonas Homogéneas sondeos cada 150m.	Si no se realizan los sondeos necesarios no se puede tener la información suficiente para definir las condiciones estratigráficas.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.11	La localización y profundidad de los sondeos cumple con la norma CCP -14 (Sección 10 - Tabla 10.4.2-1), presentan las coordenadas terrestres, corresponden a los mismos puntos tomados en campo?	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.11.1 Cimentación Superficial (pilas y/o estribos del puente)					
	1.5 veces el ancho de la cimentación.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Índice de Criticidad
	Hasta una profundidad a la que el esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo efectivo in situ.	Si no se cumplen con la profundidad mínima, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.11.2 Cimentación Profunda					
Suelo					
	6m por debajo del nivel de desplante estimado para la punta del pilote	Si no se cumplen con la profundidad mínima, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	2 veces la máxima dimensión del grupo de pilotes.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	1.5 veces la mínima dimensión de una zapata imaginaria ubicada a 2/3 de la profundidad de las pilas estimadas.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
Roca					
	Pilas proyectadas para trabajar por punta desplantadas en roca obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Pilas proyectadas para trabajar por fricción positiva en roca, obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	3 veces el \varnothing del pilote y/o 2 veces la dimensión del grupo del pilotes.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Indicé de Criticidad
	Para condiciones en roca explorar más de 3 m.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
Muros de Contención en estribos y/o terraplenes					
2	Dos veces la altura del muro o hasta nivel firme de terreno.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Profundidad a la que el Esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo insitu $\Delta\sigma_v \leq 10\% \sigma$	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
Terraplenes Altos					
	Hasta suelo firme o dos veces la altura del terraplén	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
Cortes en accesos del puente					
	3 a 5m por debajo del nivel de corte	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	En suelos blandos hasta suelo firme o una profundidad igual a la altura del corte.	Si no se cumplen con la profundidad mínima de los sondeos, no se garantiza que se hayan explorado y muestreado estratos suficientemente resistentes que garanticen el apoyo de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
2.12	Se reporta la posición de los sondeos en planta y elevación de acuerdo a las referencias indicadas por el geotecnista?	Si no se presenta información no es posible revisar las coordenadas reales con las tomadas en campo, se puede presentar errores de localización.	Significativo o Medio	Algunas Veces Media	9
2.13	Se presentan planos en planta, con simbología que contenga tipo de sondeo, numero de	Si no se presenta información no es posible revisar las coordenadas reales con las tomadas en campo, se puede presentar errores de	Significativo o Medio	Algunas Veces Media	9

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Índice de Criticidad
2.14	sondeo, kilometro y profundidad? Los reportes de campo contienen la información requerida en los formatos utilizados, incluyen los sondeos y pruebas?	localización. Si no se presentan formatos de campo no se puede corroborar con los diseños y los resultados pueden variar.	Significativo o Medio	Poco Frecuente Baja	6
2.15	Son congruentes los datos de los reportes de campo, con los registrados durante la exploración y muestreo, y la ejecución de pruebas?	Si no se presentan formato de campo no se puede corroborar con los diseños y los resultados pueden variar.	Significativo o Medio	Poco Frecuente Baja	6
2.16	Se presentan los formatos de las pruebas realizadas, completos y firmados por el Ingeniero Geotecnista?	Si el Ing. Geotecnista no presenta la firma y sello correspondiente no es posible recibir el informe, no garantiza el trabajo efectuado.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
3	Trabajos de Laboratorio				
3.1	Las pruebas de laboratorio corresponden con las indicadas por el ingeniero Geotecnista y/o la supervisión?	Ausencia de información no brinda resultados óptimos para ver las características del suelo.	Crítico Alto	Poco Frecuente Baja	8
3.2	Se realizaron Pruebas Índice				
3.3	Identificación Visual? <i>ASTM D 2488</i>	No se utiliza como base la norma, se generan fallos al clasificar el suelo.	Significativo o Medio	Algunas Veces Media	9
3.4	Contenido de agua? <i>AASHTO T 265</i>	Brinda el punto de partida para la clasificación del suelo, no debe faltar en el estudio.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
3.5	Granulometría? <i>AASHTO T 88</i>	No se realiza, no se tiene cálculo de compacidad. Ensayo necesario para apoyos que están dentro del cauce del río.	Crítico Alto	Algunas Veces Media	12
3.6	Limites de Plasticidad? <i>AASHTO T9</i>	Ensayo necesario para la clasificación del suelo a estudiar.	Crítico Alto	Algunas Veces Media	12
3.7	Peso Volumétrico?	Ensayo necesario para la clasificación del suelo a estudiar.	Crítico Alto	Algunas Veces Media	12
3.8	Densidad de Sólidos?	No brinda aspectos relevantes para el cálculo de la clasificación del suelo.	Poco Significativo o Bajo	Varias Veces Alta	8
3.9	Compactación AASHTO Estándar / AASHTO Modificada?	Ensayo necesario para definir las propiedades del suelo a estudiar.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Índice de Criticidad
3.10	Contenido de sulfatos? <i>AASHTO T290</i>	Es primordial realizarlo, si no se efectúa ocasiona que las altas concentraciones de sulfatos entren en contacto con los compuestos hidratados de la pasta de cemento, y produzca una reacción química que genera expansión en la pasta y crea una presión capaz de romperla y finalmente desintegrar el concreto.	Crítico Alto	Frecuentemente Muy Alta	20
3.11	Contenido de Cloruros? <i>AASHTO T 291</i>	Al no desarrollar este ensayo, los cloruros pueden dar lugar a la destrucción de la capa pasivante del acero, (corrosión del acero).	Crítico Alto	Frecuentemente Muy Alta	20
3.12	PH del suelo? <i>AASHTO T 289</i>	Al no realizar este ensayo no se puede determinar el grado de agresividad de los componentes químicos que se encuentran en el terreno, y puedan afectar la estructura.	Crítico Alto	Frecuentemente Muy Alta	16
3.13	Presenta el ensayo de Consolidación?	Si no se presenta el cálculo de la consolidación no podemos estimar la magnitud de los asentamientos y la velocidad en que ellos se producen.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
3.14	Presenta el ensayo de Permeabilidad?	No brinda aspectos para el cálculo de la clasificación del suelo.	Poco Significativo o Bajo	Poco Frecuente Baja	4
3.15	Presenta el ensayo de Prueba Triaxial No consolidado No drenado?	No se realiza, no se tienen las propiedades para determinar los parámetros de la resistencia al cortante.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
3.16	Presenta la Prueba Triaxial consolidado - drenado?	No se realiza, no se tienen las propiedades para determinar los parámetros de la resistencia al cortante.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
3.17	Presenta la Prueba Triaxial consolidado No drenado?	No se realiza, no se tienen las propiedades para determinar los parámetros de la resistencia al cortante.	Crítico Alto	Algunas Veces Media	12
3.18	Se presenta el análisis, interpretación y discusión de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio.	El Ing. Geotecnista no lo vio relevante, no se pueden identificar las acciones a seguir para el diseño de la cimentación.	Crítico Alto	Algunas Veces Media	12
4	Análisis Geotécnico				
4.1	Caracterización del suelo				
4.2	Parámetros de Resistencia a partir de la prueba SPT				

