VOLUMEN II. ESTUDIO DE SUELOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

Aguazul, 24 de junio del 2025

Señores
ALCALDÍA DE AGUAZUL

Yo, FREDY MAURICIO PADILLA PLATA, identificado con CC 1.020.712.827 de Yopal, Casanare y matricula profesional No. 25202 – 261634 en mi calidad de especialista en geotecnia para la empresa PROINGENIERQ S.A.S. identificada con NIT 901388628 – 9 en la ejecución del contrato de consultoría N° 349 de 2025 cuyo objeto es: "ESTUDIO Y DISEÑO DE RECONVERSIÓN ENERGÉTICA PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE LOS POZOS PROFUNDOS DEL SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE LA COMUNIDAD EL CERRITO Y LA TURUA AGUAZUL CASANARE" declaro que soy RESPONSABLE de los estudios y diseños correspondientes al "VOLUMEN II Estudio de suelos para el sistema fotovoltaico" presentados para el cumplimiento del objeto del contrato de consultoría en mención.

CERTIFICO que los diseños y memorias presentadas están de acuerdo con lo estipulado en la NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente, TÍTULO H.

Atentamente,

FREDY MAURICIO PADILLA PLATA
C.C No. 1.020.712.827
Matricula profesional No. 25202 - 261634
Ingeniero Civil-Especialista en Geotecnia
PROINGENIERQ S.A.S.

ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION PANELES SOLARES POZO VEREDA EL CERRITO, MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DE CASANARE

ELABORO:

DIEGO FERNANDO VENEGAS
M.P. 25202-207565 CND
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA VIAL

REVISO Y APROBO:

FREDY MAURICIO PADILLA PLATA
M.P. 25202-261634 CND
INGENIERO CIVIL EPECIALISTA EN GEOTECNIA

MUNICIPIO DE AGUAZUL

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 349 DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO
1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA
1.2.1 SISMICIDAD

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO
2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL
3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO
4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES
4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO
4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN
4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3
5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.
5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS
5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10
5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS
5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN
5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

7 CONCLUSIONES

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN
8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS
8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS
8.5. OTRAS RECOMENDACIONES
9 LIMITACIONES
LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS
ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL
GRAFICAS
RESULTADOS DE LABORATORIO
REGISTRO FOTOGRAFICO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

FIGURA 2. Mapa de valores de Aa.

FIGURA 3. Mapa de valores de Av.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de Casanare.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

INTRODUCCIÓN

El informe contiene los resultados del estudio Geotécnico o de suelos y fundaciones para el ***ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION PANELES SOLARES VEREDA EL CERRITO, MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DE CASANARE.***

El estudio incluye un reconocimiento Geológico y Geotécnico preliminar del área del proyecto y sus zonas perimetrales, la exploración del subsuelo mediante tres ***(3) EXPLORACION GEOTÉCNICA*** *con* ***avance apique manual, barreno manual y cono dinamico****, efectuando ensayos de campo y un muestreo sistemático de acuerdo a la Norma A.S.T.M. D1586-67; para realizar posteriormente los ensayos de laboratorio requeridos en la determinación de las características de resistencia y compresibilidad del subsuelo, propiedades necesarias en los análisis de estabilidad y deformación para las alternativas de fundación.*

El informe presenta todos los detalles del estudio, memorias de los resultados de la investigación con base en el código colombiano de construcciones sismorresistente NSR-10, titulo H, numeral H.2.2.2.

> **H.2.2.2 — ESTUDIO GEOTÉCNICO DEFINITIVO** — Trabajo realizado para un proyecto específico, en el cual el ingeniero geotecnista debe precisar todo lo relativo a las condiciones físico-mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas, conforme a este Reglamento y en especial los Títulos A y H. Su presentación es obligatoria ya que en este se definen el tipo de suelo, el diseño y las recomendaciones de la cimentación y del proceso constructivo.

fuente. Norma sismo resistente NSR 10.

las conclusiones y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para el sistema de cimentación más adecuado, los parámetros sísmicos del perfil de suelo, lo mismo que los criterios para su diseño y construcción. Como se solicita en el numeral H.2.2.2.1.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en la ***ESCUELA EL CERRITO***, MUNICIPIO DE AGUAZUL, *Se plantearon tres* ***(3)*** *exploraciones geotécnicas mediante* ***apique manual*** *y avance mediante perforación manual y penetración de cono dinámico. Estas se realizan siguiendo los lineamientos establecidos en el titulo H, de la norma sismo resistente NSR 10, la cual define el número de sondeos a realizarse dependiendo el nivel de complejidad de la estructura a construir.*

1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA

Aguazul, al igual que todo el departamento de Casanare evidencia una formación de tipo estructural sobre la cordillera Oriental y una depositación de tipo torrencial sobre el piedemonte y altiplanicies; estos suelos dan origen a la mayoría de los suelos que posee el municipio.

Estratigrafía:

Las unidades estratigráficas que conforman el suelo y subsuelo del municipio de Aguazul pertenecen a la llamada Cuenca del Borde Llanero, que comprende varios ciclos sedimentológicos. Regionalmente la zona de estudios se ubica sobre unidades de edad Terciaria y Cuaternaria, las cuales se describen a continuación.

- ***Formación San Fernando (Tsf):*** *Limolitas y arcillolitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas y ocasionales mantos de carbón. Su edad se considera Oligoceno-Mioceno inferior.*

- ***Formación Diablo (Td):*** *Areniscas cuarzosas y limolitas conglomeráticas con intercalaciones de limolitas y arcillolitas, de edad Mioceno inferior a Mioceno medio.*

- ***Formación Caja (Tc):*** *En la base está constituida por una alternancia de arcillas, areniscas y limolitas, en la parte media areniscas arcillosas conglomeráticas, arcillas y limolitas, y hacia el techo conglomerados y arcillolitas. Su edad se considera Mioceno medio a Pleistoceno.*

- ***Formación La Corneta (Qtlc):*** *Conglomerado grueso poco compacto compuesto por gravas con cantos de areniscas y cuarzo, cementados en una*

matriz arcillosa, de edad Pleistoceno superior.

- ***Deposito Cuaternario Aluvial Reciente (Qar):*** *Confinados a las márgenes de los principales ríos y quebradas, suavemente ondulados, sometidos a la inundación ,están constituidos principalmente por sedimentos actuales, cantos y gravas de composición arenosa, depositados por las corrientes mayores, en llanuras relativamente angostas, conforman barras, que en sus partes bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes.*

- ***Deposito Cuaternario Terrazas (Qt):*** *Sectores de morfología plana más elevadas con respecto a los canales fluviales activos. Están compuestas por niveles de gravas clasto-soportadas, matriz-soportadas y arenas. Estos depósitos se han disectado a diferentes niveles del paisaje circundante y han conformado terrazas limitadas por cursos de agua.*

1.2.1 SISMICIDAD

En el territorio Colombiano existe una gran influencia en este campo, debido a la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, reflejada en las grandes fallas que se presentan en la Cordillera de los Andes, a las cuales se les atribuyen los sismos que se han presentado a través del tiempo.

Los modernos procedimientos de registro instrumental permiten realizar cálculos sismométricos, como las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, trayectorias seguidas por ondas, profundidad epicentral o focal, densidades en el interior de la tierra, naturaleza del movimiento sísmico, etc.

Teniendo en cuenta los factores mencionados se han hecho clasificaciones y zonificaciones con respecto a la sismicidad. En Colombia se tiene una clasificación sismológica que ubica la zona de estudio en un nivel de amenaza intermedia, que puede convertirse en un factor detonante cuando las condiciones morfológicas y propiedades geotécnicas de los materiales son susceptibles a la desestabilización de las laderas.

ZONAS DE RIESGO SÍSMICO EN COLOMBIA

El mapa de zonas de riesgo sísmico en Colombia indica la mayor o menor peligrosidad de las diferentes regiones del territorio nacional. Esto permite a los ingenieros, constructores y en general a los científicos interesados en este tipo de información, disponer de la actividad sísmica probable en una zona determinada, o mejor aún captar una visión general de la sismicidad global del país.

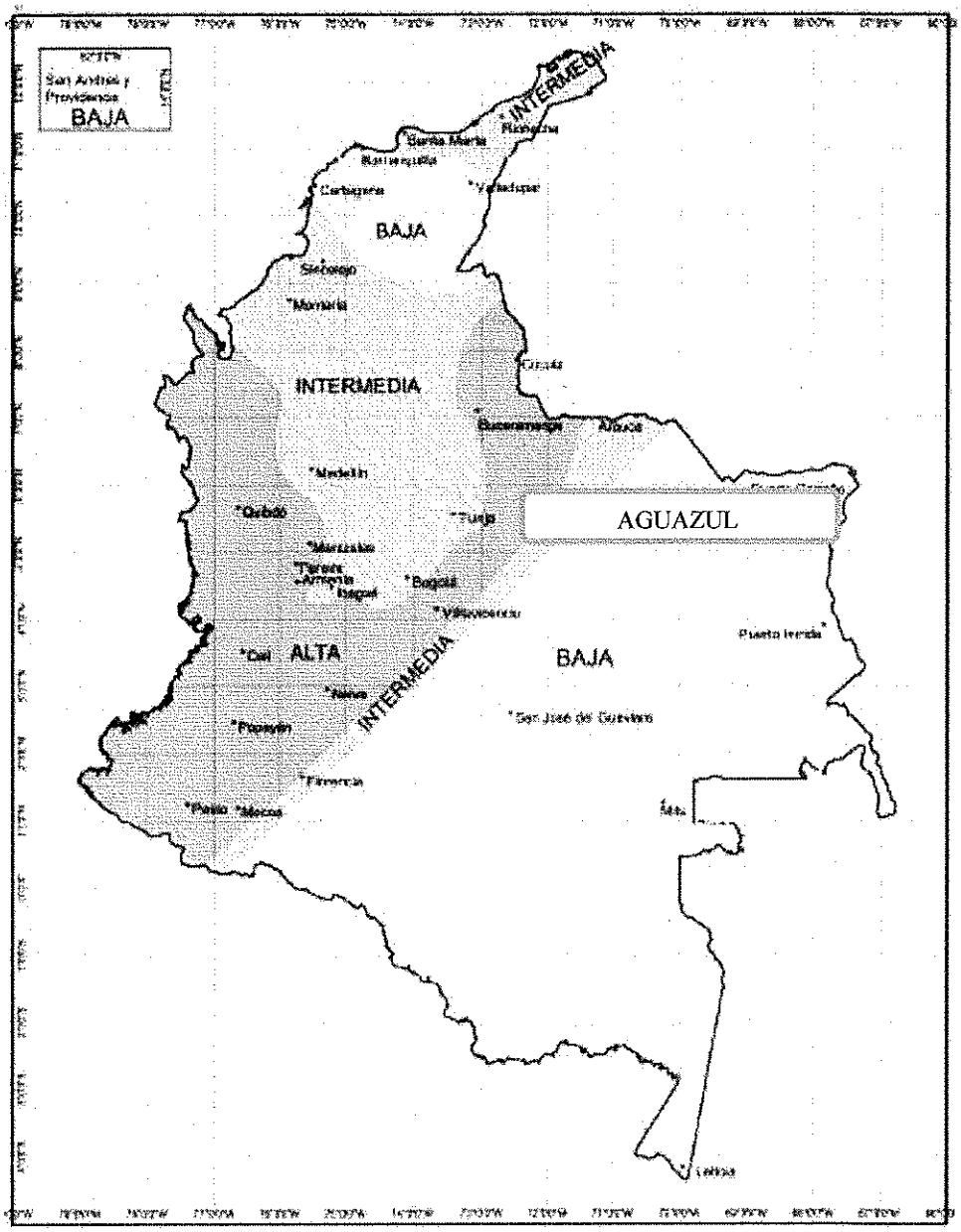


Figura 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

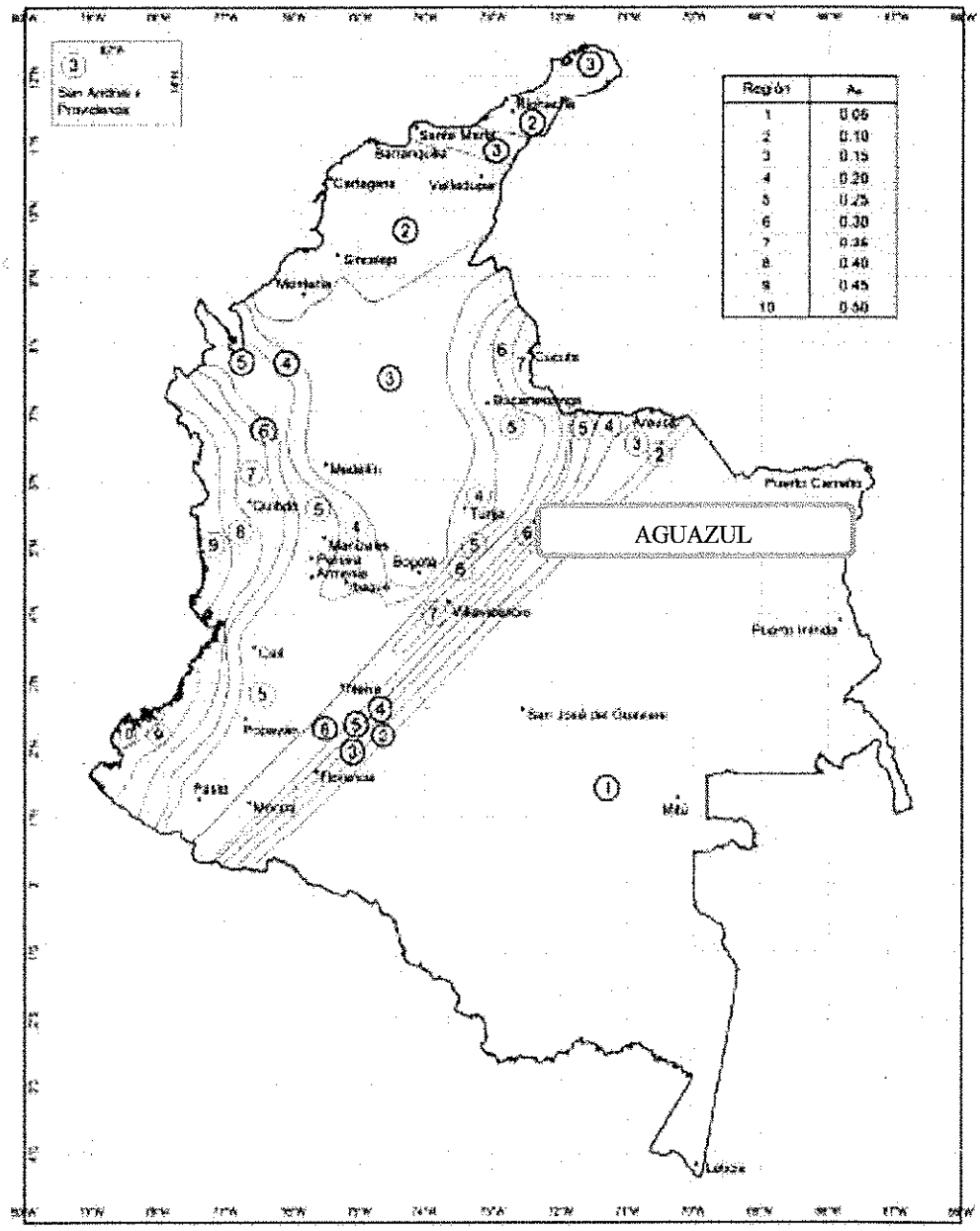


Figura 2. Mapa de valores de Aa.

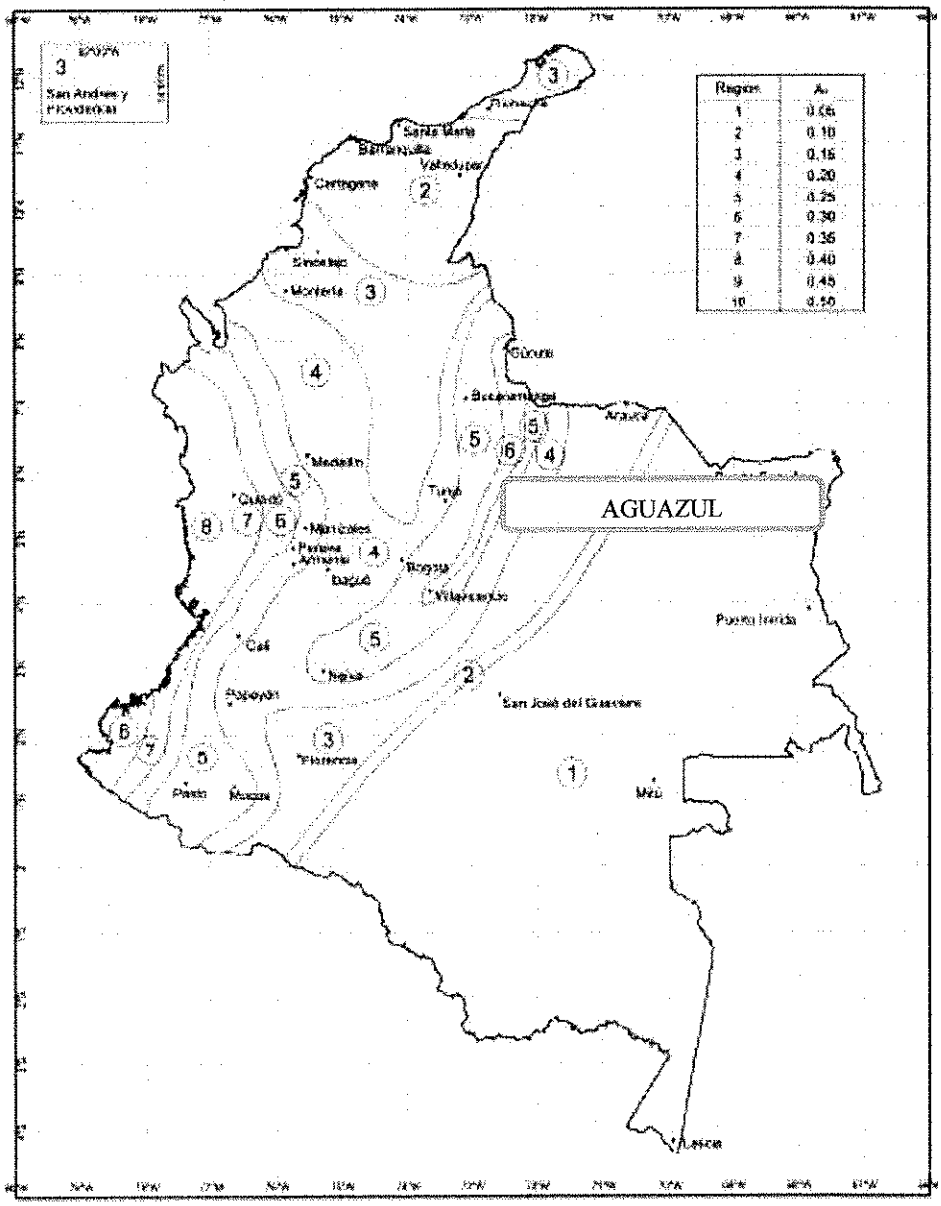


Figura 3. Mapa de valores de Av.

Para poder entender un poco más del aspecto relacionado a continuación se harán varias distinciones:

Zona de Riesgo Sísmico: son regiones del país donde el riesgo sísmico se considera bajo, intermedio o alto.

Zona de Riesgo Sísmico Bajo: es aquella zona donde Aa como Av son menores o iguales a 0.10.

Zona de Riesgo Sísmico Intermedio: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores o iguales a 0.10 y ninguno de los dos excede a 0.20.

Zona de Riesgo Sísmico Alto: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores de 0.20.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de casanare.