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Índice de Criticidad
4.2.1	Adicional al número de golpes de la prueba SPT, se presenta el número de golpes corregido por esfuerzo y nivel freático donde aplique, la densidad relativa de la arena y el ángulo de fricción interna?	Al no presentar las correspondientes correcciones no se puede determinar con seguridad las propiedades geomecánicas del suelo.	Crítico Alto	Algunas Veces Media	12
4.2.2	Las correlaciones utilizadas para la caracterización de los estratos de arena, utilizando el número de golpes de campo o corregido de la prueba de penetración estándar, son acordes a las condiciones estratigráficas y a las recomendaciones para su uso?	Al no presentar las correspondientes correcciones no se puede determinar con seguridad las propiedades geomecánicas del suelo.	Crítico Alto	Algunas Veces Media	12
4.2.3	Se define la Estratigrafía?	No se define el tipo de suelo, estratos, espesores para diseño de cimentación. Informe incompleto.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
4.2.4	Se presentan los modelos estratigráficos utilizados en los análisis?	No se define el tipo de suelo, estratos, espesores para diseño de cimentación. Informe incompleto.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
4.2.5	Se presentan los perfiles y los cortes estratigráficos preliminares, con los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a la fecha de emisión de los informes?	No se define el tipo de suelo, estratos, espesores para diseño de cimentación. Informe incompleto.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
4.2.6	Se presenta plano del perfil estratigráfico longitudinal, considerando los perfiles individuales de cada uno de los sondeos ejecutados en los apoyos del puente, mostrando una descripción de los estratos principales definidas.	No lo vio relevante por el Ing. Geotecnista. Fallo en el análisis de la información, no se puede considerar resultados óptimos del estudio.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
4.2.7	En los planos se indica el nivel de aguas freáticas?	Fallo potencial en el cálculo de la cimentación. Posible fallo estructural.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20

4.2.8	Presenta factor de corrección por esfuerzo efectivo?	Al no presentar las correspondientes correcciones no se puede determinar con seguridad las propiedades geomecánicas del suelo.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	15
4.2.9	Presenta el cálculo de la Compacidad relativa Cr, Angulo de Fricción Interna, ϕ ?	Al no calcularlo no se puede identificar el comportamiento mecánico de la arena, indicar el grado de compactación del suelo y consolidación. Informe geotécnico con falencias.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
4.2.10	Presenta el cálculo de la Cohesión?	No brinda aspectos relevantes para el cálculo y determinación de las propiedades del suelo.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
4.2.11	Presenta resultado según correlaciones para la Velocidad de Onda de Corte?	No brinda aspectos relevantes para el cálculo y determinación de las propiedades del suelo.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
4.2.12	Presenta cálculos del Modulo de Rigidez de los suelos?	No brinda aspectos relevantes para el cálculo y determinación de las propiedades del suelo.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
4.2.13	Presenta resultado según correlaciones entre la penetración estándar y la Consistencia?	No brinda aspectos relevantes para el cálculo y determinación de las propiedades del suelo.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
4.3	Parámetros de deformación a partir de la prueba SPT - Módulo de Young o de elasticidad	No brinda aspectos relevantes para el cálculo y determinación de las propiedades del suelo.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
4.3.1 Tipo de Cimentación					
	Se presentan modelos geotécnicos para el análisis de las cimentaciones?	No se definen por el Ing. Geotecnista. No presenta validez el informe.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Superficial? (Zapatas Aisladas, Corridas).	No se definen por el Ing. Geotecnista. No presenta validez el informe.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Profunda? (Pilotes Hincados, pilas fundidas en sitio)	No se definen por el Ing. Geotecnista. No presenta validez el informe.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
4.3.2 Capacidad de Carga					
	Presenta cálculo de capacidad de carga en cimentaciones Superficiales	No se presenta, fallos en el diseño de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Presenta cálculo de capacidad de carga en roca	No se presenta, fallos en el diseño de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
Capacidad de carga en cimentaciones Profundas					
	Presenta calculo para Pilotes Hincados:	No se presenta, fallos en el diseño de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20
	Presenta calculo para Capacidad de carga por	No se presenta, fallos en el diseño de la cimentación.	Desastroso Muy Alto	Varias Veces Alta	20

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Indicé de Criticidad
	punta Presenta calculo para Capacidad de carga por fricción o fuste	No se presenta, fallos en el diseño de la cimentación.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	20
	Presenta calculo para Capacidad a tensión	No se presenta, fallos en el diseño de la cimentación.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	20
Asentamientos					
	Asentamientos en cimentaciones superficiales	No se presentan cálculos, se pueden generar desplazamientos, giros de la estructura, fisuras u otras patologías.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	12
	Asentamientos en roca?	No se presentan cálculos, se pueden generar desplazamientos, giros de la estructura, fisuras u otras patologías.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	12
	Asentamientos en cimentaciones Profundas	No se presentan cálculos, se pueden generar desplazamientos, giros de la estructura, fisuras u otras patologías.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	12
Modulo de Reacción					
	Presenta calculo de Modulo de reacción en cimentaciones Profundas?	No se presenta, falla en el cálculo de la respuesta del suelo.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	12
5	Se presentan memorias de cálculo de los trabajos de gabinete presentados en los reportes?	Olvido involuntario de la información, informe poco solido y confiable.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
6	Se presenta el análisis, interpretación y discusión de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio?	Sin análisis presente en el informe no se puede definir las pautas para el diseño y construcción del proyecto.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
7	Las recomendaciones para el análisis y diseño de las cimentaciones presentadas con los resultados en el informe son congruentes con la concepción del proyecto del puente?	Las recomendaciones son punto base para tener en cuenta si existen advertencias en lo encontrado en el suelo a cimentar.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
8	Para el caso del estudio de bancos de materiales, se presentan las recomendaciones para el tratamiento y uso potencial, así como distancia de acarreo,	No se presenta, no interfiere en el resultado final.	Poco Significativo o Bajo	Varias Veces Alta	8

N°	Elemento	Fallos Frecuentes	Índice de Impacto	Índice de Probabilidad	Indicé de Criticidad
	volúmenes potenciales de explotación, características de los materiales a explotar, regalías e información complementaria?				
9	Se dan recomendaciones y/o soluciones para los problemas previstos?	No presenta en el informe, no lo vio relevante. Genera incertidumbre en el Ing. diseñador.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	16
10	Se relacionan fuentes bibliográficas?	No se vio relevante adjuntarlo al informe, no afecta los resultados.	Poco Signif. Bajo	Varias Veces Alta	8
11	Se entregan los formatos de campo, gabinete completos y firmados?	No presenta solidez en el estudio, olvido involuntario, son de gran importancia la información tomada en campo y laboratorio para cotejar la información presentada.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	12
12	Se entregan planos, firmados, en físico y medio magnético?	No presenta solidez en el estudio, olvido involuntario, no garantiza los resultados presentados.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	12
13	Se entregan memorias editables?	No se presentan por olvido y/o ausencia de las mismas, no genera solidez en los resultados que presente.	Desastroso Muy Alto	Algunas Veces Media	12
14	Presenta la relación del personal empleado?	No se vio relevante adjuntarlo al informe, no afecta los resultados.	Poco Signif. Bajo	Varias Veces Alta	4
15	Presenta fotografías y/o videos del trabajo en campo?	No presenta solidez en el estudio, olvido involuntario, no se realizaron estas actividades, no genera afectación en los resultados.	Significativo Medio	Algunas Veces Media	9
16	Anexa copia de tarjeta profesional del ingeniero Geotecnista encargado del informe, con experiencia mayor a cinco años en diseño geotécnico de cimentaciones?	No presenta, no cumple con la experiencia, si no presenta se exime de responsabilidades.	Crítico Alto	Varias Veces Alta	20

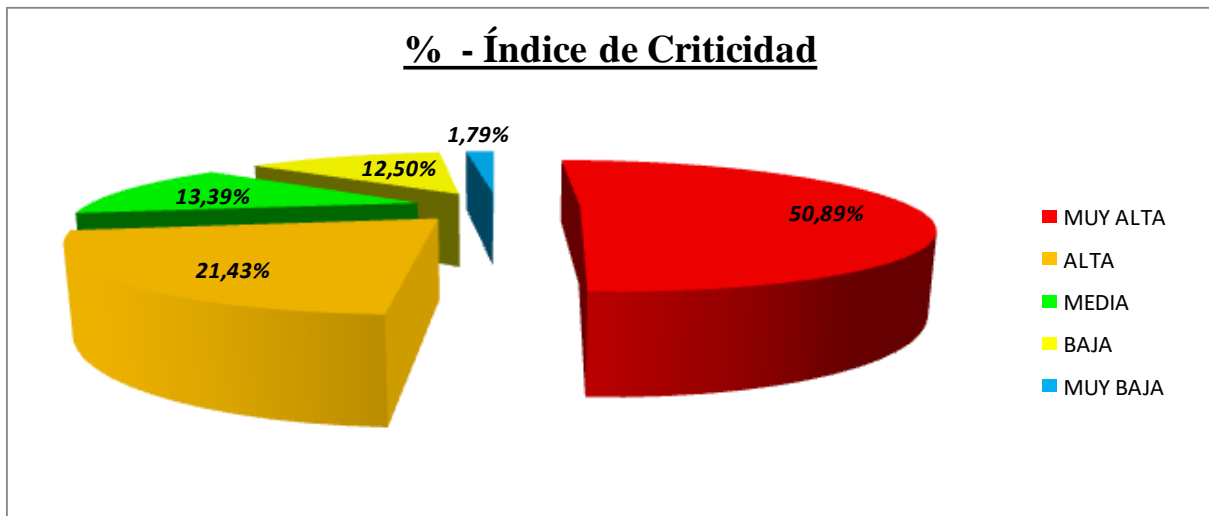
Fuente: Propia

La ficha de control para el estudio de puentes, presentan un índice de riesgo del 50.89%, para lo cual se tendrán que revisar las acciones que garanticen que los fallos no se volverán ocurrentes.

Tabla 13. Valorización de Riesgos

Valorización de Riesgos		
MUY ALTA	>20	50,89%
ALTA	16 -20	21,43%
MEDIA	10- 15	13,39%
BAJA	5 - 9	12,50%
MUY BAJA	1 - 4	1,79%

Fuente: Propia

Figura 7. Índice de Criticidad

Una vez definidos los índices de criticidad, se analizan los elementos que representan un riesgo *muy alto*. Se indica para cada uno de estos las tolerancias de no aceptación.

Registrados los elementos que presentan mayor riesgo de fallo, el ingeniero Geotecnista encargado de su elaboración debe revisar detalladamente los apartes de la Norma, para evitar errores en los resultados finales.

Tabla 14. *Criterios técnicos de aceptación y rechazo*

Criterios Técnicos de Aceptación o Rechazo	
Elemento sometido a inspección	Tolerancias o condiciones de no aceptación
El Informe realizado es Presentado por un Laboratorio de suelos con Certificación Iso 9001:2008 e ISO/IEC 17025 requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y de calibración	El laboratorio debe estar certificado de acuerdo a la normatividad Colombiana, garantiza confiabilidad y garantía de los trabajos realizados.
1 Antecedentes	
1.4 Se presenta la localización del Puente?	Una elección favorable de la ubicación del puente vehicular permitirá reducir impactos adversos de la región, problemas hidráulicos, costos de mantenimiento e inspección, socavación e inundaciones; para esto se debe revisar la Norma CCP-14, sección 2, numeral 2.3, y verificar sus especificaciones.
1.10 Se presenta resumen de la información Geofísica?	Con las pruebas geofísicas se obtienen grandes ventajas en la caracterización de los suelos en especial en depósitos de grava, cubren un área grande de estudio, establecen la estratificación de los materiales del subsuelo, el perfil de la parte superior del lecho rocoso y la calidad del mismo, nivel del agua subterránea, los límites de los tipos de los depósitos de suelo, presencia de cavidades, depósitos anormales, tuberías enterradas, y la profundidad de las cimentaciones existentes, es necesario cumplir con la Norma CCP-14, sección 10.
1.12 Se presenta información Hidrológica e hidráulica?	Los estudios hidráulicos e hidrológicos permiten determinar zonas de inundación, volúmenes de escorrentía, velocidad, flujo de las corrientes y sus efectos en el puente. Se debe revisar la Norma CCP-14, sección 2, numeral 2.6, si cumple sus especificaciones.
1.13 Presenta análisis de socavación?	Se debe realizar el cálculo de la socavación local, general y por contracción de la zona, para fines de análisis de la cimentación de los apoyos del puente que se encuentren dentro del cauce del río, esto evitara una estructura menos vulnerable. Se debe cumplir con lo establecido en la Norma CCP-14, sección 10 y sección 2.
2 Trabajos De Exploración	