Departamento de Casanare						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Yopal	85001	0.30	0.20	Alta	0.15	0.06
Aguazul	85010	0.30	0.20	Alta	0.14	0.06
Chámeza	85015	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Hato Corozal	85125	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Salina	85136	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Maní	85139	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Monterrey	85162	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Nunchía	85225	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.04
Orocué	85230	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Paz de Ariporo	85250	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Pore	85263	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Recetor	85279	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Sabanalarga	85300	0.35	0.30	Alta	0.13	0.05
Sácama	85315	0.35	0.20	Alta	0.16	0.08
San Luis de Palenque	85325	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Támara	85400	0.35	0.15	Alta	0.16	0.08
Tauramena	85410	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
Trinidad	85430	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Villanueva	85440	0.20	0.20	Intermedia	0.06	0.03

Movimiento Sísmico de Diseño: esta se define en función de la aceleración pico efectiva (Aa) y de la velocidad pico efectiva (Av).

*Según el espectro de diseño, los valores de Aa y Av, para el sitio del proyecto son de **0.30 y 0.20** respectivamente lo cual nos representa una zona de riesgo sísmico **ALTA**.*

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO

El área del proyecto donde se cimentará la edificación presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	*limo de baja plasticidad arenoso*
Vegetación	*no evidencia.*
Tipo de erosión	*No evidencia.*
Estado	*Remoldeado, semialterado,*
Estado de esfuerzos	*Normalmente consolidado*

El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión ***limo de baja plasticidad arenoso,*** *clasificado según la S.U.C.S. como un suelo* ***"ML"****.*

2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La estructura proyectada corresponde a ***una edificación*** *con sistema estructural tipo pórtico.*

Las cargas que se transmitirán al suelo de fundación se simulan entre 5 y 500 toneladas. Cabe anotar que las cargas mayoradas por fuerzas de sismo no superan en ningún caso el 20% de la carga real por peso propio de la estructura más la carga viva de utilización de las estructuras.

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL

Para conocer el perfil estratigráfico, las propiedades geomecánicas de las capas y la posición y características del nivel freático; se realizaron tres ***(3) exploraciones*** *mediante* ***excavacion manual*** *y avance perforación manual y con cono dinámico hasta alcanzar una profundidad máxima de exploración de* ***6.00*** *metros.*

La disposición de la exploración se planeó con el propósito de lograr una correlación tridimensional del perfil del subsuelo del área del proyecto.

3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

En cada exploración se efectuó un muestreo representativo para los diferentes estratos, tomando muestras alteradas en bolsa para clasificación y ensayo de resistencia a la penetración con cono dinámico SPT.

Todas las muestras se identificaron visualmente en campo y en laboratorio, y sobre un número representativo de los diferentes estratos se realizó el siguiente programa de ensayos:

- *Ensayos de humedad natural.*
- *Límites de atterberg.*
- *Granulometría y gradación*
- *Peso unitario*
- *Ensayo de penetración dinámica SPT.*

En la sección de anexos se muestran los respectivos registros obtenidos tanto en campo como en laboratorio para cada exploración de la siguiente manera:

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar DCPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo SPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Aproximaciones sucesivas para determinar las dimensiones de la cimentación.*
  - *Anexo 5; Tensión transmitida en profundidad.*
  - *Anexo 6; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable hasta 6.0mts.*
  - *Anexo 7; Capacidad portante Df = 1,5 m.*
  - *Anexo 8; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, SPT.*
  - *Gráfica 2; Tensión transmitida a profundidad en el suelo.*
  - *Gráfica 3; Presión admisible variable hasta 6.00 mts.*
  - *Gráfica 4; Carga admisible Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 5; Asentamientos elásticos Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 6; Modulo de reacción del suelo Ks variable hasta Df = 6.00 metros.*
- ***Resultados de laboratorio***
- ***Registro fotográfico***

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO

En el Anexo 1 de cada exploración se muestra el perfil geotécnico con la descripción de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio. En general se pudo establecer la presencia de ***un suelo compuesto por limo de baja plasticidad arenoso clasificado según la S.U.C.S. como un suelo "ML".***

4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES

Con el fin de realizar los cálculos geotécnicos y ante la posibilidad de ascensos piezómetros debido a la actividad hidrogeológica presente en este tipo de depósitos se tomó como critico la profundidad de nivel freático Dw = 0.0 metros. Esto condiciona que el cálculo de presión del suelo de fundación se hará con el peso unitario sumergido. En cada uno de los perfiles encontrados se presenta la posición del nivel freático.

4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO

La historia geológica del perfil de subsuelo explorado permite clasificarlo como un material normalmente consolidado de composición cohesivo. De acuerdo con la clasificación unificada de suelos S.U.S.C., el perfil explorado pertenece a los grupos ***"ML".***

El anexo 1, de cada exploración muestra un resumen de todos los resultados de ensayos de campo obtenidos para el perfil promedio establecido, recopilando los datos de todo el muestreo efectuado y tomando los registros de ensayos de campo para la exploración efectuada.

En general las propiedades geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil de suelo explorado reflejan características ***buenas*** *con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; relacionadas con la* ***media*** *resistencia al corte y a la naturaleza friccionante del suelo. La resistencia al corte tiene un comportamiento constante contra la profundidad del perfil.*

Las propiedades geomecánicas e índice por capas pueden resumirse así:, humedad natural media (HN), limites de Atterberg bajos (LL, LP e IP), pesos unitarios o

gamma medios (γt) en t/m^3, pesos específicos medios (Gs), esfuerzos efectivos de pre consolidación medios a bajos (σp) en t/m^2.

4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN

Con base en los resultados de investigación del subsuelo, en cuanto a su resistencia y compresibilidad, teniendo en cuenta la topografía del terreno y suelo de fundación al igual que las características estructurales del proyecto; se realizó el análisis de estabilidad (Capacidad portante) para cimentación superficial por los métodos de NSR-10 (Meyerhof). Los asentamientos se evaluaron del tipo elástico o inmediato.

4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

La profundidad de cimentación para las estructuras proyectadas se determina según su tipo de uso. Para el cálculo se utilizó una profundidad de desplante ***Df = 1.5 metros****, sin embargo se presenta para las demás profundidades hasta llegar a la máxima de exploración. Anexo 4 y 5. El tipo de cimentación recomendada es:*

Sistema estructural	***Tipo de cimentación***	***Profundidad de cimentación***
portico	*Zapatas amarradas en dos direcciones*	*1.5 metros.*

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3

5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.

Teniendo en cuenta el nivel de fundación adoptado y la estratigrafía del suelo, se establece la presión de hundimiento por falla general para suelos de naturaleza mixta de la siguiente manera:

5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS

En pruebas de penetración estándar tipo DCPT para suelos con cohesión, y considerando el valor de N a una presión de sobrecarga efectiva de 10 Ton/m² como estándar, el factor de corrección CN que hay que aplicar a los valores de campo de N para otras presiones diferentes esta dado aproximadamente por:

$$CN = 0.77 * \log_{10}(\frac{200}{\bar{P}})$$

$\bar{P}$ = *Presión vertical efectiva por sobrecarga en T/m² a la profundidad de la prueba de penetración. Ecuación válida para:*

$$\bar{P} \geq 2.5 T/m^2$$

Luego con el valor corregido de N se aplica la ecuación (Anexo 3):

$$\sigma_a = N * \left(1 + \frac{1}{3.3 * B}\right)^2 * \frac{1}{12}$$

Donde B es el ancho de la cimentación y teniendo en cuenta la corrección por nivel freático.

$$Cw = \frac{1}{2} * \left(1 + \frac{Dw}{D+B}\right)$$

5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10

$$q_o = C*Nc + \gamma_{sobrecapa}*Df*N_q + \frac{\gamma_{fundacion} * B * N_\gamma}{2}$$

Donde Nc, N_q y N_γ son factores adimensionales de capacidad portante calculados según las siguientes ecuaciones:

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

$Nc = (N_q - 1)*cot\phi$

$N_\gamma = 2(N_q - 1)*tan\phi$

B = Ancho del cimiento en metros

γsobrecapa = peso unitario total Ton/m³ ; γfundación = γsobrecapa -1 Ton/m³
*Df = variable hasta **6.0 metros***
*q = γsobrecapa*Df*

*Capacidad portante neta de seguridad: Adoptando un factor de seguridad (F.S.) = 3. Para una profundidad de **1.5 metros**.*
qad = qo/F.S.
F.S. = 3

VER ANEXO 4

5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS

Tomando las condiciones máximas de carga axial última de columnas para los rangos más frecuentes, según datos analizados por áreas aferentes, se calcula el ancho mínimo de cimientos (B), considerando la capacidad portante neta de seguridad y la fundación con base en la alternativa de cimientos aislados, la ecuación de cálculo es la siguiente: $B = (Q/q_{ad})^{1/2}$.
*El **anexo 5** muestra las dimensiones para las condiciones de carga más probables y relevantes en el análisis de estabilidad, utilizando cimientos cuadrados.*

5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN

Para las condiciones de carga con cimientos aislados, los anchos de cimiento calculados, se efectúa el cálculo para esfuerzos de contacto, esfuerzos de descarga

por excavación y esfuerzos netos transmitidos al suelo, comparados con la capacidad portante de seguridad. El ***anexo 5*** *muestra estos resultados.*

Donde: σc = Esfuerzo de contacto.
Dp = Esfuerzo de descarga por excavación.
σn = Esfuerzo neto transmitido al suelo de fundación.

Como puede observarse en el ***anexo 5*** *de cada sondeo, para todas las condiciones de carga con los anchos de cimiento calculados, los esfuerzos netos reales (σn) inducidos al perfil del suelo bajo la fundación se encuentran por debajo de la capacidad portante. Lo anterior permite verificar que, las condiciones de estabilidad y deformación son óptimas para cualquier sistema de fundación.*

5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

El asentamiento o deformación total es el siguiente:
δt = δi + δcp + δcs
Donde: δt = Asentamiento total.
δi = Asentamientos inmediatos o elásticos.
δcp = Asentamientos por consolidación primaria.
δcs = Asentamientos por consolidación secundaria.

Asentamientos Inmediatos (δi): Se calcula el asentamiento inmediato por el método elástico, en éste se considera una deformación tridimensional producida casi simultáneamente con la aplicación de la carga durante la construcción, los parámetros de cálculo son los siguientes:

Compresibilidad: Para el cálculo de asentamientos se adopta un módulo de deformación elástica a partir de las siguientes correlaciones:
*- (No Drenado) = Eu = 400 * Qad, T/m².*

*- (Drenado) = Ed = 2/3 * (1-μ) * Eu. T/m².*

- *Se toma la relación de poisson (**μ= 0.50**) para suelos mixtos en estado saturado.*

El asentamiento inmediato para cimientos aislados se calcula por la teoría de Timoshenko y Goodier (1970), tomando las mismas condiciones de cargas estructurales del ***anexo 4,*** *siendo estas las más críticas:*
*δi = Cd * B * σc * (1- μ2)/Ed*
Donde: Cd = factor de forma y rigidez del cimiento = 1,08. (CCP-95)
B = Dimensión menor del cimiento (m).
σc = Esfuerzo de contacto (T/m²).

δi = Asentamiento inmediato en (cm).

En el anexo 5 y gráfica 4 se aprecian los resultados de los asentamientos inmediatos (δi), calculados para las diferentes cargas consideradas, con los anchos mínimos de cimiento requeridos

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

La presión que el suelo o depósito ejerce sobre las paredes de la cimentación, depende en términos generales del desplazamiento del conjunto. La hipótesis de diseño corresponde a que el relleno ceda generando una disminución de la presión hasta un mínimo que se identifica como el estado activo.

El valor del coeficiente activo de presión de tierras es entonces KA:

$$K_A = \frac{1 - Sen\phi}{1 + Sen\phi} = Tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

Los resultados se presentan en el Anexo 6 para cada una de las exploraciones realizadas.

7 CONCLUSIONES

1. El área del proyecto donde se cimentaran la estructura presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	***limo de baja plasticidad arenoso***
Vegetación	*no evidencia.*
Tipo de erosión	*No evidencia.*
Estado	*Remoldeado, semialterado,*

*2. El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión de **limo de baja plasticidad arenoso,** clasificado según la S.U.C.S. como un suelo **"ML".***

*3. Las propiedades índices y geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil del suelo explorado, reflejan características **buenas** con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; en cuanto a la resistencia al corte.*

*4. El nivel de cimentación recomendado es de **1,5 metros,** calculo hasta la profundidad máxima de sondeo y su utilización está condicionada según requerimiento estructural. Se debe cimentar sobre una capa de relleno seleccionado y compactado de 0.50 metros de espesor al 95% de su proctor*

5. Geotécnicamente el suelo del proyecto puede caracterizarse como de consistencia media a baja con actividad potencial alta entre 0.0 m y 1.00 m en promedio de profundidad y de consistencia media con actividad potencial baja entre 1.00 m y 6.0m.

*6. Las características del proyecto y del suelo de fundación permiten establecer que para la **obra**, lo más adecuado técnica y económicamente es un sistema de cimentación superficial tipo **zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre**, cumpliendo los chequeos estructurales a volcamiento (Momentos).*

*7. Los cortes de las excavaciones de la cimentación **no se** pueden hacer verticales, se debe adoptar un sistema de sostén lateral, atendiendo el cálculo de la altura crítica para suelos así:*

$$Hc = \frac{Hcult}{F.S.}$$

$$H_{cult} = \frac{2 * Cu}{\gamma'}$$

Para excavaciones más profundas o que no correspondan a las de cimentación, se debe consultar al ingeniero de suelos para su concepto y diseño.

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

Para la fundación de las estructuras se recomienda adoptar una cimentación superficial mediante ***zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre*** *según sea el tipo de requerimiento estructural, sobre relleno compactado o concreto ciclópeo.*

El nivel de fundación para el proyecto, si finalmente los chequeos de esfuerzos y áreas, dan viabilidad a estas alternativas, debe implantarse a la profundidad descrita en el numeral 4.5.

8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

Se recomienda adoptar los valores de coeficientes de presión lateral de tierras propuestos en el anexo 6.

8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

Según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (Ley 400 de agosto 1997 modificada ley 1229 de 2008 y Decreto 926 de marzo de 2008) y teniendo en cuenta los criterios locales de esfuerzos activos producidos por las Fallas, se debe tomar los siguientes parámetros:

Tremor sísmico en escala de intensidad de Mercalli = 7.25 a 7.50.

Zona de amenaza sísmica = alta.

Aa = 0.30

Av = 0.20

Tipo de perfil de suelo = D $15 < N < 50$

Fa = 1,2

Fv = 2.0

Grupo de uso = I.
Coeficiente de importancia (I) = 1.

La orientación del sismo más peligroso debe tomarse en dirección aproximada Este - Oeste, siendo ésta la orientación del eje principal de esfuerzos tectónicos (σ1) que plegaron y fallaron las rocas regionalmente; el efecto de la fuerza sísmica sobre las estructuras debe ser aplicado en las dos direcciones.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

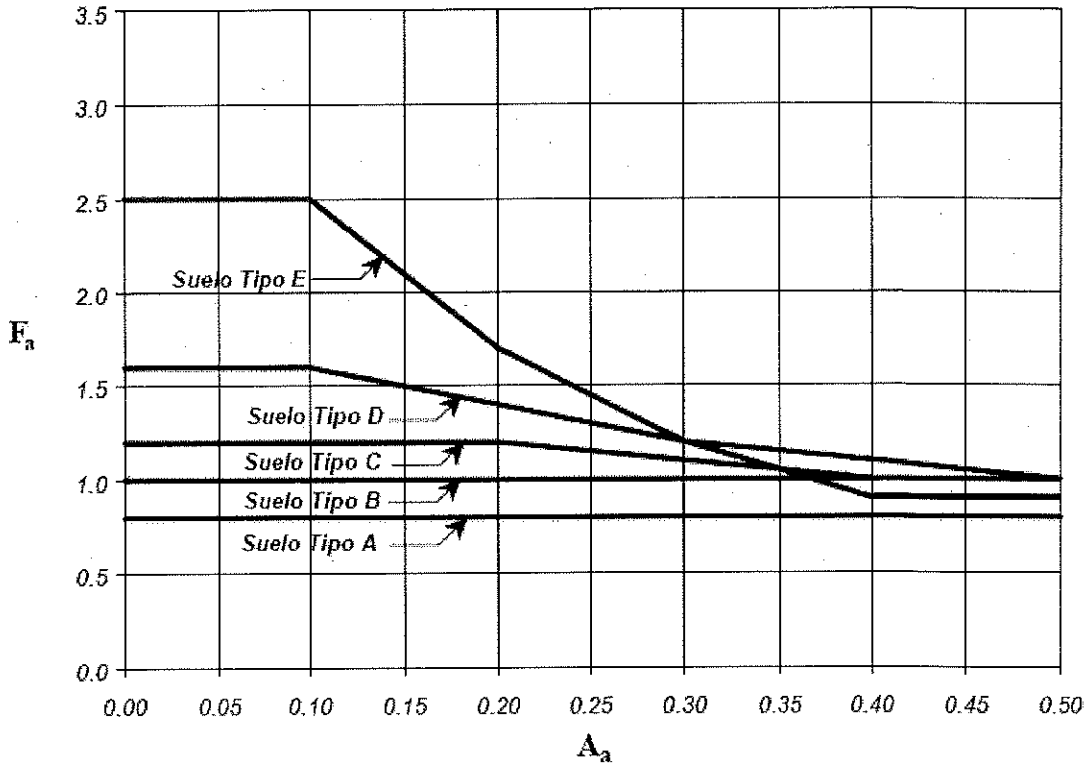


FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

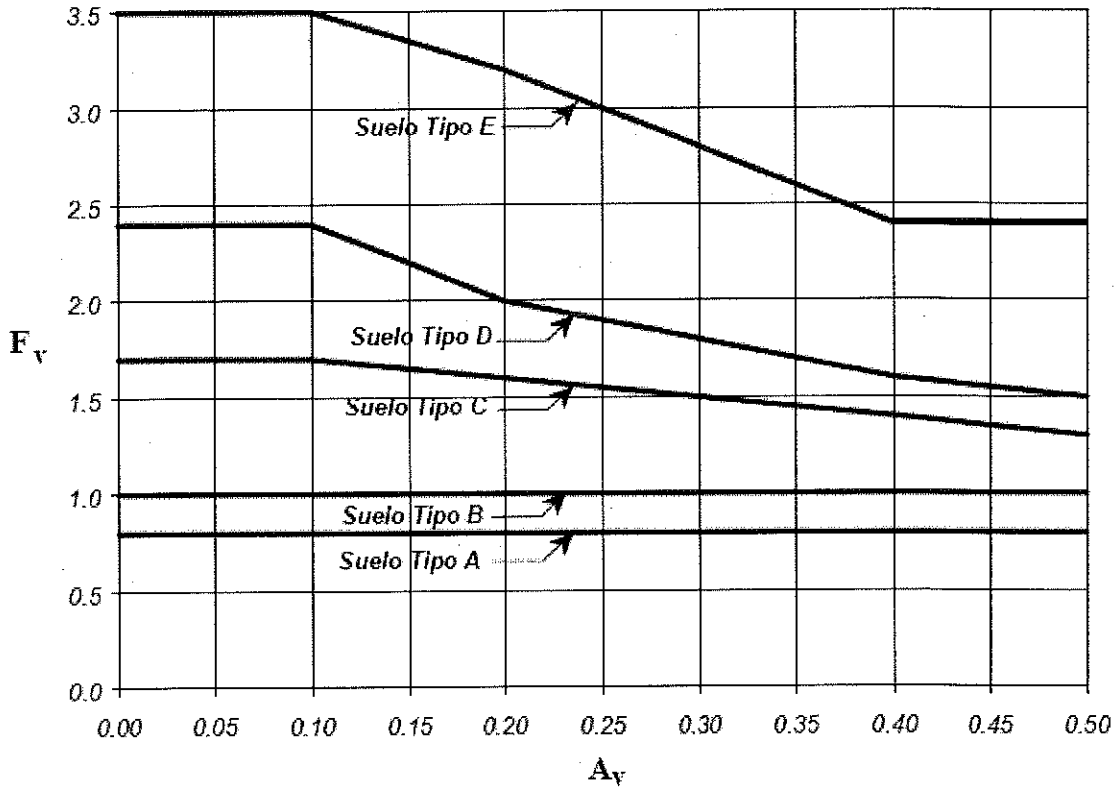


FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS

Las excavaciones para los cimientos y los cortes de adecuación del proyecto, deben planearse obligatoriamente en período seco. Las excavaciones de cimientos ***no se*** *pueden hacer con taludes verticales atendiendo el cálculo de altura crítica, numeral 7.7.*

Si se proyectan placas de piso, deberán apoyarse en una capa de recebo de 0,30 m de espesor compacto, una vez descapotada la capa superior; las características del material de recebo para el relleno deben ser: Límite líquido máximo 26%, Índice de plasticidad máximo 6%, Espesor de compactación 0,10 a 0,15 m, Grado de compactación; mínimo 90% del peso unitario seco máximo del Proctor Modificado y con una granulometría como la siguiente:

Tamiz	***% que pasa***
2 ½"	***75-100***
1"	***50-80***
No 4	***20-55***
No 200	***0-20***

8.5. OTRAS RECOMENDACIONES

Para dar una correcta interpretación y aplicabilidad al estudio de suelos este debe ser contemplado en su totalidad sin limitaciones a los capítulos de conclusiones y recomendaciones.