Elemento sometido a inspección		Tolerancias o condiciones de no aceptación
2.1	Presenta ubicación de los sondeos de acuerdo a la proyección de los apoyos	La ubicación de los sondeos debe ser precisa para poder determinar con exactitud razonable la caracterización geotécnica. Debe ir de la mano el trazado topográfico del proyecto. Punto de partida para generar un buen estudio geotécnico. Revisar la Norma CCP-14, sección 10, tabla 10.4.2-1 si cumple con las especificaciones dadas.
2.4	Se utilizo el método de exploración Directa - Prueba de Penetración Estándar SPT.	El método SPT, permitirá el desarrollo del estudio geotécnico, este método de exploración nos determinara la resistencia a la penetración. Se deben seguir los lineamientos de la Norma CCP-14, sección 10, ASTM D1586-08, y Art. H.3.3.3 de la NSR - 10 - Propiedades básicas mínimas de los suelos.
2.5	Se utilizo el método de exploración Directa - Prueba de Penetración de Cono CPT.	El método de exploración CPT, permitirá el desarrollo del estudio geotécnico, determinará la resistencia a la penetración. Se deben seguir los lineamientos de la Norma CCP-14, sección 10, ASTM D3441-05.
2.6	Con relación a la prueba de piezocono (CPTU), adicional a los datos de resistencia por punta, fricción y presión de poro, ¿Se presentan los resultados de la resistencia por punta corregida, la relación de fricción, la resistencia neta del cono, la presión de poro en exceso, la relación de presión de poro, la resistencia del cono normalizada y la relación de fricción normalizada?	El método de exploración CPT, permitirá el desarrollo del estudio geotécnico, determinará la resistencia a la penetración. Se deben seguir los lineamientos de la Norma CCP-14, sección 10, ASTM D3441-05.
2.7	Se utilizo el método de exploración Directa - Prisionero de Menard?	Este ensayo presiómetrico funciona para todo tipo de suelos, permite calcular la capacidad portante, asentamientos, rozamiento en el suelo. Se debe seguir los lineamientos de la norma ASTM D1586-84 si se va a realizar.
2.10 El número de sondeos realizados cumplen con la norma ccp-14(Sección 10 - Tabla 10.4.21)?		
2.10.1 Cimentación Superficial (pilas y/o estribos del puente)		
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\leq 30m$.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea, el Ing. Geotecnista podrá aumentar los sondeos si lo ve necesario.
	2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\geq 30m$.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea, el Ing. Geotecnista podrá aumentar los sondeos si lo ve necesario.
2.10.2 Cimentación profunda		
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o	Revisar el cumplimiento de los parámetros

Elemento sometido a inspección	Tolerancias o condiciones de no aceptación
estribos con ancho $\leq 30\text{m}$.	establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\geq 30\text{m}$.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
Sondeos adicionales si presenta condiciones erráticas altas.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
2.10.3 Muros de Contención en estribos y/o terraplenes	
1 sondeo por cada terraplén de acceso al puente	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
Sondeos separados cada 30 y 60m al frente o por detrás del muro.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
En muros anclados, sondeos adicionales en la zona de anclaje cada 30 a 60m.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
Muros Soil Nail sondeos adicionales separados cada 30 a 60m.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
2.10.4 Terraplenes Altos	
2 sondeos perpendiculares al eje del proyecto.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
En zonas erráticas sondeos cada 60 m.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
En zonas Homogéneas sondeos cada 150m.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
2.10.5 Cortes en accesos del puente	
2 sondeos ubicados perpendiculares al eje del proyecto	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.
En zonas erráticas sondeos cada 60 m.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede

Elemento sometido a inspección	Tolerancias o condiciones de no aceptación
<p data-bbox="289 338 808 369">En zonas Homogéneas sondeos cada 150m.</p> <p data-bbox="204 426 824 590">2.11 La localización y profundidad de los sondeos cumple con la norma CCP -14 (Sección 10 - Tabla 10.4.2-1), presentan las coordenadas terrestres, corresponden a los mismos puntos tomados en campo?</p> <p data-bbox="289 657 724 688">1.5 veces el ancho de la cimentación.</p> <p data-bbox="289 789 824 888">Hasta una profundidad a la que el esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo efectivo in situ.</p>	<p data-bbox="846 245 1409 277">ocasionar una caracterización de suelos errónea.</p> <p data-bbox="846 287 1443 417">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, el no cumplimiento puede ocasionar una caracterización de suelos errónea.</p> <p data-bbox="846 428 1443 583">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se pueden incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p> <p data-bbox="846 594 1443 749">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p> <p data-bbox="846 760 1443 915">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se pueden incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p>
2.11.2 Cimentación Profunda	
Suelo	
<p data-bbox="289 1045 724 1108">6m por debajo del nivel de desplante estimado para la punta del pilote</p>	<p data-bbox="846 995 1443 1157">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p>
<p data-bbox="289 1213 789 1276">2 veces la máxima dimensión del grupo de pilotes.</p>	<p data-bbox="846 1159 1443 1329">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p>
<p data-bbox="289 1365 824 1463">1.5 veces la mínima dimensión de una zapata imaginaria ubicada a 2/3 de la profundidad de las pilas estimadas.</p>	<p data-bbox="846 1331 1443 1501">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p>
<p data-bbox="289 1537 824 1635">Pilas proyectadas para trabajar por punta desplantadas en roca, obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.</p>	<p data-bbox="846 1503 1443 1673">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p>
<p data-bbox="289 1730 789 1829">Pilas proyectadas para trabajar por fricción positiva en roca, obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.</p>	<p data-bbox="846 1675 1443 1843">Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.</p>

Elemento sometido a inspección	Tolerancias o condiciones de no aceptación
3 veces el ϕ del pilote y/o 2 veces la dimensión del grupo del pilotes.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.
Para condiciones en roca explorar más de 3 m.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.
Muros de Contención en estribos y/o terraplenes	
Dos veces la altura del muro o hasta nivel firme de terreno.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se puede incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.
Profundidad a la que el Esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo insitu $\Delta\sigma_v \leq 10\% \sigma$	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se pueden incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.
Terraplenes Altos	
Hasta suelo firme o dos veces la altura del terraplén	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se pueden incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.
Cortes en accesos del puente	
3 a 5m por debajo del nivel de corte	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se pueden incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.
En suelos blandos hasta suelo firme o una profundidad igual a la altura del corte.	Revisar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la tabla 10.4.2-1 sección 10 de la Norma CCP-14, si no se verifican se pueden incurrir a un cálculo equivocado de la cimentación.
3 Trabajos de Laboratorio	
3.10 Contenido de sulfatos? <i>AASHTO T290</i>	Revisar la norma AASHTO T 290 y verificar sus especificaciones. El desarrollo de este ensayo permitirá identificar el contenido de sulfatos presente en el suelo y mas en aquellas zonas donde se prevea la presencia de elementos agresivos, ya que el ataque de sulfatos en el hormigón es un mecanismo de degradación sumamente agresivo, actúa directamente sobre la integridad de la matriz cementicia modificando sus características de diseño.

Elemento sometido a inspección	Tolerancias o condiciones de no aceptación
<p>3.11 Contenido de Cloruros? <i>AASHTO T 291</i></p>	<p>Revisar la norma AASHTO T 291 y verificar sus especificaciones. El desarrollo de este ensayo permite identificar el contenido de cloruros presente en el suelo y mas en aquellas zonas donde se prevea la presencia de elementos agresivos. El contenido de cloruros presenta un factor determinante en la corrosión, estos tiene la capacidad de penetrar el interior del concreto alcanzando el acero de refuerzo e iniciando el proceso de corrosión.</p>
<p>4 Análisis Geotécnico</p>	
<p>4.1 Caracterización del suelo</p>	
<p>4.2 Parámetros de Resistencia a partir de la prueba SPT</p>	
<p>4.2.3 Se define la Estratigrafía?</p>	<p>La estratigrafía del subsuelo debe ser conocida adecuadamente, incluyendo la historia del agua subterránea en el sitio. Cumplir con los lineamientos de la NSR -10 Título H, y CCP -14 Sección 10, de lo contrario no se puede desarrollar el estudio geotécnico.</p>
<p>4.2.4 Se presentan los modelos estratigráficos utilizados en los análisis?</p>	<p>El modelo estratigráfico debe cumplir con lo expuesto en la NSR -10 Título H, y CCP -14 Sección 10, permitirá determinar la distribución de los sistemas depositacionales contemporáneos para un tiempo específico, en función de los parámetros que controlan el aporte de sedimentos y el espacio de acomodo o almacenamiento de los mismos.</p>
<p>4.2.5 Se presentan los perfiles y los cortes estratigráficos preliminares, con los resultados de las prueba de laboratorio realizadas a la fecha de emisión de los informes?</p>	<p>Sin los perfiles estratigráficos del suelo, no se puede definir la disposición, espesor, características del suelo, . No se dispone de información para desarrollar un estudio geotécnico. Revisar NSR -10 Título H, y CCP -14 Sección 10.</p>
<p>4.2.6 Se presenta plano del perfil estratigráfico longitudinal, considerando los perfiles individuales de cada uno de los sondeos ejecutados en los apoyos del puente, mostrando una descripción de los estratos principales definidos.</p>	<p>Presentar planos detallados de los perfiles estratigráficos permitirá identificar los parámetros del suelo para diseñar el tipo de apoyos de la estructura. Revisar NSR -10 Título H, y CCP -14 Sección 10.</p>
<p>4.2.7 En los planos se indica el nivel de aguas freáticas?</p>	<p>Para diseñar la cimentación se debe tener en cuenta el nivel freático más alto previsto, revisar su incidencia en los asentamientos y capacidad de carga, para esto debe cumplir con la NSR -10 Título H, y CCP -14 Sección 03.</p>
<p>4.3.1 Tipo de Cimentación</p>	
<p>Se presentan modelos geotécnicos para el análisis de las cimentaciones?</p>	<p>Revisar la norma CCP -14 Sección 10, ya que si no se da cumplimiento a sus especificaciones no se pueden conocer las propiedades hidráulicas y mecánicas del suelo.</p>

	Elemento sometido a inspección	Tolerancias o condiciones de no aceptación
	Superficial? (Zapatas Aisladas, Corridas).	Analizar la norma CCP -14 Sección 10, para que el diseño de las zapatas proporcione la resistencia o capacidad de carga.
	Profunda? (Pilotes Hincados, pilas fundidas en sitio)	Analizar la norma CCP -14 Sección 10, para que el diseño de la cimentación profunda aumente la capacidad de carga de la cimentación y se reduzcan los hundimientos de la estructura.
4.3.2	Capacidad de Carga	
4.3.2.1	Presenta calculo de Capacidad de carga en cimentaciones Superficiales	Cumplir con lo establecido en la norma CCP -14 Sección 10, Cap. 10.6, para garantizar resultados congruentes para el diseño de la cimentación.
	Presenta calculo de Capacidad de carga en roca	Cumplir con lo establecido en la norma CCP -14 Sección 10, Cap. 10.6, para garantizar resultados congruentes para el diseño de la cimentación.
4.3.2.2	Capacidad de carga en cimentaciones Profundas	
	<i>Presenta calculo para Pilotes Hincados:</i>	Cumplir con lo establecido en la norma CCP -14 Sección 10, Cap. 10.6, para garantizar resultados congruentes para el diseño de la cimentación.
	Presenta calculo para Capacidad de carga por punta	Cumplir con lo establecido en la norma CCP -14 Sección 10, Cap. 10.6, para garantizar resultados congruentes para el diseño de la cimentación.
	Presenta calculo para Capacidad de carga por fricción o fuste	Cumplir con lo establecido en la norma CCP -14 Sección 10, Cap. 10.6, para garantizar resultados congruentes para el diseño de la cimentación.
	Presenta calculo para Capacidad a tensión	Cumplir con lo establecido en la norma CCP -14 Sección 10, Cap. 10.6, para garantizar resultados congruentes para el diseño de la cimentación.
16	Anexa copia de tarjeta profesional del ingeniero Geotecnista encargado del informe, con experiencia mayor a cinco años en diseño geotécnico de cimentaciones?	Revisar las indicaciones de la NSR - 10 Cap. H.1.1.2.1, firma de los estudios, de lo contrario no se recibirá por el contratista el estudio, no presenta garantías sin los documentos citados en la norma.

Fuente: Propia.

La ficha de control se compone de una metodología basada en una lista de chequeo, con la cual se puede realizar la verificación del alcance de un estudio de suelos según la norma CCP-14, para garantizar un nivel de aceptación de la misma en cualquier entorno que se maneje se deben revisar los elementos que pueden generar mayor riesgo de fallo, analizando los apartes señalados de la norma y así aceptar o rechazar su contenido.

4.3 Aplicación ficha de control

Aplicar la ficha de control e identificar los fallos en el estudio de suelos realizado para el contrato de obra denominado “Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá”.

Se aplicará la ficha de control creada para analizar el estudio geotécnico para la obra cuyo objeto es la “Construcción de un puente en la vía Socotá - Los Pinos sobre la quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá”, para esto se dio revisión al estudio presentado por la entidad contratante al supervisor de Interventoría.

Tabla 15. Lista de Chequeo Estudio de Suelos Socotá

Lista de Chequeo Estudio Geotécnico para Puentes					
Nombre del Proyecto:	Estudio de Suelos Para Diseño y Construcción de un Puente en la Vereda San Pedro Sobre la Quebrada San Pedro en el Municipio de Socotá.				
Contrato N°: CMS-SA-001-2020	“Construcción de un Puente en la Vía Socotá - Los Pinos sobre la Quebrada San Pedro del Municipio de Socotá – Boyacá”				
Zona del estudio:	Boyacá	Municipio:	Socotá		
Responsable de Elaboración:	Laboratorio:	Integral de Obras Civiles & Laboratorio S.A.S			
	Nombre:	Diego Fernando Escobar Malaver			
	N° Matricula Profesional:	01110-1036 CPITV			
	Título:	Ingeniero de Transportes y Vías			
	Fecha:	Enero de 2019			
Responsable de Supervisión:	Nombre:	Consorcio Linsa Socotá	R/L. Lina Sánchez		
	N° Matricula Profesional:	15202 -268386 BYC			
	Título:	Ing. Civil			
	Fecha:	Agosto de 2020			
Aprobación del Cliente:	Nombre:	Alcaldía Municipal de Socotá			
	Fecha:	Enero de 2019			
	Cargo:	Secretaria de Planeación y Obras Publicas			
	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
	El informe realizado es presentado por un laboratorio de suelos con certificación ISO 9001:2008 e ISO/Iec 17025 requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y de calibración		X		No presenta sellos y/o soportes.
1	Antecedentes				
1.1	Los informes contienen título, fecha, revisión, numeración?	X			Presentas solo fecha de entrega del informe.