Se deberá enviar al Ingeniero Geólogo una copia de los planos de cimentación, para su revisión desde el punto de vista del comportamiento geotécnico y de interacción SUELO - ESTRUCTURA para su referencia posterior.

La construcción de la cimentación debe hacerse preferiblemente en época de verano para evitar alteraciones y remoldeos en la base de cimentación, problemas de inestabilidad en las excavaciones e incrementos de caudales de evacuación.

Bajo ninguna circunstancia se debe permitir la descarga de aguas superficiales en las zonas aledañas al lote del proyecto una vez hecha la fundación.

Desde el punto de vista de sustancias químicas nocivas al concreto se deberán realizar los ensayos correspondientes de acuerdo a la INV-1996 puesto que el ambiente geológico de formación y evolución del perfil del suelo se ha dado en condiciones de clima cálido, donde las reacciones químicas ácidas probablemente han estado presentes, de manera que se prevé la presencia de sulfatos. Esta apreciación es cualitativa tomando como referencia la historia geológica del perfil; sin embargo es de libre albedrío si los profesionales encargados del proyecto desean obtener datos cuantitativos al respecto.

Se recomienda programar visitas por parte del Ingeniero Geólogo durante la construcción de la cimentación con el fin de inspeccionar el proceso de excavación y aprobación del suelo de fundación.

Los asentamientos en condiciones normales surgidos por las propiedades de compresibilidad, consideradas por deformación elástica, serán de medios a altos, proporcionales a las cargas, lo cual permite esforzar el suelo a un 100% de su resistencia al corte mediante presiones de trabajo equivalentes; sin embargo debe hacerse un chequeo detallado con las cargas reales de diseño. De cualquier forma la fundación diseñada debe descartar totalmente asentamientos de tipo diferencial

9 LIMITACIONES

Los resultados obtenidos en este estudio, lo mismo que las recomendaciones dadas están basados en las características estructurales del proyecto, lo mismo que las propiedades geomecánicas del subsuelo explorado mediante pruebas de campo y laboratorio. Cualquier modificación posterior en las características arquitectónicas y estructurales del proyecto con relación a las suministradas por el diseñador, implicarán nuevas condiciones de estabilidad y deformación que deben ser calculadas.

Si durante la construcción aparecen circunstancias no previstas en este informe, se deberá avisar al Ingeniero Geólogo para buscar las soluciones y recomendaciones más convenientes.

El proceso de excavación debe ser muy técnico evitando remoldeos en el suelo de fundación o las paredes excavadas, lo que posteriormente pueda ocasionar asentamientos.

El proceso constructivo excavación-cimentación debe efectuarse en el menor tiempo posible con el fin de controlar el levantamiento del fondo de la excavación debido al rebote de estratos y/o presiones negativas de subpresión.

Para evitar el efecto de columna corta de debe permitir que el pórtico trabaje independiente del muro mediante dilatación.

El piso de cimentación deberá ser aprobado por el Ingeniero Geólogo.

Se debe incluir obligatoriamente en la valla de obra el geotecnista del proyecto con nombre y matricula profesional.

LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño.*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar SPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo DCPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable.*
  - *Anexo 5; Capacidad portante Df = 1.5 metros.*
  - *Anexo 6; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, DCPT.*
  - *Gráfica 2; Presión admisible variable.*
  - *Gráfica 3; Carga admisible Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 4; Asentamientos elásticos Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 5; Modulo de reacción del suelo Ks variable.*
- ***Resultados de laboratorio***

ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

GRAFICAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO







ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION PANELES SOLARES SECTOR CENTRO VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DE CASANARE

REALIZO:

DIEGO FERNANDO VENEGAS
M.P. 25202-207565 CND
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA VIAL

REVISO Y APROBO:

FREDY MAURICIO PADILLA PLATA
M.P. 25202-261634 CND
INGENIERO CIVIL EPECIALISTA EN GEOTECNIA

MUNICIPIO DE AGUAZUL

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 349 DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO
1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA
1.2.1 SISMICIDAD

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO
2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL
3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO
4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES
4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO
4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN
4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3
5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.
5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS
5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10
5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS
5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN
5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

7 CONCLUSIONES

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS
8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE
8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS
8.5. OTRAS RECOMENDACIONES

9 LIMITACIONES

LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS

ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

GRAFICAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

FIGURA 2. Mapa de valores de Aa.

FIGURA 3. Mapa de valores de Av.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de Casanare.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

INTRODUCCIÓN

El informe contiene los resultados del estudio Geotécnico o de suelos y fundaciones para el ***ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PANELES SOLARES*** **POZO SECTOR CENTRO VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL,** ***DEPARTAMENTO DE CASANARE***

El estudio incluye un reconocimiento Geológico y Geotécnico preliminar del área del proyecto y sus zonas perimetrales, la exploración del subsuelo mediante tres ***(3) EXPLORACION GEOTÉCNICA*** *con* ***avance apique manual, barreno manual y cono dinamico****, efectuando ensayos de campo y un muestreo sistemático de acuerdo a la Norma A.S.T.M. D1586-67; para realizar posteriormente los ensayos de laboratorio requeridos en la determinación de las características de resistencia y compresibilidad del subsuelo, propiedades necesarias en los análisis de estabilidad y deformación para las alternativas de fundación.*

El informe presenta todos los detalles del estudio, memorias de los resultados de la investigación con base en el código colombiano de construcciones sismorresistente NSR-10, titulo H, numeral H.2.2.2.

> H.2.2.2 — **ESTUDIO GEOTECNICO DEFINITIVO** — Trabajo realizado para un proyecto específico, en el cual el ingeniero geotecnista debe precisar todo lo relativo a las condiciones físico-mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas, conforme a este Reglamento y en especial los Títulos A y H. Su presentación es obligatoria ya que en este se definen el tipo de suelo, el diseño y las recomendaciones de la cimentación y del proceso constructivo.

fuente. Norma sismo resistente NSR 10.

las conclusiones y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para el sistema de cimentación más adecuado, los parámetros sísmicos del perfil de suelo, lo mismo que los criterios para su diseño y construcción. Como se solicita en el numeral H.2.2.2.1.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en la POZO SECTOR CENTRO VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL*, Se plantearon tres* ***(3)*** *exploraciones geotécnicas mediante* ***apique manual*** *y avance mediante perforación manual y penetración de cono dinámico. Estas se realizan siguiendo los lineamientos establecidos en el titulo H, de la norma sismo resistente NSR 10, la cual define el número de sondeos a realizarse dependiendo el nivel de complejidad de la estructura a construir.*

1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA

Aguazul, al igual que todo el departamento de Casanare evidencia una formación de tipo estructural sobre la cordillera Oriental y una depositación de tipo torrencial sobre el piedemonte y altiplanicies; estos suelos dan origen a la mayoría de los suelos que posee el municipio.

Estratigrafía:

Las unidades estratigráficas que conforman el suelo y subsuelo del municipio de Aguazul pertenecen a la llamada Cuenca del Borde Llanero, que comprende varios ciclos sedimentológicos. Regionalmente la zona de estudios se ubica sobre unidades de edad Terciaria y Cuaternaria, las cuales se describen a continuación.

- ***Formación San Fernando (Tsf):*** *Limolitas y arcillolitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas y ocasionales mantos de carbón. Su edad se considera Oligoceno-Mioceno inferior.*

- ***Formación Diablo (Td):*** *Areniscas cuarzosas y limolitas conglomeráticas con intercalaciones de limolitas y arcillolitas, de edad Mioceno inferior a Mioceno medio.*

- ***Formación Caja (Tc):*** *En la base está constituida por una alternancia de arcillas, areniscas y limolitas, en la parte media areniscas arcillosas conglomeráticas, arcillas y limolitas, y hacia el techo conglomerados y arcillolitas. Su edad se considera Mioceno medio a Pleistoceno.*

- ***Formación La Corneta (Qtlc):*** *Conglomerado grueso poco compacto compuesto por gravas con cantos de areniscas y cuarzo, cementados en una*

matriz arcillosa, de edad Pleistoceno superior.

- ***Deposito Cuaternario Aluvial Reciente (Qar):*** *Confinados a las márgenes de los principales ríos y quebradas, suavemente ondulados, sometidos a la inundación ,están constituidos principalmente por sedimentos actuales, cantos y gravas de composición arenosa, depositados por las corrientes mayores, en llanuras relativamente angostas, conforman barras, que en sus partes bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes.*

- ***Deposito Cuaternario Terrazas (Qt):*** *Sectores de morfología plana más elevadas con respecto a los canales fluviales activos. Están compuestas por niveles de gravas clasto-soportadas, matriz-soportadas y arenas. Estos depósitos se han disectado a diferentes niveles del paisaje circundante y han conformado terrazas limitadas por cursos de agua.*

1.2.1 SISMICIDAD

En el territorio Colombiano existe una gran influencia en este campo, debido a la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, reflejada en las grandes fallas que se presentan en la Cordillera de los Andes, a las cuales se les atribuyen los sismos que se han presentado a través del tiempo.

Los modernos procedimientos de registro instrumental permiten realizar cálculos sismométricos, como las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, trayectorias seguidas por ondas, profundidad epicentral o focal, densidades en el interior de la tierra, naturaleza del movimiento sísmico, etc.

Teniendo en cuenta los factores mencionados se han hecho clasificaciones y zonificaciones con respecto a la sismicidad. En Colombia se tiene una clasificación sismológica que ubica la zona de estudio en un nivel de amenaza intermedia, que puede convertirse en un factor detonante cuando las condiciones morfológicas y propiedades geotécnicas de los materiales son susceptibles a la desestabilización de las laderas.

ZONAS DE RIESGO SÍSMICO EN COLOMBIA

El mapa de zonas de riesgo sísmico en Colombia indica la mayor o menor peligrosidad de las diferentes regiones del territorio nacional. Esto permite a los ingenieros, constructores y en general a los científicos interesados en este tipo de información, disponer de la actividad sísmica probable en una zona determinada, o mejor aún captar una visión general de la sismicidad global del país.

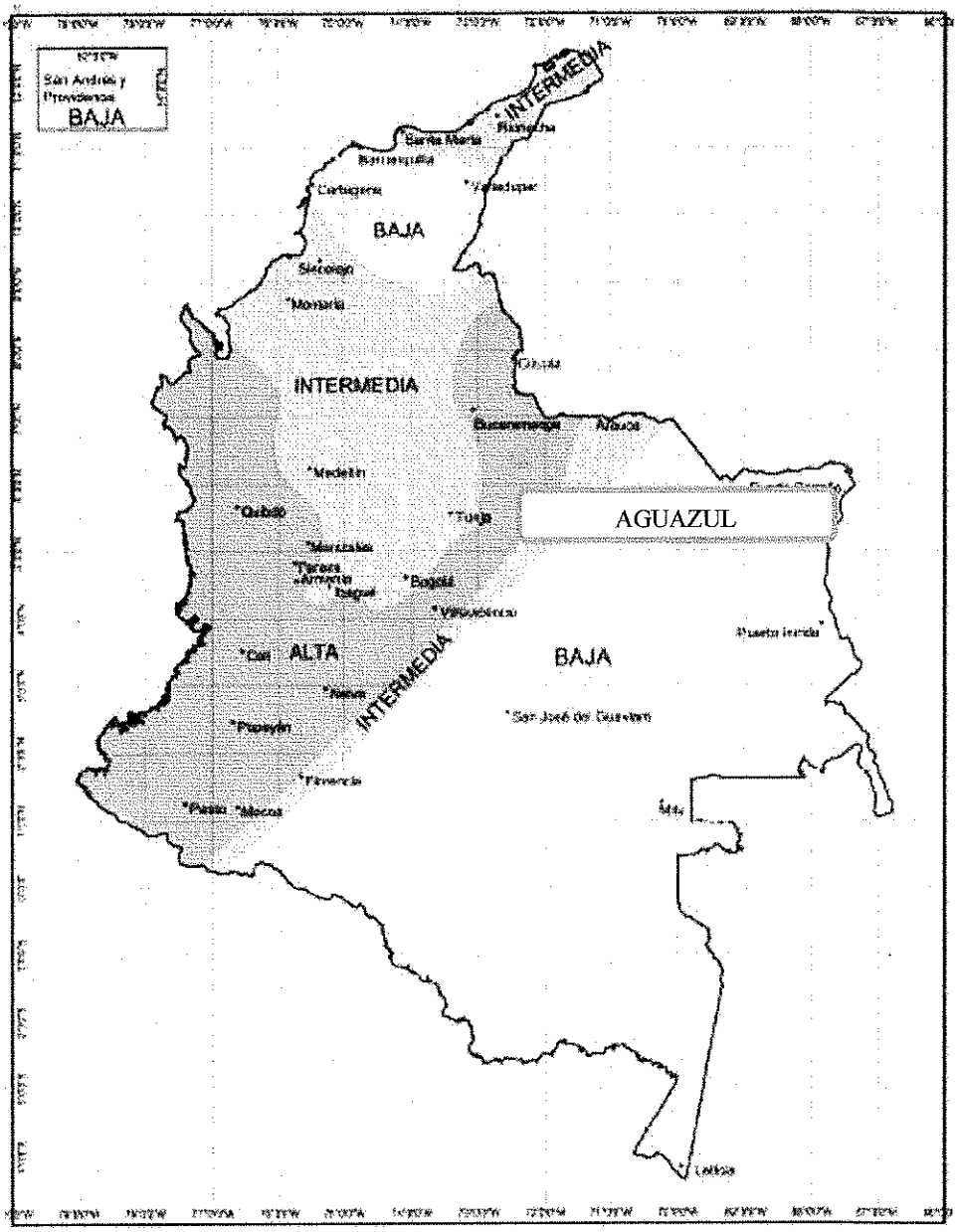


Figura 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

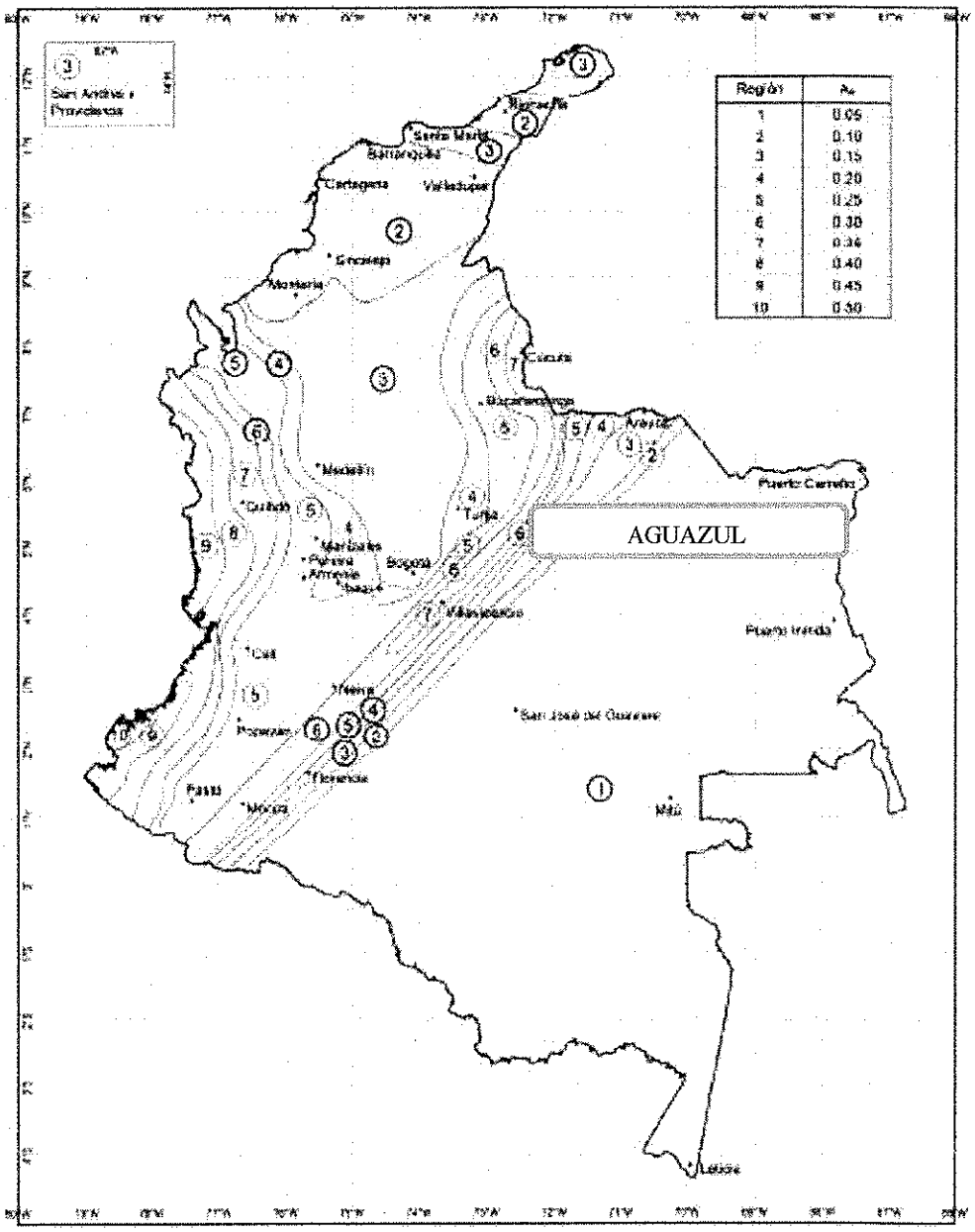


Figura 2. Mapa de valores de Aa.

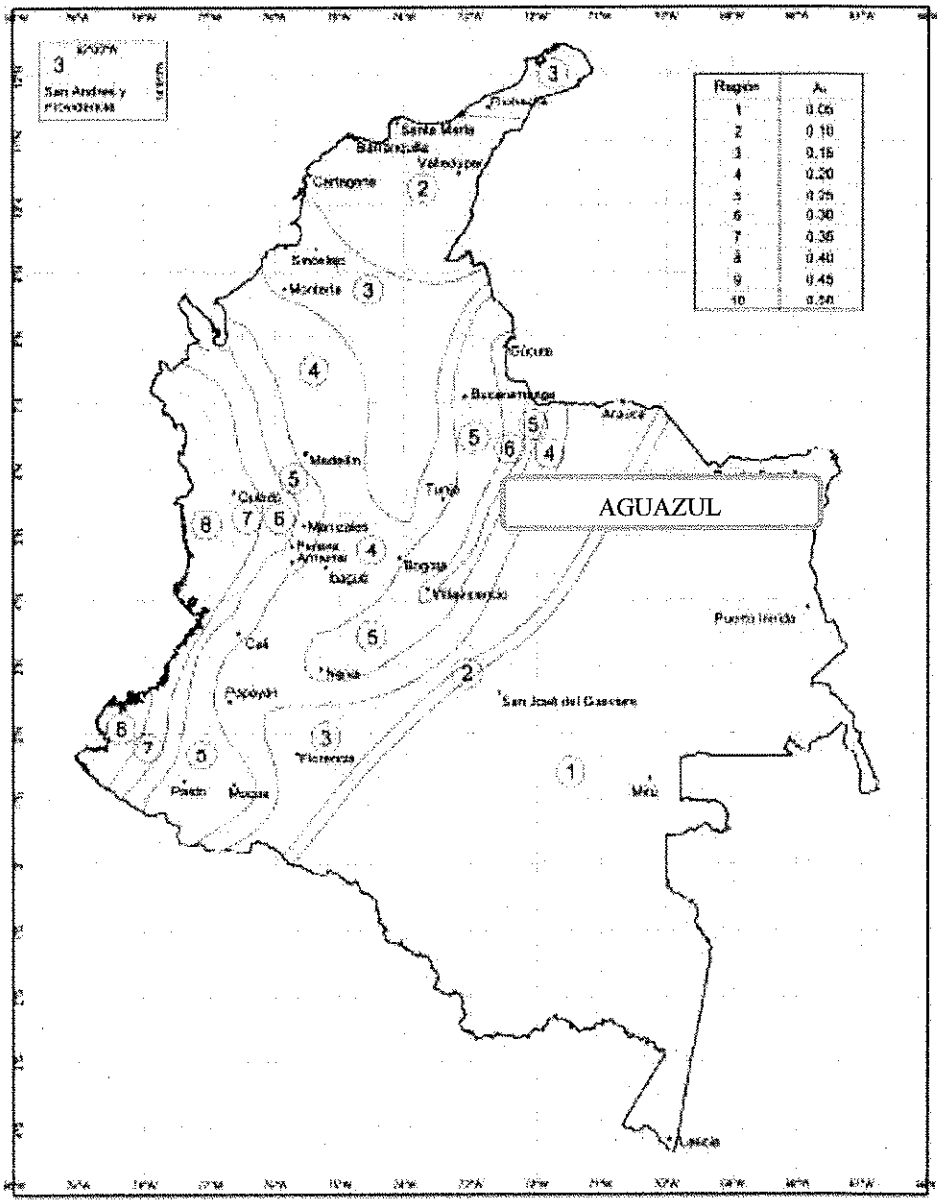


Figura 3. Mapa de valores de Av.

Para poder entender un poco más del aspecto relacionado a continuación se harán varias distinciones:

Zona de Riesgo Sísmico: son regiones del país donde el riesgo sísmico se considera bajo, intermedio o alto.

Zona de Riesgo Sísmico Bajo: es aquella zona donde Aa como Av son menores o iguales a 0.10.

Zona de Riesgo Sísmico Intermedio: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores o iguales a 0.10 y ninguno de los dos excede a 0.20.

Zona de Riesgo Sísmico Alto: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores de 0.20.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de casanare.

Departamento de Casanare						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Yopal	85001	0.30	0.20	Alta	0.15	0.06
Aguazul	85010	0.30	0.20	Alta	0.14	0.06
Chámeza	85015	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Hato Corozal	85125	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Salina	85136	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Maní	85139	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Monterrey	85162	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Nunchía	85225	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.04
Orocué	85230	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Paz de Ariporo	85250	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Pore	85263	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Recetor	85279	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Sabanalarga	85300	0.35	0.30	Alta	0.13	0.05
Sácama	85315	0.35	0.20	Alta	0.16	0.08
San Luis de Palenque	85325	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Támara	85400	0.35	0.15	Alta	0.16	0.08
Tauramena	85410	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
Trinidad	85430	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Villanueva	85440	0.20	0.20	Intermedia	0.06	0.03

Movimiento Sísmico de Diseño: esta se define en función de la aceleración pico efectiva (Aa) y de la velocidad pico efectiva (Av).

*Según el espectro de diseño, los valores de Aa y Av, para el sitio del proyecto son de **0.30 y 0.20** respectivamente lo cual nos representa una zona de riesgo sísmico **ALTA**.*

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO

El área del proyecto donde se cimentará la edificación presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	*limo de baja plasticidad arenoso*
Vegetación	*no evidencia.*
Tipo de erosión	*No evidencia.*
Estado	*Remoldeado, semialterado,*
Estado de esfuerzos	*Normalmente consolidado*

El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión ***limo de baja plasticidad arenoso,*** *clasificado según la S.U.C.S. como un suelo* ***"ML"****.*

2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La estructura proyectada corresponde a ***una edificación*** *con sistema estructural tipo pórtico.*

Las cargas que se transmitirán al suelo de fundación se simulan entre 5 y 500 toneladas. Cabe anotar que las cargas mayoradas por fuerzas de sismo no superan en ningún caso el 20% de la carga real por peso propio de la estructura más la carga viva de utilización de las estructuras.

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL

Para conocer el perfil estratigráfico, las propiedades geomecánicas de las capas y la posición y características del nivel freático; se realizaron tres ***(3) exploraciones*** *mediante* ***excavación manual*** *y avance perforación manual y con cono dinámico hasta alcanzar una profundidad máxima de exploración de* ***6.00*** *metros.*

La disposición de la exploración se planeó con el propósito de lograr una correlación tridimensional del perfil del subsuelo del área del proyecto.

3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

En cada exploración se efectuó un muestreo representativo para los diferentes estratos, tomando muestras alteradas en bolsa para clasificación y ensayo de resistencia a la penetración con cono dinámico SPT.

Todas las muestras se identificaron visualmente en campo y en laboratorio, y sobre un número representativo de los diferentes estratos se realizó el siguiente programa de ensayos:

- *Ensayos de humedad natural.*
- *Límites de atterberg.*
- *Granulometría y gradación*
- *Peso unitario*
- *Ensayo de penetración dinámica SPT.*

En la sección de anexos se muestran los respectivos registros obtenidos tanto en campo como en laboratorio para cada exploración de la siguiente manera:

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar DCPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo SPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Aproximaciones sucesivas para determinar las dimensiones de la cimentación.*
  - *Anexo 5; Tensión transmitida en profundidad.*
  - *Anexo 6; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable hasta 6.0mts.*
  - *Anexo 7; Capacidad portante Df = 1,5 m.*
  - *Anexo 8; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, SPT.*
  - *Gráfica 2; Tensión transmitida a profundidad en el suelo.*
  - *Gráfica 3; Presión admisible variable hasta 6.00 mts.*
  - *Gráfica 4; Carga admisible Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 5; Asentamientos elásticos Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 6; Modulo de reacción del suelo Ks variable hasta Df = 6.00 metros.*
- ***Resultados de laboratorio***
- ***Registro fotográfico***

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO

En el Anexo 1 de cada exploración se muestra el perfil geotécnico con la descripción de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio. En general se pudo establecer la presencia de ***un suelo compuesto por limo de baja plasticidad arenoso clasificado según la S.U.C.S. como un suelo "ML".***

4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES

Con el fin de realizar los cálculos geotécnicos y ante la posibilidad de ascensos piezómetros debido a la actividad hidrogeológica presente en este tipo de depósitos se tomó como critico la profundidad de nivel freático Dw = 0.0 metros. Esto condiciona que el cálculo de presión del suelo de fundación se hará con el peso unitario sumergido. En cada uno de los perfiles encontrados se presenta la posición del nivel freático.

4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO

La historia geológica del perfil de subsuelo explorado permite clasificarlo como un material normalmente consolidado de composición cohesivo. De acuerdo con la clasificación unificada de suelos S.U.S.C., el perfil explorado pertenece a los grupos ***"ML"****.*

El anexo 1, de cada exploración muestra un resumen de todos los resultados de ensayos de campo obtenidos para el perfil promedio establecido, recopilando los datos de todo el muestreo efectuado y tomando los registros de ensayos de campo para la exploración efectuada.

En general las propiedades geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil de suelo explorado reflejan características ***buenas*** *con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; relacionadas con la* ***media*** *resistencia al corte y a la naturaleza friccionante del suelo. La resistencia al corte tiene un comportamiento constante contra la profundidad del perfil.*

Las propiedades geomecánicas e índice por capas pueden resumirse así:, humedad natural media (HN), limites de Atterberg bajos (LL, LP e IP), pesos unitarios o

gamma medios (γt) en t/m³, pesos específicos medios (Gs), esfuerzos efectivos de pre consolidación medios a bajos (σp) en t/m².

4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN

Con base en los resultados de investigación del subsuelo, en cuanto a su resistencia y compresibilidad, teniendo en cuenta la topografía del terreno y suelo de fundación al igual que las características estructurales del proyecto; se realizó el análisis de estabilidad (Capacidad portante) para cimentación superficial por los métodos de NSR-10 (Meyerhof). Los asentamientos se evaluaron del tipo elástico o inmediato.

4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

La profundidad de cimentación para las estructuras proyectadas se determina según su tipo de uso. Para el cálculo se utilizó una profundidad de desplante ***Df = 1.5 metros****, sin embargo se presenta para las demás profundidades hasta llegar a la máxima de exploración. Anexo 4 y 5. El tipo de cimentación recomendada es:*

Sistema estructural	***Tipo de cimentación***	***Profundidad de cimentación***
portico	*Zapatas amarradas en dos direcciones*	*1.5 metros.*

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3

5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.

Teniendo en cuenta el nivel de fundación adoptado y la estratigrafía del suelo, se establece la presión de hundimiento por falla general para suelos de naturaleza mixta de la siguiente manera:

5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS

En pruebas de penetración estándar tipo DCPT para suelos con cohesión, y considerando el valor de N a una presión de sobrecarga efectiva de 10 Ton/m² como estándar, el factor de corrección CN que hay que aplicar a los valores de campo de N para otras presiones diferentes esta dado aproximadamente por:

$$CN = 0.77 * \log_{10}(\frac{200}{\bar{P}})$$

$\bar{P}$ = *Presión vertical efectiva por sobrecarga en T/m² a la profundidad de la prueba de penetración. Ecuación válida para:*

$$\bar{P} \geq 2.5 T/m^2$$

Luego con el valor corregido de N se aplica la ecuación (Anexo 3):

$$\sigma_a = N * \left(1 + \frac{1}{3.3 * B}\right)^2 * \frac{1}{12}$$

Donde B es el ancho de la cimentación y teniendo en cuenta la corrección por nivel freático.

$$Cw = \frac{1}{2} * \left(1 + \frac{Dw}{D+B}\right)$$

5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10

$$q_o = C*Nc + \gamma_{sobrecapa}*Df*N_q + \frac{\gamma_{fundacion} * B * N_\gamma}{2}$$

Donde Nc, N_q y N_γ son factores adimensionales de capacidad portante calculados según las siguientes ecuaciones:

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

$Nc = (N_q - 1)*cot\phi$
$N_\gamma = 2(N_q - 1)*tan\phi$

B = Ancho del cimiento en metros

γsobrecapa = peso unitario total Ton/m³ ; γfundación = γsobrecapa -1 Ton/m³
*Df = variable hasta **6.0 metros***
*q = γsobrecapa*Df*

*Capacidad portante neta de seguridad: Adoptando un factor de seguridad (F.S.) = 3. Para una profundidad de **1.5 metros**.*
qad = qo/F.S.
F.S. = 3

VER ANEXO 4

5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS

Tomando las condiciones máximas de carga axial última de columnas para los rangos más frecuentes, según datos analizados por áreas aferentes, se calcula el ancho mínimo de cimientos (B), considerando la capacidad portante neta de seguridad y la fundación con base en la alternativa de cimientos aislados, la ecuación de cálculo es la siguiente: $B = (Q/q_{ad})^{1/2}$.
*El **anexo 5** muestra las dimensiones para las condiciones de carga más probables y relevantes en el análisis de estabilidad, utilizando cimientos cuadrados.*

5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN

Para las condiciones de carga con cimientos aislados, los anchos de cimiento calculados, se efectúa el cálculo para esfuerzos de contacto, esfuerzos de descarga

por excavación y esfuerzos netos transmitidos al suelo, comparados con la capacidad portante de seguridad. El ***anexo 5*** *muestra estos resultados.*

Donde: σc *= Esfuerzo de contacto.*
Dp = Esfuerzo de descarga por excavación.
σn *= Esfuerzo neto transmitido al suelo de fundación.*

Como puede observarse en el ***anexo 5*** *de cada sondeo, para todas las condiciones de carga con los anchos de cimiento calculados, los esfuerzos netos reales (*σn*) inducidos al perfil del suelo bajo la fundación se encuentran por debajo de la capacidad portante. Lo anterior permite verificar que, las condiciones de estabilidad y deformación son óptimas para cualquier sistema de fundación.*

5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

El asentamiento o deformación total es el siguiente:
$\delta t = \delta i + \delta cp + \delta cs$
Donde: δt *= Asentamiento total.*
δi *= Asentamientos inmediatos o elásticos.*
δcp *= Asentamientos por consolidación primaria.*
δcs *= Asentamientos por consolidación secundaria.*

Asentamientos Inmediatos (δi*): Se calcula el asentamiento inmediato por el método elástico, en éste se considera una deformación tridimensional producida casi simultáneamente con la aplicación de la carga durante la construcción, los parámetros de cálculo son los siguientes:*

Compresibilidad: Para el cálculo de asentamientos se adopta un módulo de deformación elástica a partir de las siguientes correlaciones:
*- (No Drenado) = Eu = 400 * Qad, T/m*^{2}*.*

*- (Drenado) = Ed = 2/3 * (1-*μ*) * Eu. T/m*^{2}*.*

- *Se toma la relación de poisson (*μ***= 0.50)*** *para suelos mixtos en estado saturado.*

El asentamiento inmediato para cimientos aislados se calcula por la teoría de Timoshenko y Goodier (1970), tomando las mismas condiciones de cargas estructurales del ***anexo 4,*** *siendo estas las más críticas:*
$\delta i = Cd * B * \sigma c * (1- \mu 2)/Ed$
Donde: Cd = factor de forma y rigidez del cimiento = 1,08. (CCP-95)
B = Dimensión menor del cimiento (m).
σc *= Esfuerzo de contacto (T/m*^{2}*).*

δi = Asentamiento inmediato en (cm).

En el anexo 5 y gráfica 4 se aprecian los resultados de los asentamientos inmediatos (δi), calculados para las diferentes cargas consideradas, con los anchos mínimos de cimiento requeridos

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

La presión que el suelo o depósito ejerce sobre las paredes de la cimentación, depende en términos generales del desplazamiento del conjunto. La hipótesis de diseño corresponde a que el relleno ceda generando una disminución de la presión hasta un mínimo que se identifica como el estado activo.

El valor del coeficiente activo de presión de tierras es entonces KA:

$$K_A = \frac{1 - Sen\phi}{1 + Sen\phi} = Tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

Los resultados se presentan en el Anexo 6 para cada una de las exploraciones realizadas.

7 CONCLUSIONES

1. El área del proyecto donde se cimentaran la estructura presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	***limo de baja plasticidad arenoso***
Vegetación	*no evidencia.*

*2. El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión de **limo de baja plasticidad arenoso,** clasificado según la S.U.C.S. como un suelo **"ML".***

*3. Las propiedades índices y geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil del suelo explorado, reflejan características **buenas** con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; en cuanto a la resistencia al corte.*

*4. El nivel de cimentación recomendado es de **1,5 metros,** calculo hasta la profundidad máxima de sondeo y su utilización está condicionada según requerimiento estructural. Se debe cimentar sobre una capa de relleno seleccionado y compactado de 0.50 metros de espesor al 95% de su proctor*

5. Geotécnicamente el suelo del proyecto puede caracterizarse como de consistencia media a baja con actividad potencial alta entre 0.0 m y 1.00 m en promedio de profundidad y de consistencia media con actividad potencial baja entre 1.00 m y 6.0m.

*6. Las características del proyecto y del suelo de fundación permiten establecer que para la **obra**, lo más adecuado técnica y económicamente es un sistema de cimentación superficial tipo **zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre**, cumpliendo los chequeos estructurales a volcamiento (Momentos).*

*7. Los cortes de las excavaciones de la cimentación **no se** pueden hacer verticales, se debe adoptar un sistema de sostén lateral, atendiendo el cálculo de la altura crítica para suelos así:*

$$Hc = \frac{Hcult}{F.S.}$$

$$H_{cult} = \frac{2 * Cu}{\gamma'}$$

Para excavaciones más profundas o que no correspondan a las de cimentación, se debe consultar al ingeniero de suelos para su concepto y diseño

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

Para la fundación de las estructuras se recomienda adoptar una cimentación superficial mediante ***zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre*** *según sea el tipo de requerimiento estructural, sobre relleno compactado o concreto ciclópeo.*

El nivel de fundación para el proyecto, si finalmente los chequeos de esfuerzos y áreas, dan viabilidad a estas alternativas, debe implantarse a la profundidad descrita en el numeral 4.5.

8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

Se recomienda adoptar los valores de coeficientes de presión lateral de tierras propuestos en el anexo 6.

8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

Según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (Ley 400 de agosto 1997 modificada ley 1229 de 2008 y Decreto 926 de marzo de 2008) y teniendo en cuenta los criterios locales de esfuerzos activos producidos por las Fallas, se debe tomar los siguientes parámetros:

Tremor sísmico en escala de intensidad de Mercalli = 7.25 a 7.50.

Zona de amenaza sísmica = alta.

Aa = 0.30

Av = 0.20

Tipo de perfil de suelo = D $15 < N < 50$

Fa = 1,2

Fv = 2.0

Grupo de uso = I.
Coeficiente de importancia (I) = 1.