Descripción		Si	No	No Aplica	Observaciones
1.2	Los informes contienen objetivo, alcance, introducción, antecedentes, fecha?	X			Cumple, falta identificar los antecedentes en todos los informes presentados.
1.3	Se presenta la localización del área a investigar?	X			Cumple, presenta localización general de la zona.
1.4	Se presenta localización del Puente?	X			Cumple. Falta referenciar coordenadas en el documento y en los planos.
1.5	Clasificación del Puente?		X		No presenta información.
1.6	Descripción de la Superestructura?	X			Si presenta información de forma general.
1.7	Descripción de la Subestructura?	X			Si presenta información de forma general.
1.8	Se presenta resumen de la información Geológica?	X			Si presenta información.
1.9	Contiene la descripción general de las condiciones climáticas y geológicas del sitio incluyendo formación geológica predominante?	X			Si presenta información, condiciones climáticas con información sin actualizar.
1.10	Se presenta resumen de la información Geofísica?		X		No presenta información.
1.11	Incluye la descripción de las condiciones regionales como sismo y variación del agua superficial?		X		Información incompleta. Los parámetros sísmicos son basados con tablas de la NSR -10, es importante revisar la información con la norma CCP- 14, sección 3 "Cargas y factores de carga", la cual tiene actualizados los parámetros.
1.12	Se presenta información Hidrológica e hidráulica?	X			Si presenta información. Los cálculos realizados para la precipitación futura son basados en datos del año 2015, los cuales deben actualizarse con información más reciente de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio.
1.13	Presenta análisis de socavación?	X			Si presenta, bajo el método de J.Maza (1988).
2	Trabajos De Exploración				
2.1	Presenta ubicación de los sondeos de acuerdo a la proyección de los apoyos		X		No presenta la proyección de las obras (apoyos), no se puede comparar información. Los sondeos realizados no se ejecutaron en la zona donde se ubicaran los apoyos, los cuales están dentro del margen de la quebrada.
2.2	Se presenta la descripción detallada de los trabajos en campo?		X		No presenta información de los métodos a realizar.
2.3	Se utilizó el método de exploración Directa - Pozos a Cielo Abierto?			X	No presenta información de los métodos a realizar, no se define si es necesario realizarlo.
2.4	Se utilizó el método de exploración Directa - Prueba de Penetración Estándar SPT?	X			No presenta descripción del método, análisis de resultados.
2.5	Se utilizo el método de exploración Directa -		X		No presenta información de los

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
	Prueba de Penetración de Cono CPT?				métodos a realizar, no se define si es necesario realizarlo.
2.6	En relación a la prueba de piezocono (CPTU), adicional a los datos de resistencia por punta, fricción y presión de poro, ¿se presentan los resultados de la resistencia por punta corregida, la relación de fricción, la resistencia neta del cono, la presión de poro en exceso, la relación de presión de poro, la resistencia del cono normalizada y la relación de fricción normalizada?		X		No presenta información de los métodos a realizar, no se define si es necesario realizarlo.
2.7	Se utilizo el método de exploración Directa - Presiometro de Menard?		X		No presenta información de los métodos a realizar, no se define si es necesario realizarlo.
2.8	Otro? Cuál?		X		No presenta un programa de exploración, se debe tener por lo menos dos métodos si no se tiene certeza.
2.9	Presenta información de los procedimientos que se utilizaron en la exploración, muestreo, equipos?		X		No presenta información.
2.10	El numero de sondeos realizados cumplen con la norma ccp-14 (Sección 10 - Tabla 10.4.2-1)?				
2.10.1	Cimentación Superficial (pilas y/o estribos del puente)				
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\leq 30m$.			X	
	2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\geq 30m$.			X	
2.10.2	Cimentación profunda				
	1 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\leq 30m$.	X			Presenta dos sondeos, uno en cada apoyo. Pilotes con $\phi 1.20m$.
	2 sondeo en cada apoyo, para pilas y/o estribos con ancho $\geq 30m$.			X	
	Sondeos adicionales si presenta condiciones erráticas altas.		X		No presenta información, no se puede definir este factor.
2.10.3	Muros de Contención en estribos y/o terraplenes				
	1 sondeo por cada terraplén de acceso al puente			X	
	Sondeos separados cada 30 y 60m al frente o por detrás del muro.			X	
	En muros anclados, sondeos adicionales en la zona de anclaje cada 30 a 60m.			X	
	Muros Soil Nail sondeos adicionales separados cada 30 a 60m.			X	
2.10.4	Terraplenes Altos				
	2 sondeos perpendiculares al eje del proyecto.			X	
	En zonas erráticas sondeos cada 60 m.			X	
	En zonas Homogéneas sondeos cada 150m.			X	
2.10.5	Cortes en accesos del puente				
	2 sondeos ubicados perpendiculares al eje del proyecto			X	
	En zonas erráticas sondeos cada 60 m.			X	
	En zonas Homogéneas sondeos cada 150m.			X	
2.11	La localización y profundidad de los sondeos cumple con la norma CCP -14 (Sección 10 - Tabla 10.4.2-1), presentan las coordenadas		X		Localización errónea de los sondeos, no coinciden con las obras propuestas.

Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
terrestres, corresponden a los mismos puntos tomados en campo?				
2.11.1 Cimentación Superficial (pilas y/o estribos del puente)				
1.5 veces el ancho de la cimentación.			X	
Hasta una profundidad a la que el esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo efectivo in situ.			X	
2.11.2 Cimentación Profunda				
Suelo				
6m por debajo del nivel de desplante estimado para la punta del pilote		X		No cumple, se realizó sondeos a 5m, presento rechazo y se tomó como profundidad de trabajo la obtenida.
2 veces la máxima dimensión del grupo de pilotes.			X	
1.5 veces la mínima dimensión de una zapata imaginaria ubicada a 2/3 de la profundidad de las pilas estimadas.			X	
Roca				
Pilas proyectadas para trabajar por punta desplantadas en roca, obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.		X		No presenta información.
Pilas proyectadas para trabajar por fricción positiva en roca, obtener 3m continuos de núcleos por cada sondeo.			X	No presenta información.
3 veces el ϕ del pilote y/o 2 veces la dimensión del grupo de pilotes.		X		No presenta información.
Para condiciones en roca explorar más de 3 m.		X		Presenta rechazo a una profundidad de 5m, es necesario realizar ensayos en roca, con el fin de garantizar que la roca encontrada no corresponda a bloques de gran tamaño sino a roca in-situ.
Muros de Contención en estribos y/o terraplenes				
Dos veces la altura del muro o hasta nivel firme de terreno.			X	
Profundidad a la que el Esfuerzo vertical sea menor o igual al 10% del máximo esfuerzo insitu $\Delta\sigma_v \leq 10\% \sigma$			X	
Terraplenes Altos				
Hasta suelo firme o dos veces la altura del terraplén			X	
Cortes en accesos del puente				
3 a 5m por debajo del nivel de corte en suelos blandos hasta suelo firme o una profundidad igual a la altura del corte.			X	
2.12 Se reporta la posición de los sondeos en planta y elevación de acuerdo a las referencias indicadas por el supervisor?		X		No presenta información.
2.13 Se presentan planos en planta, con simbología que Contenga tipo de sondeo, número de sondeo, kilometro y profundidad?		X		No presenta información.