La orientación del sismo más peligroso debe tomarse en dirección aproximada Este - Oeste, siendo ésta la orientación del eje principal de esfuerzos tectónicos (σ1) que plegaron y fallaron las rocas regionalmente; el efecto de la fuerza sísmica sobre las estructuras debe ser aplicado en las dos direcciones.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

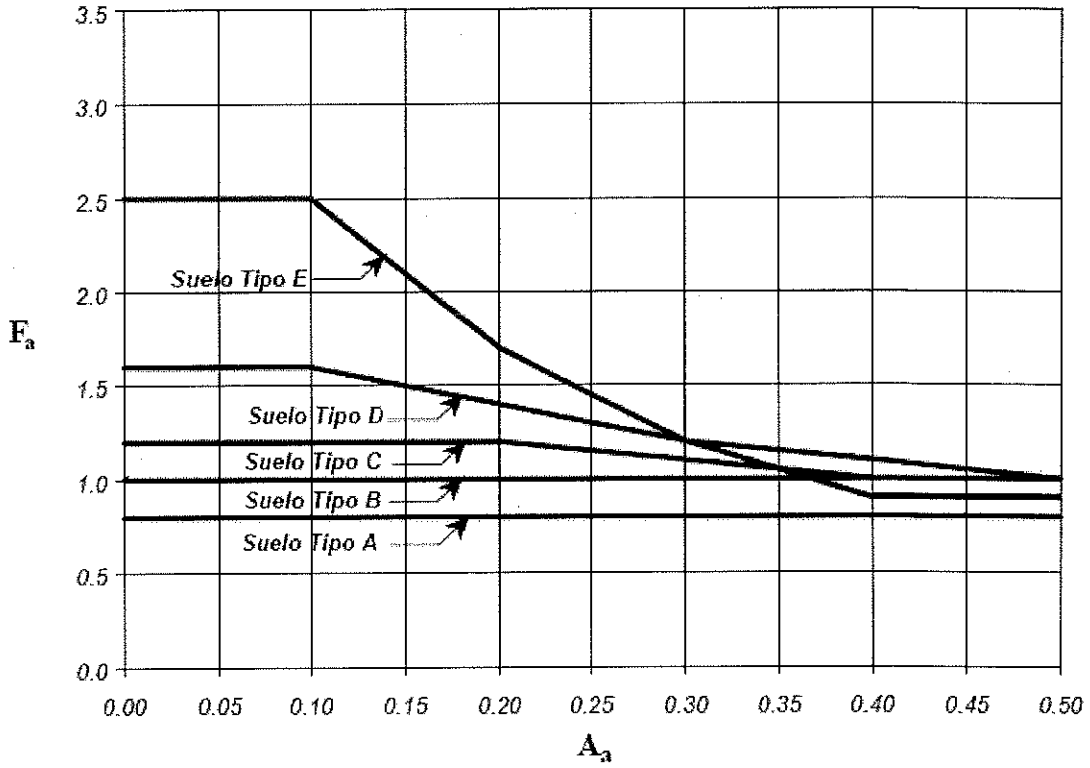


FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

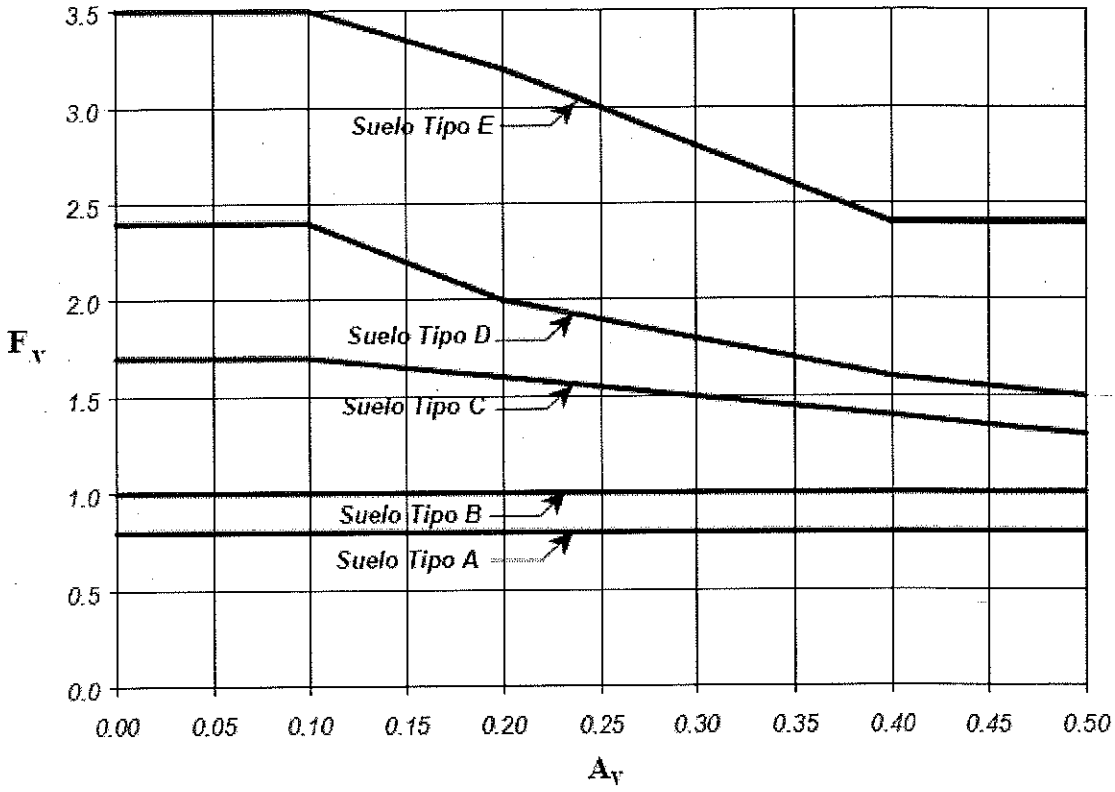


FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS

Las excavaciones para los cimientos y los cortes de adecuación del proyecto, deben planearse obligatoriamente en período seco. Las excavaciones de cimientos ***no se*** *pueden hacer con taludes verticales atendiendo el cálculo de altura crítica, numeral 7.7.*

Si se proyectan placas de piso, deberán apoyarse en una capa de recebo de 0,30 m de espesor compacto, una vez descapotada la capa superior; las características del material de recebo para el relleno deben ser: Límite líquido máximo 26%, Índice de plasticidad máximo 6%, Espesor de compactación 0,10 a 0,15 m, Grado de compactación; mínimo 90% del peso unitario seco máximo del Proctor Modificado y con una granulometría como la siguiente:

Tamiz	***% que pasa***
2 ½"	***75-100***
1"	***50-80***
No 4	***20-55***
No 200	***0-20***

8.5. OTRAS RECOMENDACIONES

Para dar una correcta interpretación y aplicabilidad al estudio de suelos este debe ser contemplado en su totalidad sin limitaciones a los capítulos de conclusiones y recomendaciones.

Se deberá enviar al Ingeniero Geólogo una copia de los planos de cimentación, para su revisión desde el punto de vista del comportamiento geotécnico y de interacción SUELO - ESTRUCTURA para su referencia posterior.

La construcción de la cimentación debe hacerse preferiblemente en época de verano para evitar alteraciones y remoldeos en la base de cimentación, problemas de inestabilidad en las excavaciones e incrementos de caudales de evacuación.

Bajo ninguna circunstancia se debe permitir la descarga de aguas superficiales en las zonas aledañas al lote del proyecto una vez hecha la fundación.

Desde el punto de vista de sustancias químicas nocivas al concreto se deberán realizar los ensayos correspondientes de acuerdo a la INV-1996 puesto que el ambiente geológico de formación y evolución del perfil del suelo se ha dado en condiciones de clima cálido, donde las reacciones químicas ácidas probablemente han estado presentes, de manera que se prevé la presencia de sulfatos. Esta apreciación es cualitativa tomando como referencia la historia geológica del perfil; sin embargo es de libre albedrío si los profesionales encargados del proyecto desean obtener datos cuantitativos al respecto.

Se recomienda programar visitas por parte del Ingeniero Geólogo durante la construcción de la cimentación con el fin de inspeccionar el proceso de excavación y aprobación del suelo de fundación.

Los asentamientos en condiciones normales surgidos por las propiedades de compresibilidad, consideradas por deformación elástica, serán de medios a altos, proporcionales a las cargas, lo cual permite esforzar el suelo a un 100% de su resistencia al corte mediante presiones de trabajo equivalentes; sin embargo debe hacerse un chequeo detallado con las cargas reales de diseño. De cualquier forma la fundación diseñada debe descartar totalmente asentamientos de tipo diferencial

9 LIMITACIONES

Los resultados obtenidos en este estudio, lo mismo que las recomendaciones dadas están basados en las características estructurales del proyecto, lo mismo que las propiedades geomecánicas del subsuelo explorado mediante pruebas de campo y laboratorio. Cualquier modificación posterior en las características arquitectónicas y estructurales del proyecto con relación a las suministradas por el diseñador, implicarán nuevas condiciones de estabilidad y deformación que deben ser calculadas.

Si durante la construcción aparecen circunstancias no previstas en este informe, se deberá avisar al Ingeniero Geólogo para buscar las soluciones y recomendaciones más convenientes.

El proceso de excavación debe ser muy técnico evitando remoldeos en el suelo de fundación o las paredes excavadas, lo que posteriormente pueda ocasionar asentamientos.

El proceso constructivo excavación-cimentación debe efectuarse en el menor tiempo posible con el fin de controlar el levantamiento del fondo de la excavación debido al rebote de estratos y/o presiones negativas de subpresión.

Para evitar el efecto de columna corta de debe permitir que el pórtico trabaje independiente del muro mediante dilatación.

El piso de cimentación deberá ser aprobado por el Ingeniero Geólogo.

Se debe incluir obligatoriamente en la valla de obra el geotecnista del proyecto con nombre y matricula profesional.

LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño.*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar SPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo DCPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable.*
  - *Anexo 5; Capacidad portante Df = 1.5 metros.*
  - *Anexo 6; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, DCPT.*
  - *Gráfica 2; Presión admisible variable.*
  - *Gráfica 3; Carga admisible Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 4; Asentamientos elásticos Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 5; Modulo de reacción del suelo Ks variable.*
- ***Resultados de laboratorio***

ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

GRAFICAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO


ESTUDIO GEOELECTRICO
VEREDA LA TURUA
Pozo Sonda centro
AGUAZUL-CASANARE
AB-3
SPT-1




ESTUDIO
VEREDA LA TURUA
POZO SECTOR CORTES
AGUAZUL-CASANARE

ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION PANELES SOLARES POZO CUSIANA 1 VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DE CASANARE

REALIZO:

DIEGO FERNANDO VENEGAS
M.P. 25202-207565 CND
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA VIAL

REVISO Y APROBO:

FREDY MAURICIO PADILLA PLATA
M.P. 25202-261634 CND
INGENIERO CIVIL EPECIALISTA EN GEOTECNIA

MUNICIPIO DE AGUAZUL

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 349 DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO
1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA
1.2.1 SISMICIDAD

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO
2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL
3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO
4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES
4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO
4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN
4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3
5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.
5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS
5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10
5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS
5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN
5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

7 CONCLUSIONES

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS
8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE
8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS
8.5. OTRAS RECOMENDACIONES

9 LIMITACIONES

LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS

ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

GRAFICAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

FIGURA 2. Mapa de valores de Aa.

FIGURA 3. Mapa de valores de Av.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de Casanare.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

INTRODUCCIÓN

El informe contiene los resultados del estudio Geotécnico o de suelos y fundaciones para el ***ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION PANELES SOLARES*** **POZO CUSIANA 1 VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL,** ***DEPARTAMENTO DE CASANARE***

El estudio incluye un reconocimiento Geológico y Geotécnico preliminar del área del proyecto y sus zonas perimetrales, la exploración del subsuelo mediante tres ***(3) EXPLORACION GEOTÉCNICA*** *con* ***avance apique manual, barreno manual y cono dinámico****, efectuando ensayos de campo y un muestreo sistemático de acuerdo a la Norma A.S.T.M. D1586-67; para realizar posteriormente los ensayos de laboratorio requeridos en la determinación de las características de resistencia y compresibilidad del subsuelo, propiedades necesarias en los análisis de estabilidad y deformación para las alternativas de fundación.*

El informe presenta todos los detalles del estudio, memorias de los resultados de la investigación con base en el código colombiano de construcciones sismorresistente NSR-10, titulo H, numeral H.2.2.2.

> H.2.2.2 — **ESTUDIO GEOTECNICO DEFINITIVO** — Trabajo realizado para un proyecto específico, en el cual el ingeniero geotecnista debe precisar todo lo relativo a las condiciones físico-mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas, conforme a este Reglamento y en especial los Títulos A y H. Su presentación es obligatoria ya que en este se definen el tipo de suelo, el diseño y las recomendaciones de la cimentación y del proceso constructivo.

fuente. Norma sismo resistente NSR 10.

las conclusiones y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para el sistema de cimentación más adecuado, los parámetros sísmicos del perfil de suelo, lo mismo que los criterios para su diseño y construcción. Como se solicita en el numeral H.2.2.2.1.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en la POZO CUSIANA 1 VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL*, Se plantearon tres* ***(3)*** *exploraciones geotécnicas mediante* ***apique manual*** *y avance mediante perforación manual y penetración de cono dinámico. Estas se realizan siguiendo los lineamientos establecidos en el titulo H, de la norma sismo resistente NSR 10, la cual define el número de sondeos a realizarse dependiendo el nivel de complejidad de la estructura a construir.*

1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA

Aguazul, al igual que todo el departamento de Casanare evidencia una formación de tipo estructural sobre la cordillera Oriental y una depositación de tipo torrencial sobre el piedemonte y altiplanicies; estos suelos dan origen a la mayoría de los suelos que posee el municipio.

Estratigrafía:

Las unidades estratigráficas que conforman el suelo y subsuelo del municipio de Aguazul pertenecen a la llamada Cuenca del Borde Llanero, que comprende varios ciclos sedimentológicos. Regionalmente la zona de estudios se ubica sobre unidades de edad Terciaria y Cuaternaria, las cuales se describen a continuación.

- ***Formación San Fernando (Tsf):*** *Limolitas y arcillolitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas y ocasionales mantos de carbón. Su edad se considera Oligoceno-Mioceno inferior.*

- ***Formación Diablo (Td):*** *Areniscas cuarzosas y limolitas conglomeráticas con intercalaciones de limolitas y arcillolitas, de edad Mioceno inferior a Mioceno medio.*

- ***Formación Caja (Tc):*** *En la base está constituida por una alternancia de arcillas, areniscas y limolitas, en la parte media areniscas arcillosas conglomeráticas, arcillas y limolitas, y hacia el techo conglomerados y arcillolitas. Su edad se considera Mioceno medio a Pleistoceno.*

- ***Formación La Corneta (Qtlc):*** *Conglomerado grueso poco compacto compuesto por gravas con cantos de areniscas y cuarzo, cementados en una*

matriz arcillosa, de edad Pleistoceno superior.

- ***Deposito Cuaternario Aluvial Reciente (Qar):*** *Confinados a las márgenes de los principales ríos y quebradas, suavemente ondulados, sometidos a la inundación ,están constituidos principalmente por sedimentos actuales, cantos y gravas de composición arenosa, depositados por las corrientes mayores, en llanuras relativamente angostas, conforman barras, que en sus partes bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes.*

- ***Deposito Cuaternario Terrazas (Qt):*** *Sectores de morfología plana más elevadas con respecto a los canales fluviales activos. Están compuestas por niveles de gravas clasto-soportadas, matriz-soportadas y arenas. Estos depósitos se han disectado a diferentes niveles del paisaje circundante y han conformado terrazas limitadas por cursos de agua.*

1.2.1 SISMICIDAD

En el territorio Colombiano existe una gran influencia en este campo, debido a la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, reflejada en las grandes fallas que se presentan en la Cordillera de los Andes, a las cuales se les atribuyen los sismos que se han presentado a través del tiempo.

Los modernos procedimientos de registro instrumental permiten realizar cálculos sismométricos, como las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, trayectorias seguidas por ondas, profundidad epicentral o focal, densidades en el interior de la tierra, naturaleza del movimiento sísmico, etc.

Teniendo en cuenta los factores mencionados se han hecho clasificaciones y zonificaciones con respecto a la sismicidad. En Colombia se tiene una clasificación sismológica que ubica la zona de estudio en un nivel de amenaza intermedia, que puede convertirse en un factor detonante cuando las condiciones morfológicas y propiedades geotécnicas de los materiales son susceptibles a la desestabilización de las laderas.

ZONAS DE RIESGO SÍSMICO EN COLOMBIA

El mapa de zonas de riesgo sísmico en Colombia indica la mayor o menor peligrosidad de las diferentes regiones del territorio nacional. Esto permite a los ingenieros, constructores y en general a los científicos interesados en este tipo de información, disponer de la actividad sísmica probable en una zona determinada, o mejor aún captar una visión general de la sismicidad global del país.

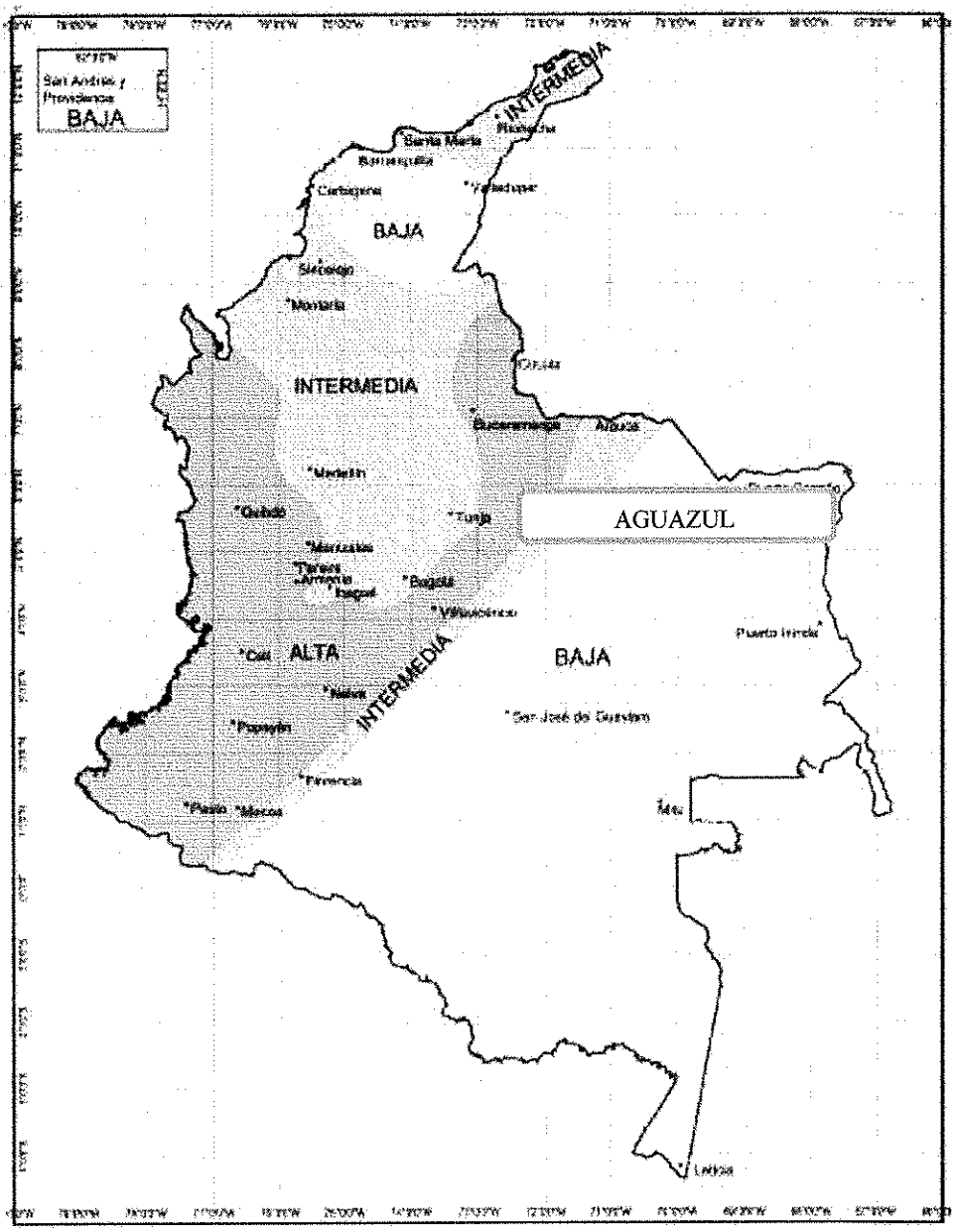


Figura 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

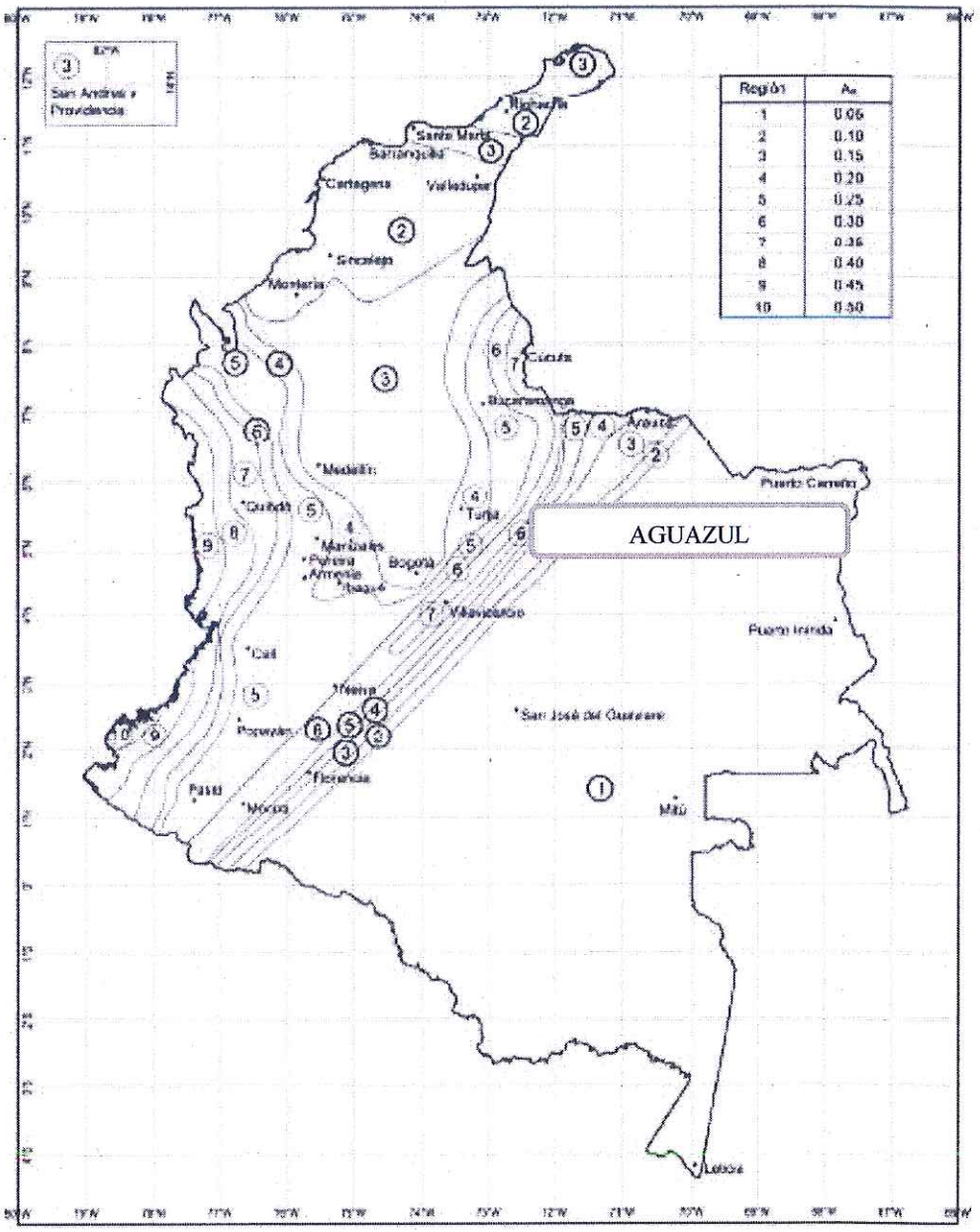


Figura 2. Mapa de valores de Aa.

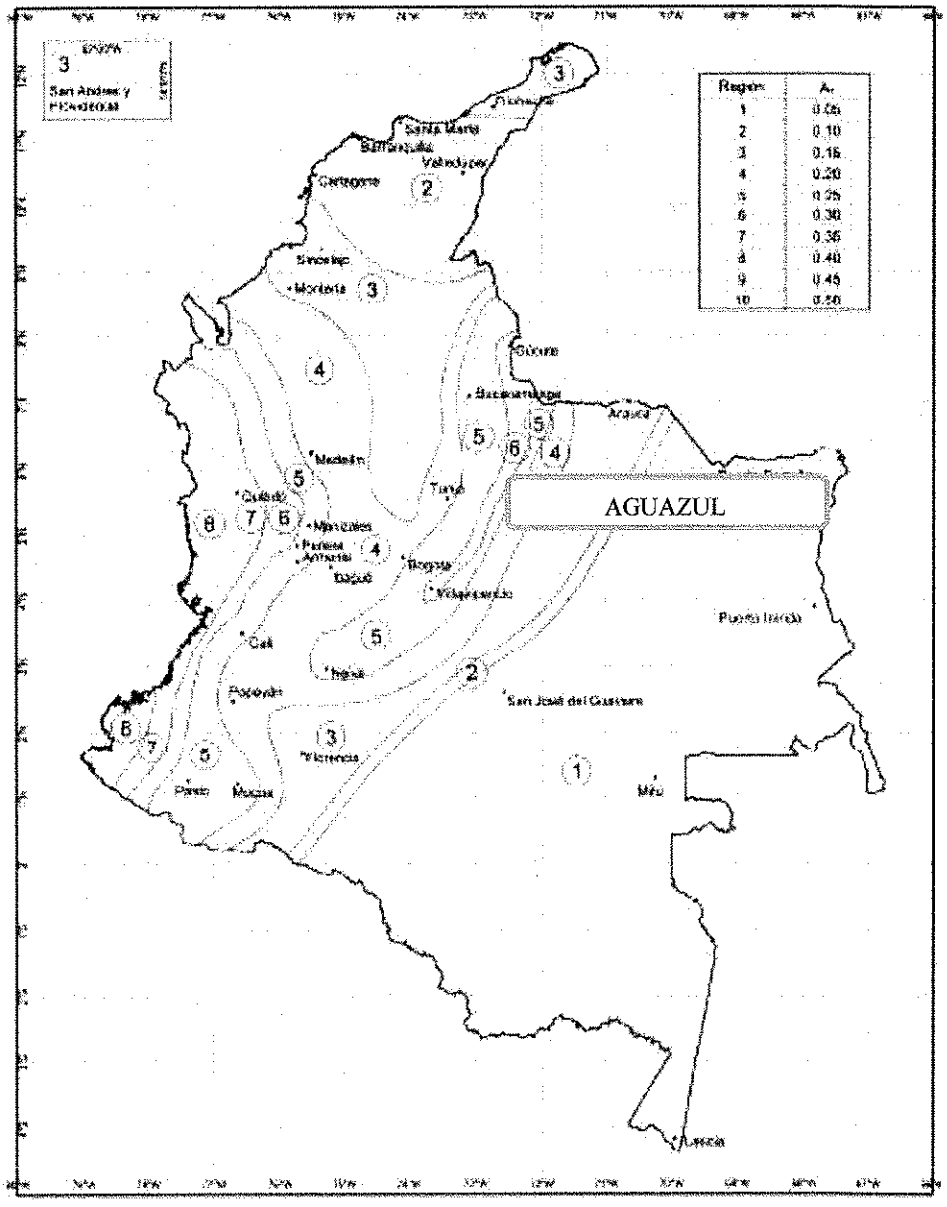


Figura 3. Mapa de valores de Av.

Para poder entender un poco más del aspecto relacionado a continuación se harán varias distinciones:

Zona de Riesgo Sísmico: son regiones del país donde el riesgo sísmico se considera bajo, intermedio o alto.

Zona de Riesgo Sísmico Bajo: es aquella zona donde Aa como Av son menores o iguales a 0.10.

Zona de Riesgo Sísmico Intermedio: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores o iguales a 0.10 y ninguno de los dos excede a 0.20.

Zona de Riesgo Sísmico Alto: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores de 0.20.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de casanare.

Departamento de Casanare						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Yopal	85001	0.30	0.20	Alta	0.15	0.06
Aguazul	85010	0.30	0.20	Alta	0.14	0.06
Chámeza	85015	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Hato Corozal	85125	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Salina	85136	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Maní	85139	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Monterrey	85162	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Nunchía	85225	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.04
Orocué	85230	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Paz de Ariporo	85250	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Pore	85263	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Recetor	85279	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Sabanalarga	85300	0.35	0.30	Alta	0.13	0.05
Sácama	85315	0.35	0.20	Alta	0.16	0.08
San Luis de Palenque	85325	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Támara	85400	0.35	0.15	Alta	0.16	0.08
Tauramena	85410	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
Trinidad	85430	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Villanueva	85440	0.20	0.20	Intermedia	0.06	0.03

Movimiento Sísmico de Diseño: esta se define en función de la aceleración pico efectiva (Aa) y de la velocidad pico efectiva (Av).

*Según el espectro de diseño, los valores de Aa y Av, para el sitio del proyecto son de **0.30 y 0.20** respectivamente lo cual nos representa una zona de riesgo sísmico **ALTA**.*

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO

El área del proyecto donde se cimentará la edificación presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	*limo de baja plasticidad arenoso*
Vegetación	*no evidencia.*
Tipo de erosión	*No evidencia.*
Estado	*Remoldeado, semialterado,*
Estado de esfuerzos	*Normalmente consolidado*

El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión ***limo de baja plasticidad arenoso,*** *clasificado según la S.U.C.S. como un suelo* ***"ML"****.*

2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La estructura proyectada corresponde a ***una edificación*** *con sistema estructural tipo pórtico.*

Las cargas que se transmitirán al suelo de fundación se simulan entre 5 y 500 toneladas. Cabe anotar que las cargas mayoradas por fuerzas de sismo no superan en ningún caso el 20% de la carga real por peso propio de la estructura más la carga viva de utilización de las estructuras.

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL

Para conocer el perfil estratigráfico, las propiedades geomecánicas de las capas y la posición y características del nivel freático; se realizaron tres ***(3) exploraciones*** *mediante* ***excavacion manual*** *y avance perforación manual y con cono dinámico hasta alcanzar una profundidad máxima de exploración de* ***6.00*** *metros.*

La disposición de la exploración se planeó con el propósito de lograr una correlación tridimensional del perfil del subsuelo del área del proyecto.

3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

En cada exploración se efectuó un muestreo representativo para los diferentes estratos, tomando muestras alteradas en bolsa para clasificación y ensayo de resistencia a la penetración con cono dinámico SPT.

Todas las muestras se identificaron visualmente en campo y en laboratorio, y sobre un número representativo de los diferentes estratos se realizó el siguiente programa de ensayos:

- *Ensayos de humedad natural.*
- *Límites de atterberg.*
- *Granulometría y gradación*
- *Peso unitario*
- *Ensayo de penetración dinámica SPT.*

En la sección de anexos se muestran los respectivos registros obtenidos tanto en campo como en laboratorio para cada exploración de la siguiente manera:

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar DCPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo SPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Aproximaciones sucesivas para determinar las dimensiones de la cimentación.*
  - *Anexo 5; Tensión transmitida en profundidad.*
  - *Anexo 6; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable hasta 6.0mts.*
  - *Anexo 7; Capacidad portante Df = 1,5 m.*
  - *Anexo 8; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, SPT.*
  - *Gráfica 2; Tensión transmitida a profundidad en el suelo.*
  - *Gráfica 3; Presión admisible variable hasta 6.00 mts.*
  - *Gráfica 4; Carga admisible Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 5; Asentamientos elásticos Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 6; Modulo de reacción del suelo Ks variable hasta Df = 6.00 metros.*
- ***Resultados de laboratorio***
- ***Registro fotográfico***

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO

En el Anexo 1 de cada exploración se muestra el perfil geotécnico con la descripción de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio. En general se pudo establecer la presencia de ***un suelo compuesto por limo de baja plasticidad arenoso clasificado según la S.U.C.S. como un suelo "ML".***

4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES

Con el fin de realizar los cálculos geotécnicos y ante la posibilidad de ascensos piezómetros debido a la actividad hidrogeológica presente en este tipo de depósitos se tomó como critico la profundidad de nivel freático Dw = 0.0 metros. Esto condiciona que el cálculo de presión del suelo de fundación se hará con el peso unitario sumergido. En cada uno de los perfiles encontrados se presenta la posición del nivel freático.

4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO

La historia geológica del perfil de subsuelo explorado permite clasificarlo como un material normalmente consolidado de composición cohesivo. De acuerdo con la clasificación unificada de suelos S.U.S.C., el perfil explorado pertenece a los grupos ***"ML"****.*

El anexo 1, de cada exploración muestra un resumen de todos los resultados de ensayos de campo obtenidos para el perfil promedio establecido, recopilando los datos de todo el muestreo efectuado y tomando los registros de ensayos de campo para la exploración efectuada.

En general las propiedades geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil de suelo explorado reflejan características ***buenas*** *con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; relacionadas con la* ***media*** *resistencia al corte y a la naturaleza friccionante del suelo. La resistencia al corte tiene un comportamiento constante contra la profundidad del perfil.*

Las propiedades geomecánicas e índice por capas pueden resumirse así:, humedad natural media (HN), limites de Atterberg bajos (LL, LP e IP), pesos unitarios o

gamma medios (γt) en t/m³, pesos específicos medios (Gs), esfuerzos efectivos de pre consolidación medios a bajos (σp) en t/m².

4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN

Con base en los resultados de investigación del subsuelo, en cuanto a su resistencia y compresibilidad, teniendo en cuenta la topografía del terreno y suelo de fundación al igual que las características estructurales del proyecto; se realizó el análisis de estabilidad (Capacidad portante) para cimentación superficial por los métodos de NSR-10 (Meyerhof). Los asentamientos se evaluaron del tipo elástico o inmediato.

4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

La profundidad de cimentación para las estructuras proyectadas se determina según su tipo de uso. Para el cálculo se utilizó una profundidad de desplante ***Df = 1.5 metros****, sin embargo se presenta para las demás profundidades hasta llegar a la máxima de exploración. Anexo 4 y 5. El tipo de cimentación recomendada es:*

Sistema estructural	***Tipo de cimentación***	***Profundidad de cimentación***
portico	*Zapatas amarradas en dos direcciones*	*1.5 metros.*

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3

5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.

Teniendo en cuenta el nivel de fundación adoptado y la estratigrafía del suelo, se establece la presión de hundimiento por falla general para suelos de naturaleza mixta de la siguiente manera:

5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS

En pruebas de penetración estándar tipo DCPT para suelos con cohesión, y considerando el valor de N a una presión de sobrecarga efectiva de 10 Ton/m² como estándar, el factor de corrección CN que hay que aplicar a los valores de campo de N para otras presiones diferentes esta dado aproximadamente por:

$$CN = 0.77 * \log_{10}(\frac{200}{\bar{P}})$$

$\bar{P}$ = *Presión vertical efectiva por sobrecarga en T/m² a la profundidad de la prueba de penetración. Ecuación válida para:*

$$\bar{P} \geq 2.5 T/m^2$$

Luego con el valor corregido de N se aplica la ecuación (Anexo 3):

$$\sigma_a = N * \left(1 + \frac{1}{3.3 * B}\right)^2 * \frac{1}{12}$$

Donde B es el ancho de la cimentación y teniendo en cuenta la corrección por nivel freático.

$$Cw = \frac{1}{2} * \left(1 + \frac{Dw}{D+B}\right)$$

5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10

$$q_o = C*Nc + \gamma_{sobrecapa}*Df*N_q + \frac{\gamma_{fundacion} * B * N_\gamma}{2}$$

Donde Nc, N_q y N_γ son factores adimensionales de capacidad portante calculados según las siguientes ecuaciones:

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

$Nc = (N_q - 1)*cot\phi$

$N_\gamma = 2(N_q - 1)*tan\phi$

B = Ancho del cimiento en metros

γsobrecapa = peso unitario total Ton/m³ ; γfundación = γsobrecapa -1 Ton/m³
*Df = variable hasta **6.0 metros***
*q = γsobrecapa*Df*

*Capacidad portante neta de seguridad: Adoptando un factor de seguridad (F.S.) = 3. Para una profundidad de **1.5 metros**.*
qad = qo/F.S.
F.S. = 3

VER ANEXO 4

5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS

Tomando las condiciones máximas de carga axial última de columnas para los rangos más frecuentes, según datos analizados por áreas aferentes, se calcula el ancho mínimo de cimientos (B), considerando la capacidad portante neta de seguridad y la fundación con base en la alternativa de cimientos aislados, la ecuación de cálculo es la siguiente: $B = (Q/q_{ad})^{1/2}$.
*El **anexo 5** muestra las dimensiones para las condiciones de carga más probables y relevantes en el análisis de estabilidad, utilizando cimientos cuadrados.*

5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN

Para las condiciones de carga con cimientos aislados, los anchos de cimiento calculados, se efectúa el cálculo para esfuerzos de contacto, esfuerzos de descarga

por excavación y esfuerzos netos transmitidos al suelo, comparados con la capacidad portante de seguridad. El ***anexo 5*** *muestra estos resultados.*

Donde: σc = Esfuerzo de contacto.
Dp = Esfuerzo de descarga por excavación.
σn = Esfuerzo neto transmitido al suelo de fundación.

Como puede observarse en el ***anexo 5*** *de cada sondeo, para todas las condiciones de carga con los anchos de cimiento calculados, los esfuerzos netos reales (σn) inducidos al perfil del suelo bajo la fundación se encuentran por debajo de la capacidad portante. Lo anterior permite verificar que, las condiciones de estabilidad y deformación son óptimas para cualquier sistema de fundación.*

5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

El asentamiento o deformación total es el siguiente:
$\delta t = \delta i + \delta cp + \delta cs$
Donde: δt = Asentamiento total.
δi = Asentamientos inmediatos o elásticos.
δcp = Asentamientos por consolidación primaria.
δcs = Asentamientos por consolidación secundaria.

Asentamientos Inmediatos (δi): Se calcula el asentamiento inmediato por el método elástico, en éste se considera una deformación tridimensional producida casi simultáneamente con la aplicación de la carga durante la construcción, los parámetros de cálculo son los siguientes:

Compresibilidad: Para el cálculo de asentamientos se adopta un módulo de deformación elástica a partir de las siguientes correlaciones:
*- (No Drenado) = Eu = 400 * Qad, T/m².*

*- (Drenado) = Ed = 2/3 * (1-μ) * Eu. T/m².*

- *Se toma la relación de poisson (μ= **0.50**) para suelos mixtos en estado saturado.*

El asentamiento inmediato para cimientos aislados se calcula por la teoría de Timoshenko y Goodier (1970), tomando las mismas condiciones de cargas estructurales del ***anexo 4,*** *siendo estas las más críticas:*
$\delta i = Cd * B * \sigma c * (1- \mu 2)/Ed$
Donde: Cd = factor de forma y rigidez del cimiento = 1,08. (CCP-95)
B = Dimensión menor del cimiento (m).
σc = Esfuerzo de contacto (T/m²).

δi = Asentamiento inmediato en (cm).

En el anexo 5 y gráfica 4 se aprecian los resultados de los asentamientos inmediatos (δi), calculados para las diferentes cargas consideradas, con los anchos mínimos de cimiento requeridos

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

La presión que el suelo o depósito ejerce sobre las paredes de la cimentación, depende en términos generales del desplazamiento del conjunto. La hipótesis de diseño corresponde a que el relleno ceda generando una disminución de la presión hasta un mínimo que se identifica como el estado activo.

El valor del coeficiente activo de presión de tierras es entonces KA:

$$K_A = \frac{1 - Sen\phi}{1 + Sen\phi} = Tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

Los resultados se presentan en el Anexo 6 para cada una de las exploraciones realizadas.

7 CONCLUSIONES

1. El área del proyecto donde se cimentaran la estructura presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	***limo de baja plasticidad arenoso***
Vegetación	*no evidencia.*

*2. El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión de **limo de baja plasticidad arenoso,** clasificado según la S.U.C.S. como un suelo **"ML".***

*3. Las propiedades índices y geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil del suelo explorado, reflejan características **buenas** con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; en cuanto a la resistencia al corte.*

*4. El nivel de cimentación recomendado es de **1,5 metros,** calculo hasta la profundidad máxima de sondeo y su utilización está condicionada según requerimiento estructural. Se debe cimentar sobre una capa de relleno seleccionado y compactado de 0.50 metros de espesor al 95% de su proctor*

5. Geotécnicamente el suelo del proyecto puede caracterizarse como de consistencia media a baja con actividad potencial alta entre 0.0 m y 1.00 m en promedio de profundidad y de consistencia media con actividad potencial baja entre 1.00 m y 6.0m.

*6. Las características del proyecto y del suelo de fundación permiten establecer que para la **obra**, lo más adecuado técnica y económicamente es un sistema de cimentación superficial tipo **zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre**, cumpliendo los chequeos estructurales a volcamiento (Momentos).*

*7. Los cortes de las excavaciones de la cimentación **no se** pueden hacer verticales, se debe adoptar un sistema de sostén lateral, atendiendo el cálculo de la altura crítica para suelos así:*

$$Hc = \frac{Hcult}{F.S.}$$

$$H_{cult} = \frac{2 * Cu}{\gamma'}$$

Para excavaciones más profundas o que no correspondan a las de cimentación, se debe consultar al ingeniero de suelos para su concepto y diseño

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

Para la fundación de las estructuras se recomienda adoptar una cimentación superficial mediante ***zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre*** *según sea el tipo de requerimiento estructural, sobre relleno compactado o concreto ciclópeo.*

El nivel de fundación para el proyecto, si finalmente los chequeos de esfuerzos y áreas, dan viabilidad a estas alternativas, debe implantarse a la profundidad descrita en el numeral 4.5.

8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

Se recomienda adoptar los valores de coeficientes de presión lateral de tierras propuestos en el anexo 6.

8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

Según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (Ley 400 de agosto 1997 modificada ley 1229 de 2008 y Decreto 926 de marzo de 2008) y teniendo en cuenta los criterios locales de esfuerzos activos producidos por las Fallas, se debe tomar los siguientes parámetros:

Tremor sísmico en escala de intensidad de Mercalli = 7.25 a 7.50.