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
2.14	Los reportes de campo contienen la información requerida en los formatos utilizados, incluyen los sondeos y pruebas?		X		No presenta información tomada en campo.
2.15	Son congruentes los datos de los reportes de campo, con los registrados durante la exploración y muestreo, y la ejecución de pruebas?		X		No presentan formatos de campo para verificar información.
2.16	Se presentan los formatos de cada una de las pruebas realizadas, completos y firmados por el Ingeniero Geotecnista?		X		No presentan formatos de campo para verificar información.
3	Trabajos de Laboratorio				
3.1	Las pruebas de laboratorio corresponden con las indicadas por el ingeniero Geotecnista y/o la supervisión?		X		No se presenta análisis e indicaciones para identificar los ensayos necesarios.
3.2	Se realizaron Pruebas Índice.				
3.3	Identificación Visual? <i>ASTM D 2488</i>		X		No presenta información.
3.4	Contenido de agua? <i>AASHTO T 265</i>		X		No presenta información.
3.5	Granulometría? <i>AASHTO T 88</i>	X			
3.6	Límites de Plasticidad? <i>AASHTO T9</i>	X			
3.7	Peso Volumétrico?		X		No presenta información.
3.8	Densidad de Sólidos?		X		No presenta información.
3.9	Compactación AASHTO Estándar / AASHTO Modificada?		X		No presenta información.
3.10	Contenido de sulfatos? <i>AASHTO T290</i>		X		No presenta información.
3.11	Contenido de Cloruros? <i>AASHTO T 291</i>		X		No presenta información.
3.12	PH del suelo? <i>AASHTO T 289</i>		X		No presenta información.
3.13	Presenta el ensayo de Consolidación?		X		No presenta información.
3.14	Presenta el ensayo Permeabilidad?		X		No presenta información.
3.15	Presenta el ensayo de Prueba Triaxial No consolidado No drenado?		X		No presenta información.
3.16	Presenta la Prueba Triaxial consolidado - drenado?		X		No presenta información.
3.17	Presenta la Prueba Triaxial consolidado No drenado?		X		No presenta información.
3.18	Se presenta el análisis, interpretación y discusión de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio?		X		No presenta información.
4	Análisis Geotécnico				
4.1	Presenta caracterización del suelo?		X		No presenta información.
4.2	Parámetros de Resistencia a partir de la prueba SPT				
4.2.1	Adicional al número de golpes de la prueba SPT, se presenta el numero de golpes corregido por esfuerzo y nivel freático donde aplique, la densidad relativa de la arena y el ángulo de fricción interna?	X			
4.2.2	Las correlaciones utilizadas para la caracterización de los estratos de arena, utilizando el numero de golpes de campo o corregido de la prueba de penetración estándar, son acordes a las condiciones estratigráficas y a las recomendaciones para su uso?		X		No presenta información.
4.2.3	Se define la Estratigrafía?	X			
4.2.4	Se presentan los modelos estratigráficos utilizados en los análisis?		X		No presenta información.

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
4.2.5	Se presentan los perfiles y los cortes estratigráficos preliminares, con los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a la fecha de emisión de los informes?	X			Presenta perfil estratigráfico de los dos sondeos realizados de manera independiente.
4.2.6	Se presenta plano del perfil estratigráfico longitudinal, considerando los perfiles individuales de cada uno de los sondeos ejecutados en los apoyos del puente, mostrando una descripción de los estratos principales definidos.	X			No presenta información.
4.2.7	En los planos se indica el nivel de aguas freáticas?	X			En el perfil estratigráfico del sondeo #2, muestra nivel freático a los 2.3 m.
4.2.8	Presenta factor de corrección por esfuerzo efectivo?	X			Presenta cuadro de excel sin análisis y descripción de los valores hallados.
4.2.9	Presenta el cálculo de la Compacidad relativa Cr, Angulo de Fricción Interna, ϕ ?	X			Presenta cuadro de Excel sin análisis y descripción de los valores hallados.
4.2.10	Presenta el cálculo de la Cohesión?	X			Presenta cuadro de Excel sin análisis y descripción de los valores hallados.
4.2.11	Presenta resultado según correlaciones para la Velocidad de Onda de Corte?		X		No presenta cálculos.
4.2.12	Presenta cálculos del Modulo de Rigidez de los suelos?		X		No presenta cálculos.
4.2.13	Presenta resultado según correlaciones entre la penetración estándar y la consistencia?	X			No presenta cálculos.
4.3	Parámetros de deformación a partir de la prueba SPT - Módulo de Young o de elasticidad	X			No presenta cálculos.
4.3.1	Tipo de Cimentación				
	Se presentan modelos geotécnicos para el análisis de las cimentaciones?		X		No presenta Información.
	Superficial? (Zapatatas Aisladas, Corridas).			X	
	Profunda? (Pilotes Hincados, pilas fundidas en sitio)	X			Presenta información general (dimensiones pilote).
4.3.2	Capacidad de Carga				
	Presenta calculo de Capacidad de carga en cimentaciones Superficiales			X	
	Presenta calculo de Capacidad de carga en roca			X	
	Capacidad de carga en cimentaciones Profundas				
	<i>Presenta calculo para Pilotes Hincados:</i>			X	
	Presenta calculo para Capacidad de carga por punta		X		No presenta análisis ni cálculos. Resultados en CSI BRIDGE.
	Presenta calculo para Capacidad de carga por fricción o fuste			X	
	Presenta calculo para Capacidad a tensión			X	
	Asentamientos				
	Asentamientos en cimentaciones superficiales			X	
	- Asentamientos en roca?			X	
	Asentamientos en cimentaciones Profundas		X		No presenta cálculos.
	Modulo de Reacción				
	Presenta cálculo de Módulo de reacción en cimentaciones Profundas?		X		No presenta información.

	Descripción	Si	No	No Aplica	Observaciones
5	Se presentan memorias de cálculo de los trabajos de gabinete presentados en los reportes?		X		No presenta información.
6	Se presenta el análisis, interpretación y discusión de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio?		X		No presenta información.
7	Las recomendaciones para el análisis y diseño de las cimentaciones presentadas con los resultados en el informe son congruentes con la concepción del proyecto del puente?		X		No presenta información.
8	Para el caso del estudio de bancos de materiales, se presentan las recomendaciones para el tratamiento y uso potencial, así como distancia de acarreo, volúmenes potenciales de explotación, características de los materiales a explotar, regalías e información complementaria?			X	
9	Se dan recomendaciones y/o soluciones para los problemas previstos?		X		No presenta información.
10	Se relacionan fuentes bibliográficas?	X			
11	Se entregan los formatos de campo, gabinete completos y firmados?		X		No presenta.
12	Se entregan planos, firmados, en físico y medio magnético?	X			Planos en medio físico, magnético.
13	Se entregan memorias editables?		X		No se adjunta memorias.
14	Presenta la relación del personal empleado?			X	No presenta información.
15	Presenta fotografías y/o videos del trabajo en campo?	X			Presenta registro fotográfico.
16	Anexa copia de tarjeta profesional del ingeniero Geotecnista encargado del informe, con experiencia mayor a cinco años en diseño geotécnico de cimentaciones?		X		No presenta título, ni documentos que acrediten su experiencia.

Observaciones: El estudio de suelos, no contiene la información mínima según la normatividad vigente colombiana, presenta errores de ubicación, trabajos de exploración y laboratorio que no garantizan que el documento presentado sea confiable y garantice la estabilidad de las obras a realizar.

Elaboró:	Supervisor:	Cliente:
-----------------	--------------------	-----------------

Una vez analizado el estudio de suelos con la ficha de control generada, se encontraron a nivel general los siguientes errores:

Los sondeos se realizaron a nivel de vía y en zonas apartadas de los puntos de cimentación, y no a nivel de desplante, el rechazo de los sondeos se presentó a una profundidad de 5 mts, es decir a nivel de cimentación propuesto.

No se realizaron ensayos en roca teniendo en cuenta que se planteó una cimentación con pilotes, con el fin de garantizar que la roca encontrada no corresponda a bloques de gran tamaño sino a roca in-situ, no presentó método de cálculo.

El Ing. calculista recomendó construir el puente aguas abajo, es decir, aún más alejado de los sitios de los sondeos.

La longitud del puente no garantiza el correcto flujo de las aguas de la quebrada debido a que la separación entre zapatas de estribos era inferior a 4 mts, esto afecta considerablemente los fenómenos de socavación tanto en la infraestructura del puente como en las obras de contención (gaviones) diseñadas en las laderas de la quebrada.

El reporte hidráulico e hidrológico fue basado en información desactualizada, por lo cual no presenta solidez en los resultados de la socavación.

Teniendo en cuenta que el estudio de suelos entregado por el municipio para la ejecución de las obras no se ajusta a los requerimientos mínimos exigidos por la normatividad Colombiana, la interventoría del proyecto vio la necesidad de reformularlos y de esta manera presentar al municipio nuevos diseños estructurales del puente sin considerar el uso de pilotes debido a la estabilidad y aceptables propiedades físicas de la roca presente en el sector.

Al modificar los diseños se evidenció el beneficio económico para el municipio pues no se ejecutó el ítem de excavaciones manuales en roca y se pudo aumentar la luz libre del puente sin afectar el presupuesto.

La deducción de los parámetros geotécnicos no es clara y presenta información incompleta.

5. Conclusiones

El presente documento muestra los requisitos generales que debe contener un estudio de suelos para puentes, el cual nos brinda una herramienta rápida para verificar que se cumpla con lo establecido en la Norma Colombiana de puentes CCP - 14.

La ficha de control elaborada en este documento proporciona una guía para estandarizar el proceso y desarrollo de los criterios necesarios para la formulación de un estudio suelos para puentes, ya que en el entorno se ha encontrado disparidad en lo criterios y estudios requeridos para estos, y un claro desconocimiento de la norma CCP - 14.

A través del desarrollo del AMEF para el estudio geotécnico en puentes, se identificaron los modos de fallas potenciales y las causas que las provocaron, contribuyendo de esta forma, a identificar las características críticas de este proceso.

De acuerdo al estudio realizado mediante AMEF, y en base a los resultados arrojados por el mismo, se determina que en los trabajos de exploración, número de sondeos, profundidad y análisis geotécnico, muestran un riesgo de falla mayor debido a que las variables que componen estos trabajos pueden ocasionar que el resultado final difiera con el esperado.

El uso de la herramienta AMEF en el área de la ingeniería nos permite obtener una metodología de mantenimiento óptima y ordenada, identificando de manera previa los riesgos dentro de los procesos, mejorando su calidad para ser más competitivos en el sector.

Se implementó la ficha de control realizada en el estudio geotécnico para la construcción de un puente vehicular sobre la quebrada San Pedro en el Municipio de Socotá, Boyacá, con el que se analizaron los elementos básicos que debe tener un estudio geotécnico. Se concluye que el documento no cumple con los estándares básicos que dicta la norma CCP - 14 y no muestra solidez en sus resultados para la implantación de las obras.

La ficha de control generada es una herramienta que sirve como apoyo para la revisión de estudios de suelos en puentes, permite determinar con facilidad los procedimientos empleados y el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Norma CCP-14. Así como la revisión del contenido de planos, memorias etc.

A partir de los resultados obtenidos en este documento, se deduce que la ficha de control es una guía de apoyo eficiente para las entidades público-privadas e ingenieros encargados de las actividades de supervisión de obras y diseños, que involucren estudios de suelos en puentes.

Referencias

American association of state highway and transportation officials - AASHTO. (2012). *AASHTO LRDF Bridge design specifications*. Washington, D.C.

American association of state highway and transportation officials - AASHTO. (2018). *AASHTO T289 - Método estándar de prueba para determinar el pH del suelo para su uso en pruebas de corrosión*.

American association of state highway and transportation officials - AASHTO. (2012). *AASHTO T290 - Determinación de iones sulfato soluble en agua*.

American association of state highway and transportation officials - AASHTO. (2018). *AASHTO T291 - Contenido de Cloruros Solubles en suelos y aguas subterráneas*.

American Society of Testing Materials - ASTM. (2004). *Carga Estatica para Capacidad Portante del Suelo. ASTM - D - 1194*.

ARAUCA, GEOTECHNICS. (10 de Julio de 2020). *¿Qué es, cómo se hace y para qué sirve un Estudio de Suelo?* Obtenido de <https://www.geotechnicsarauca.com/para-que-sirve-un-estudio-de-suelo/>

ARIZA, J. D. (2018). *Conceptualización de la metodología de un estudio geotécnico definitivo con base en la literatura científica y la normatividad vigente*. Bogotá.

Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS. (2014). *CCP 14. Norma colombiana de diseño puentes LRFD*. Bogotá.

Asociación colombiana de ingeniería sísmica - AIS. (2010). *NSR - 10. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Bogotá.

GEOSEISMIC. (25 de Octubre de 2017). *¿Qué es la Refracción Sísmica?* Obtenido de <http://www.geoseismic.cl/la-refraccion-sismica/1>

Instituto Nacional de Vías - INVÍAS . (2012). *Permeabilidad de Suelos Granulares INV E 130 - 13.*

Instituto Nacional de Vías - INVÍAS. (2012). *Ensayo de Corte en suelos Cohesivos usando la Veleta en campo. INV E - 170 -13.*

Salazar, D. L., Mosquera, M., & Muñoz, N. S. *Importancia de la Herramienta AMEF en los procesos industriales.* Popayán.

Apéndices

Apéndice A. *Informe geotécnico.*

Véase archivo adjunto.

Apéndice B. *Informe de laboratorio*

Véase archivo adjunto.

Apéndice C. *Informe geológico*

Véase archivo adjunto.

Apéndice D. *Memoria estructural*

Véase archivo adjunto.

Apéndice E. *Informe hidrológico*

Véase archivo adjunto.