Zona de amenaza sísmica = alta.

Aa = 0.30

Av = 0.20

Tipo de perfil de suelo = D *15 < N < 50*

Fa = 1,2

Fv = 2.0

Grupo de uso = I.
Coeficiente de importancia (I) = 1.

La orientación del sismo más peligroso debe tomarse en dirección aproximada Este - Oeste, siendo ésta la orientación del eje principal de esfuerzos tectónicos (σ1) que plegaron y fallaron las rocas regionalmente; el efecto de la fuerza sísmica sobre las estructuras debe ser aplicado en las dos direcciones.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

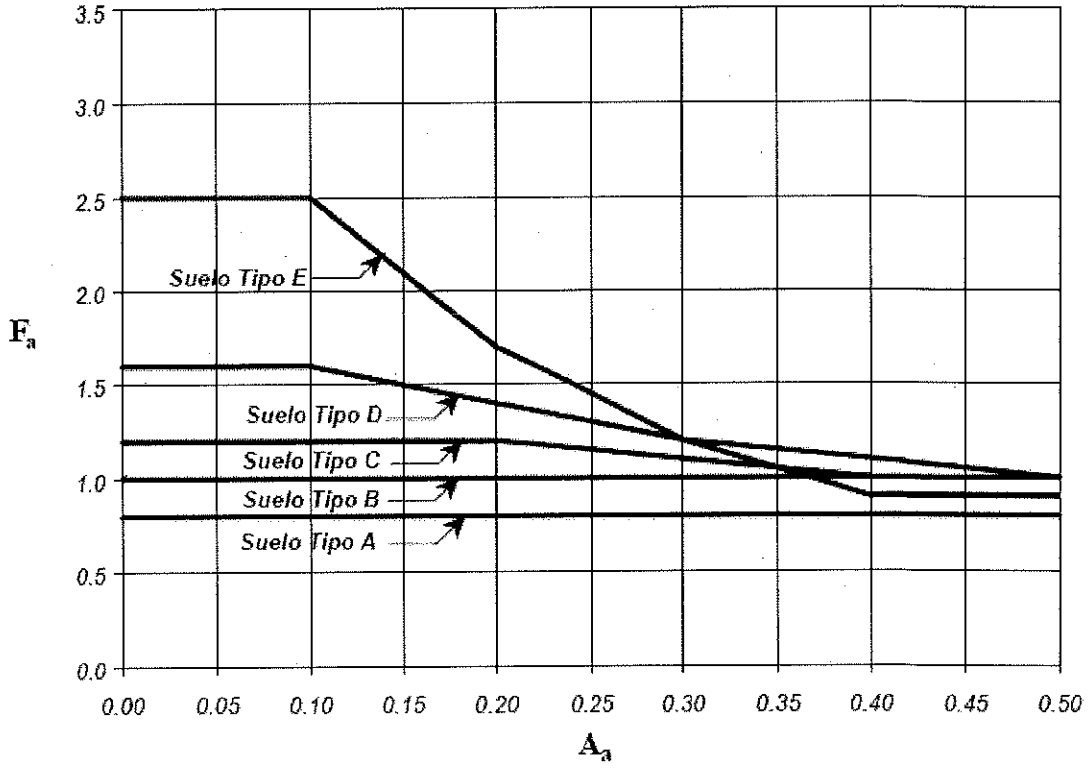


FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

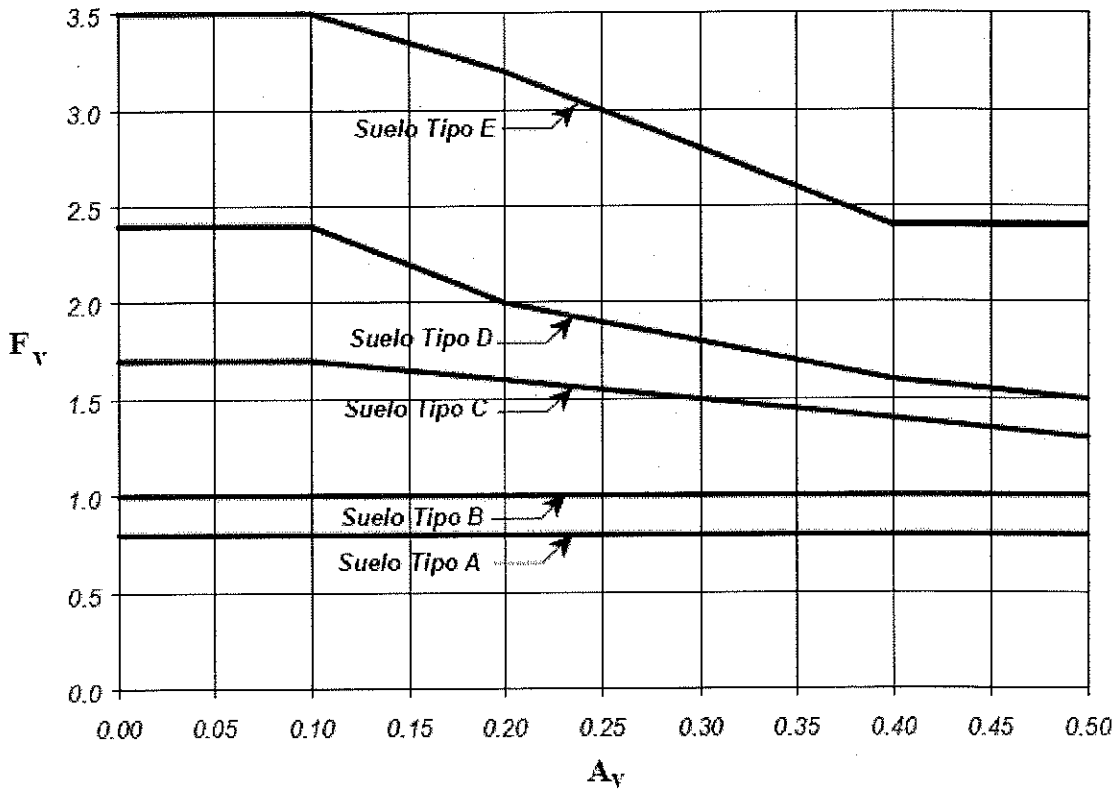


FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS

Las excavaciones para los cimientos y los cortes de adecuación del proyecto, deben planearse obligatoriamente en período seco. Las excavaciones de cimientos ***no se*** *pueden hacer con taludes verticales atendiendo el cálculo de altura crítica, numeral 7.7.*

Si se proyectan placas de piso, deberán apoyarse en una capa de recebo de 0,30 m de espesor compacto, una vez descapotada la capa superior; las características del material de recebo para el relleno deben ser: Límite líquido máximo 26%, Índice de plasticidad máximo 6%, Espesor de compactación 0,10 a 0,15 m, Grado de compactación; mínimo 90% del peso unitario seco máximo del Proctor Modificado y con una granulometría como la siguiente:

Tamiz	***% que pasa***
2 ½"	***75-100***
1"	***50-80***
No 4	***20-55***
No 200	***0-20***

8.5. OTRAS RECOMENDACIONES

Para dar una correcta interpretación y aplicabilidad al estudio de suelos este debe ser contemplado en su totalidad sin limitaciones a los capítulos de conclusiones y recomendaciones.

Se deberá enviar al Ingeniero Geólogo una copia de los planos de cimentación, para su revisión desde el punto de vista del comportamiento geotécnico y de interacción SUELO - ESTRUCTURA para su referencia posterior.

La construcción de la cimentación debe hacerse preferiblemente en época de verano para evitar alteraciones y remoldeos en la base de cimentación, problemas de inestabilidad en las excavaciones e incrementos de caudales de evacuación.

Bajo ninguna circunstancia se debe permitir la descarga de aguas superficiales en las zonas aledañas al lote del proyecto una vez hecha la fundación.

Desde el punto de vista de sustancias químicas nocivas al concreto se deberán realizar los ensayos correspondientes de acuerdo a la INV-1996 puesto que el ambiente geológico de formación y evolución del perfil del suelo se ha dado en condiciones de clima cálido, donde las reacciones químicas ácidas probablemente han estado presentes, de manera que se prevé la presencia de sulfatos. Esta apreciación es cualitativa tomando como referencia la historia geológica del perfil; sin embargo es de libre albedrío si los profesionales encargados del proyecto desean obtener datos cuantitativos al respecto.

Se recomienda programar visitas por parte del Ingeniero Geólogo durante la construcción de la cimentación con el fin de inspeccionar el proceso de excavación y aprobación del suelo de fundación.

Los asentamientos en condiciones normales surgidos por las propiedades de compresibilidad, consideradas por deformación elástica, serán de medios a altos, proporcionales a las cargas, lo cual permite esforzar el suelo a un 100% de su resistencia al corte mediante presiones de trabajo equivalentes; sin embargo debe hacerse un chequeo detallado con las cargas reales de diseño. De cualquier forma la fundación diseñada debe descartar totalmente asentamientos de tipo diferencial

9 LIMITACIONES

Los resultados obtenidos en este estudio, lo mismo que las recomendaciones dadas están basados en las características estructurales del proyecto, lo mismo que las propiedades geomecánicas del subsuelo explorado mediante pruebas de campo y laboratorio. Cualquier modificación posterior en las características arquitectónicas y estructurales del proyecto con relación a las suministradas por el diseñador, implicarán nuevas condiciones de estabilidad y deformación que deben ser calculadas.

Si durante la construcción aparecen circunstancias no previstas en este informe, se deberá avisar al Ingeniero Geólogo para buscar las soluciones y recomendaciones más convenientes.

El proceso de excavación debe ser muy técnico evitando remoldeos en el suelo de fundación o las paredes excavadas, lo que posteriormente pueda ocasionar asentamientos.

El proceso constructivo excavación-cimentación debe efectuarse en el menor tiempo posible con el fin de controlar el levantamiento del fondo de la excavación debido al rebote de estratos y/o presiones negativas de subpresión.

Para evitar el efecto de columna corta de debe permitir que el pórtico trabaje independiente del muro mediante dilatación.

El piso de cimentación deberá ser aprobado por el Ingeniero Geólogo.

Se debe incluir obligatoriamente en la valla de obra el geotecnista del proyecto con nombre y matricula profesional.

LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño.*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar SPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo DCPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable.*
  - *Anexo 5; Capacidad portante Df = 1.5 metros.*
  - *Anexo 6; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, DCPT.*
  - *Gráfica 2; Presión admisible variable.*
  - *Gráfica 3; Carga admisible Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 4; Asentamientos elásticos Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 5; Modulo de reacción del suelo Ks variable.*
- ***Resultados de laboratorio***

ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

GRAFICAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO







ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION PANELES SOLARES POZO SECTOR EL CAIMAN VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DE CASANARE

REALIZO:

DIEGO FERNANDO VENEGAS
M.P. 25202-207565 CND
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA VIAL

REVISO Y APROBO:

FREDY MAURICIO PADILLA PLATA
M.P. 25202-261634 CND
INGENIERO CIVIL EPECIALISTA EN GEOTECNIA

MUNICIPIO DE AGUAZUL

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 349 DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO
1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA
1.2.1 SISMICIDAD

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO
2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL
3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO
4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES
4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO
4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN
4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3
5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.
5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS
5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10
5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS
5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN
5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

7 CONCLUSIONES

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS
8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE
8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS
8.5. OTRAS RECOMENDACIONES

9 LIMITACIONES

LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS

ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

GRAFICAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

FIGURA 2. Mapa de valores de Aa.

FIGURA 3. Mapa de valores de Av.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de Casanare.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

INTRODUCCIÓN

El informe contiene los resultados del estudio Geotécnico o de suelos y fundaciones para el ***ESTUDIO GEOTECNICO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION PANELES SOLARES POZO SECTOR EL CAIMAN VEREDA LA TURUA, MUNICIPIO DE AGUAZUL, DEPARTAMENTO DE CASANARE.***

El estudio incluye un reconocimiento Geológico y Geotécnico preliminar del área del proyecto y sus zonas perimetrales, la exploración del subsuelo mediante tres ***(3) EXPLORACION GEOTÉCNICA*** *con* ***avance apique manual, barreno manual y cono dinamico****, efectuando ensayos de campo y un muestreo sistemático de acuerdo a la Norma A.S.T.M. D1586-67; para realizar posteriormente los ensayos de laboratorio requeridos en la determinación de las características de resistencia y compresibilidad del subsuelo, propiedades necesarias en los análisis de estabilidad y deformación para las alternativas de fundación.*

El informe presenta todos los detalles del estudio, memorias de los resultados de la investigación con base en el código colombiano de construcciones sismorresistente NSR-10, titulo H, numeral H.2.2.2.

> **H.2.2.2 — ESTUDIO GEOTÉCNICO DEFINITIVO** — Trabajo realizado para un proyecto específico, en el cual el ingeniero geotecnista debe precisar todo lo relativo a las condiciones físico-mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas, conforme a este Reglamento y en especial los Títulos A y H. Su presentación es obligatoria ya que en este se definen el tipo de suelo, el diseño y las recomendaciones de la cimentación y del proceso constructivo.

fuente. Norma sismo resistente NSR 10.

las conclusiones y recomendaciones que deben tenerse en cuenta para el sistema de cimentación más adecuado, los parámetros sísmicos del perfil de suelo, lo mismo que los criterios para su diseño y construcción. Como se solicita en el numeral H.2.2.2.1.

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en la POZO EL CAIMAN, MUNICIPIO DE AGUAZUL, *Se plantearon tres* ***(3)*** *exploraciones geotécnicas mediante* ***apique manual*** *y avance mediante perforación manual y penetración de cono dinámico. Estas se realizan siguiendo los lineamientos establecidos en el titulo H, de la norma sismo resistente NSR 10, la cual define el número de sondeos a realizarse dependiendo el nivel de complejidad de la estructura a construir.*

1.2 UBICACIÓN GEOLÓGICA

Aguazul, al igual que todo el departamento de Casanare evidencia una formación de tipo estructural sobre la cordillera Oriental y una depositación de tipo torrencial sobre el piedemonte y altiplanicies; estos suelos dan origen a la mayoría de los suelos que posee el municipio.

Estratigrafía:

Las unidades estratigráficas que conforman el suelo y subsuelo del municipio de Aguazul pertenecen a la llamada Cuenca del Borde Llanero, que comprende varios ciclos sedimentológicos. Regionalmente la zona de estudios se ubica sobre unidades de edad Terciaria y Cuaternaria, las cuales se describen a continuación.

- ***Formación San Fernando (Tsf):*** *Limolitas y arcillolitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas y ocasionales mantos de carbón. Su edad se considera Oligoceno-Mioceno inferior.*

- ***Formación Diablo (Td):*** *Areniscas cuarzosas y limolitas conglomeráticas con intercalaciones de limolitas y arcillolitas, de edad Mioceno inferior a Mioceno medio.*

- ***Formación Caja (Tc):*** *En la base está constituida por una alternancia de arcillas, areniscas y limolitas, en la parte media areniscas arcillosas conglomeráticas, arcillas y limolitas, y hacia el techo conglomerados y arcillolitas. Su edad se considera Mioceno medio a Pleistoceno.*

- ***Formación La Corneta (Qtlc):*** *Conglomerado grueso poco compacto compuesto por gravas con cantos de areniscas y cuarzo, cementados en una*

matriz arcillosa, de edad Pleistoceno superior.

- ***Deposito Cuaternario Aluvial Reciente (Qar):*** *Confinados a las márgenes de los principales ríos y quebradas, suavemente ondulados, sometidos a la inundación ,están constituidos principalmente por sedimentos actuales, cantos y gravas de composición arenosa, depositados por las corrientes mayores, en llanuras relativamente angostas, conforman barras, que en sus partes bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes.*

- ***Deposito Cuaternario Terrazas (Qt):*** *Sectores de morfología plana más elevadas con respecto a los canales fluviales activos. Están compuestas por niveles de gravas clasto-soportadas, matriz-soportadas y arenas. Estos depósitos se han disectado a diferentes niveles del paisaje circundante y han conformado terrazas limitadas por cursos de agua.*

1.2.1 SISMICIDAD

En el territorio Colombiano existe una gran influencia en este campo, debido a la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, reflejada en las grandes fallas que se presentan en la Cordillera de los Andes, a las cuales se les atribuyen los sismos que se han presentado a través del tiempo.

Los modernos procedimientos de registro instrumental permiten realizar cálculos sismométricos, como las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, trayectorias seguidas por ondas, profundidad epicentral o focal, densidades en el interior de la tierra, naturaleza del movimiento sísmico, etc.

Teniendo en cuenta los factores mencionados se han hecho clasificaciones y zonificaciones con respecto a la sismicidad. En Colombia se tiene una clasificación sismológica que ubica la zona de estudio en un nivel de amenaza intermedia, que puede convertirse en un factor detonante cuando las condiciones morfológicas y propiedades geotécnicas de los materiales son susceptibles a la desestabilización de las laderas.

ZONAS DE RIESGO SÍSMICO EN COLOMBIA

El mapa de zonas de riesgo sísmico en Colombia indica la mayor o menor peligrosidad de las diferentes regiones del territorio nacional. Esto permite a los ingenieros, constructores y en general a los científicos interesados en este tipo de información, disponer de la actividad sísmica probable en una zona determinada, o mejor aún captar una visión general de la sismicidad global del país.

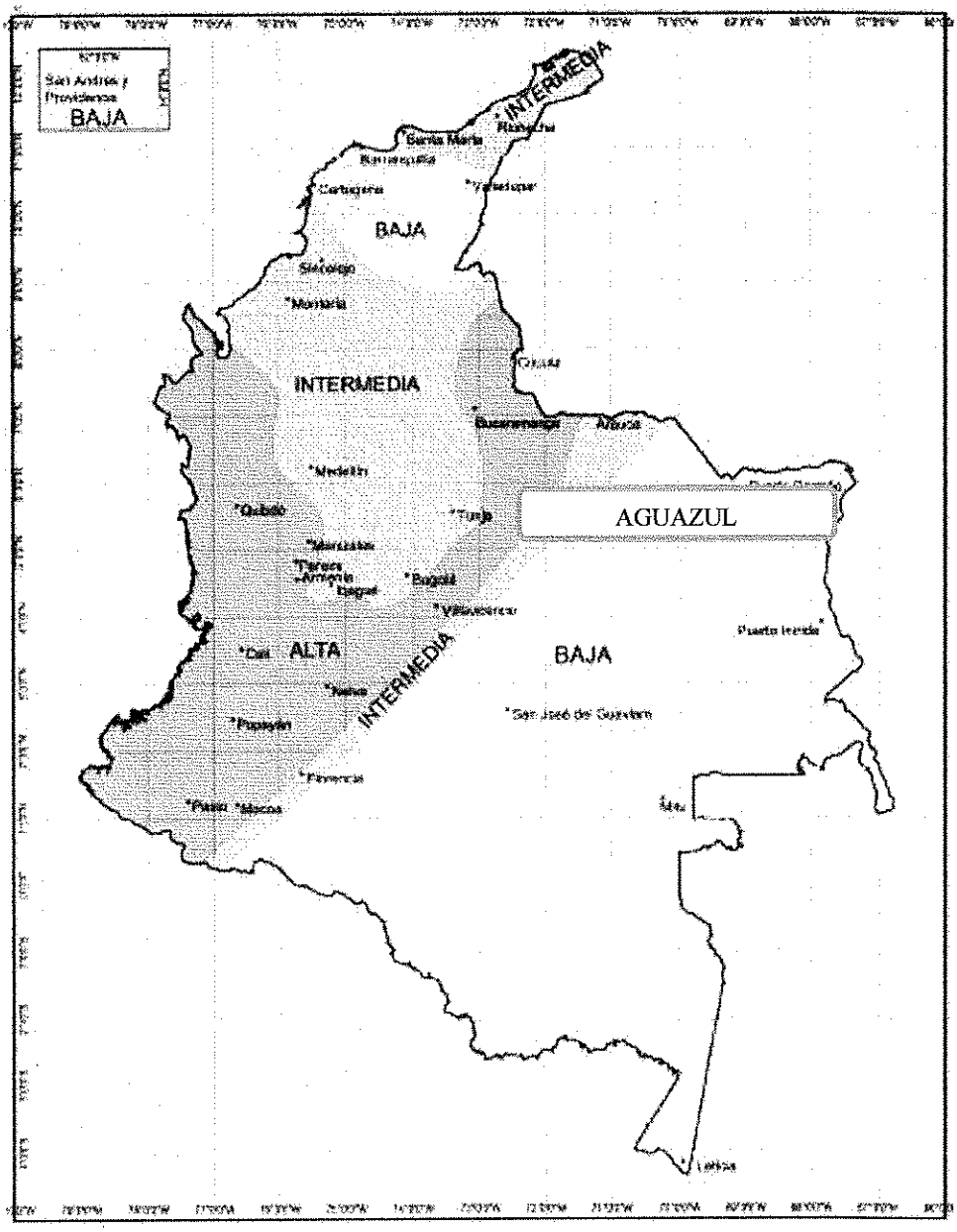


Figura 1. Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

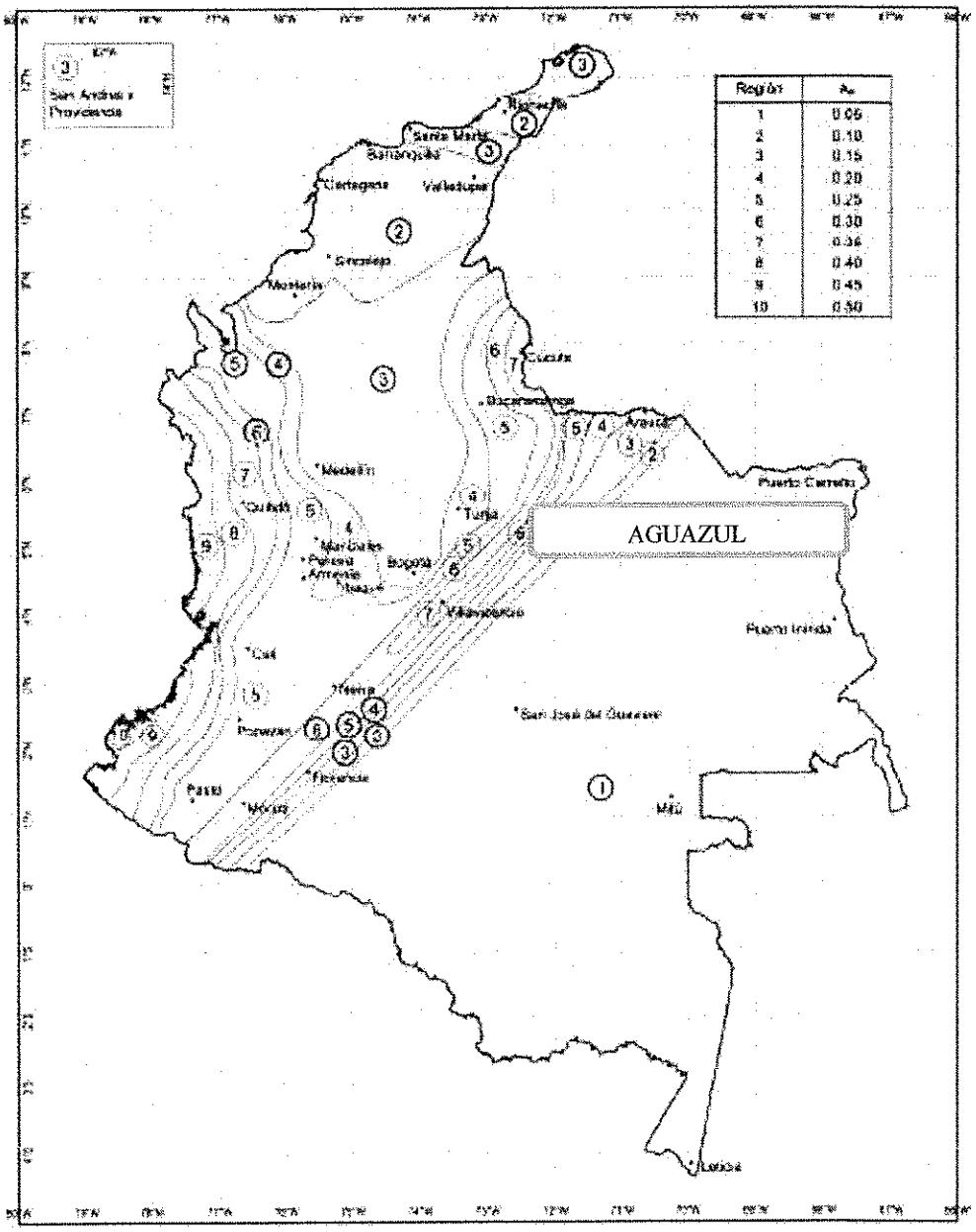


Figura 2. Mapa de valores de Aa.

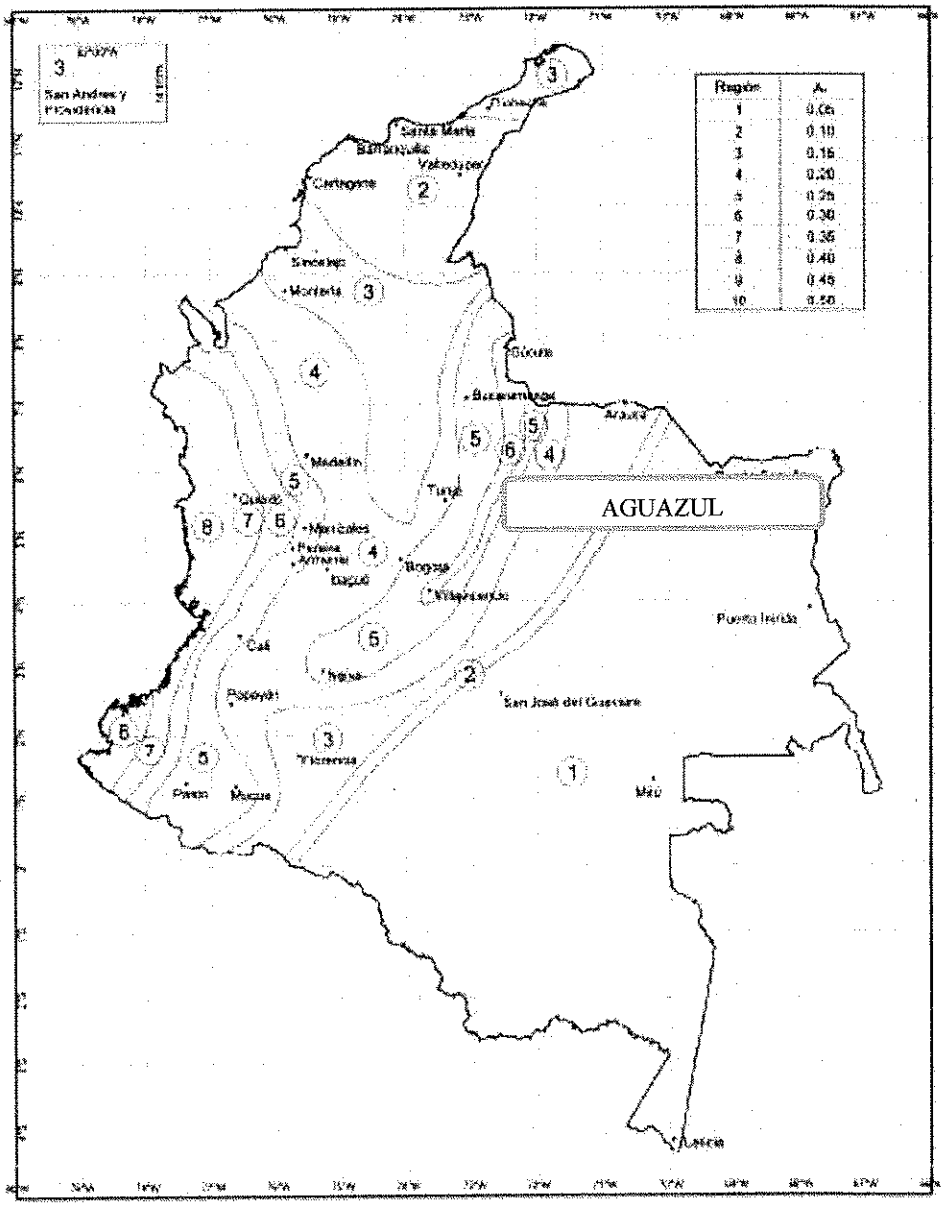


Figura 3. Mapa de valores de Av.

Para poder entender un poco más del aspecto relacionado a continuación se harán varias distinciones:

Zona de Riesgo Sísmico: son regiones del país donde el riesgo sísmico se considera bajo, intermedio o alto.

Zona de Riesgo Sísmico Bajo: es aquella zona donde Aa como Av son menores o iguales a 0.10.

Zona de Riesgo Sísmico Intermedio: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores o iguales a 0.10 y ninguno de los dos excede a 0.20.

Zona de Riesgo Sísmico Alto: es aquella zona donde Aa o Av o ambos son mayores de 0.20.

TABLA A. Valores de Aa, Av y Nivel de Amenaza Sísmica. N.S.R.-10 Capitulo A, para el departamento de casanare.

Departamento de Casanare						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Yopal	85001	0.30	0.20	Alta	0.15	0.06
Aguazul	85010	0.30	0.20	Alta	0.14	0.06
Chámeza	85015	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Hato Corozal	85125	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Salina	85136	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Maní	85139	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Monterrey	85162	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Nunchía	85225	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.04
Orocué	85230	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Paz de Ariporo	85250	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Pore	85263	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Recetor	85279	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Sabanalarga	85300	0.35	0.30	Alta	0.13	0.05
Sácama	85315	0.35	0.20	Alta	0.16	0.08
San Luis de Palenque	85325	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Támara	85400	0.35	0.15	Alta	0.16	0.08
Tauramena	85410	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
Trinidad	85430	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Villanueva	85440	0.20	0.20	Intermedia	0.06	0.03

Movimiento Sísmico de Diseño: esta se define en función de la aceleración pico efectiva (Aa) y de la velocidad pico efectiva (Av).

*Según el espectro de diseño, los valores de Aa y Av, para el sitio del proyecto son de **0.30 y 0.20** respectivamente lo cual nos representa una zona de riesgo sísmico **ALTA**.*

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL ÁREA DEL PROYECTO

El área del proyecto donde se cimentará la edificación presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	*limo de baja plasticidad arenoso*
Vegetación	*no evidencia.*
Tipo de erosión	*No evidencia.*
Estado	*Remoldeado, semialterado,*
Estado de esfuerzos	*Normalmente consolidado*

El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión ***limo de baja plasticidad arenoso,*** *clasificado según la S.U.C.S. como un suelo* ***"ML"****.*

2.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La estructura proyectada corresponde a ***una edificación*** *con sistema estructural tipo pórtico.*

Las cargas que se transmitirán al suelo de fundación se simulan entre 5 y 500 toneladas. Cabe anotar que las cargas mayoradas por fuerzas de sismo no superan en ningún caso el 20% de la carga real por peso propio de la estructura más la carga viva de utilización de las estructuras.

3. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

3.1 EXPLORACIÓN CON PERFORACION MANUAL

Para conocer el perfil estratigráfico, las propiedades geomecánicas de las capas y la posición y características del nivel freático; se realizaron tres ***(3) exploraciones*** *mediante* ***excavacion manual*** *y avance perforación manual y con cono dinámico hasta alcanzar una profundidad máxima de exploración de* ***6.00*** *metros.*

La disposición de la exploración se planeó con el propósito de lograr una correlación tridimensional del perfil del subsuelo del área del proyecto.

3.2 MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO

En cada exploración se efectuó un muestreo representativo para los diferentes estratos, tomando muestras alteradas en bolsa para clasificación y ensayo de resistencia a la penetración con cono dinámico SPT.

Todas las muestras se identificaron visualmente en campo y en laboratorio, y sobre un número representativo de los diferentes estratos se realizó el siguiente programa de ensayos:

- *Ensayos de humedad natural.*
- *Límites de atterberg.*
- *Granulometría y gradación*
- *Peso unitario*
- *Ensayo de penetración dinámica SPT.*

En la sección de anexos se muestran los respectivos registros obtenidos tanto en campo como en laboratorio para cada exploración de la siguiente manera:

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar DCPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo SPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Aproximaciones sucesivas para determinar las dimensiones de la cimentación.*
  - *Anexo 5; Tensión transmitida en profundidad.*
  - *Anexo 6; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable hasta 6.0mts.*
  - *Anexo 7; Capacidad portante Df = 1,5 m.*
  - *Anexo 8; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, SPT.*
  - *Gráfica 2; Tensión transmitida a profundidad en el suelo.*
  - *Gráfica 3; Presión admisible variable hasta 6.00 mts.*
  - *Gráfica 4; Carga admisible Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 5; Asentamientos elásticos Df = 1,5 m.*
  - *Gráfica 6; Modulo de reacción del suelo Ks variable hasta Df = 6.00 metros.*
- ***Resultados de laboratorio***
- ***Registro fotográfico***

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO

En el Anexo 1 de cada exploración se muestra el perfil geotécnico con la descripción de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio. En general se pudo establecer la presencia de ***un suelo compuesto por limo de baja plasticidad arenoso clasificado según la S.U.C.S. como un suelo "ML".***

4.2 NIVEL FREÁTICO Y AGUAS SUPERFICIALES

Con el fin de realizar los cálculos geotécnicos y ante la posibilidad de ascensos piezómetros debido a la actividad hidrogeológica presente en este tipo de depósitos se tomó como critico la profundidad de nivel freático Dw = 0.0 metros. Esto condiciona que el cálculo de presión del suelo de fundación se hará con el peso unitario sumergido. En cada uno de los perfiles encontrados se presenta la posición del nivel freático.

4.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL PERFIL DE SUELO

La historia geológica del perfil de subsuelo explorado permite clasificarlo como un material normalmente consolidado de composición cohesivo. De acuerdo con la clasificación unificada de suelos S.U.S.C., el perfil explorado pertenece a los grupos ***"ML".***

El anexo 1, de cada exploración muestra un resumen de todos los resultados de ensayos de campo obtenidos para el perfil promedio establecido, recopilando los datos de todo el muestreo efectuado y tomando los registros de ensayos de campo para la exploración efectuada.

En general las propiedades geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil de suelo explorado reflejan características ***buenas*** *con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; relacionadas con la* ***media*** *resistencia al corte y a la naturaleza friccionante del suelo. La resistencia al corte tiene un comportamiento constante contra la profundidad del perfil.*

Las propiedades geomecánicas e índice por capas pueden resumirse así:, humedad natural media (HN), limites de Atterberg bajos (LL, LP e IP), pesos unitarios o

gamma medios (γt) en t/m³, pesos específicos medios (Gs), esfuerzos efectivos de pre consolidación medios a bajos (σp) en t/m².

4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN

Con base en los resultados de investigación del subsuelo, en cuanto a su resistencia y compresibilidad, teniendo en cuenta la topografía del terreno y suelo de fundación al igual que las características estructurales del proyecto; se realizó el análisis de estabilidad (Capacidad portante) para cimentación superficial por los métodos de NSR-10 (Meyerhof). Los asentamientos se evaluaron del tipo elástico o inmediato.

4.5 TIPO DE CIMENTACIÓN Y NIVEL DE FUNDACIÓN

La profundidad de cimentación para las estructuras proyectadas se determina según su tipo de uso. Para el cálculo se utilizó una profundidad de desplante ***Df = 1.5 metros****, sin embargo se presenta para las demás profundidades hasta llegar a la máxima de exploración. Anexo 4 y 5. El tipo de cimentación recomendada es:*

Sistema estructural	***Tipo de cimentación***	***Profundidad de cimentación***
portico	*Zapatas amarradas en dos direcciones*	*1.5 metros.*

5. CAPACIDAD PORTANTE

5.1 EXPLORACIÓN 1 A 3

5.1.1 CIMENTACIÓN SUPERFICIAL. Df = 1.5 m.

Teniendo en cuenta el nivel de fundación adoptado y la estratigrafía del suelo, se establece la presión de hundimiento por falla general para suelos de naturaleza mixta de la siguiente manera:

5.1.1.1 CARGA ADMISIBLE EN FUNCIÓN DEL GOLPETEO DEL ENSAYO SPT PARA SUELOS MIXTOS

En pruebas de penetración estándar tipo DCPT para suelos con cohesión, y considerando el valor de N a una presión de sobrecarga efectiva de 10 Ton/m² como estándar, el factor de corrección CN que hay que aplicar a los valores de campo de N para otras presiones diferentes esta dado aproximadamente por:

$$CN = 0.77 * \log_{10}(\frac{200}{P})$$

$\overline{P}$ = *Presión vertical efectiva por sobrecarga en T/m² a la profundidad de la prueba de penetración. Ecuación válida para:*

$$\overline{P} \geq 2.5T/m^2$$

Luego con el valor corregido de N se aplica la ecuación (Anexo 3):

$$\sigma_a = N * \left(1 + \frac{1}{3.3 * B}\right)^2 * \frac{1}{12}$$

Donde B es el ancho de la cimentación y teniendo en cuenta la corrección por nivel freático.

$$Cw = \frac{1}{2} * \left(1 + \frac{Dw}{D+B}\right)$$

5.1.1.2 ECUACIÓN NSR 10

$$q_o = C*Nc + \gamma_{sobrecapa}*Df*N_q + \frac{\gamma_{fundacion} * B * N_\gamma}{2}$$

Donde Nc, N_q y N_γ son factores adimensionales de capacidad portante calculados según las siguientes ecuaciones:

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

$Nc = (N_q - 1)*cot\phi$
$N_\gamma = 2(N_q - 1)*tan\phi$

B = Ancho del cimiento en metros

γsobrecapa = peso unitario total Ton/m³ ; γfundación = γsobrecapa -1 Ton/m³
*Df = variable hasta **6.0 metros***
*q = γsobrecapa*Df*

*Capacidad portante neta de seguridad: Adoptando un factor de seguridad (F.S.) = 3. Para una profundidad de **1.5 metros**.*
qad = qo/F.S.
F.S. = 3

VER ANEXO 4

5.1.1.3 PREDIMENSIONAMIENTO DE CIMIENTOS

Tomando las condiciones máximas de carga axial última de columnas para los rangos más frecuentes, según datos analizados por áreas aferentes, se calcula el ancho mínimo de cimientos (B), considerando la capacidad portante neta de seguridad y la fundación con base en la alternativa de cimientos aislados, la ecuación de cálculo es la siguiente: $B = (Q/q_{ad})^{1/2}$.
*El **anexo 5** muestra las dimensiones para las condiciones de carga más probables y relevantes en el análisis de estabilidad, utilizando cimientos cuadrados.*

5.1.1.4 CALCULO DE ESFUERZOS INDUCIDOS AL SUELO DE FUNDACIÓN

Para las condiciones de carga con cimientos aislados, los anchos de cimiento calculados, se efectúa el cálculo para esfuerzos de contacto, esfuerzos de descarga

por excavación y esfuerzos netos transmitidos al suelo, comparados con la capacidad portante de seguridad. El ***anexo 5*** *muestra estos resultados.*

Donde: σc *= Esfuerzo de contacto.*
Dp = Esfuerzo de descarga por excavación.
σn *= Esfuerzo neto transmitido al suelo de fundación.*

Como puede observarse en el ***anexo 5*** *de cada sondeo, para todas las condiciones de carga con los anchos de cimiento calculados, los esfuerzos netos reales (*σn*) inducidos al perfil del suelo bajo la fundación se encuentran por debajo de la capacidad portante. Lo anterior permite verificar que, las condiciones de estabilidad y deformación son óptimas para cualquier sistema de fundación.*

5.1.1.5 ASENTAMIENTOS TOTALES

El asentamiento o deformación total es el siguiente:
$\delta t = \delta i + \delta cp + \delta cs$
Donde: δt *= Asentamiento total.*
δi *= Asentamientos inmediatos o elásticos.*
δcp *= Asentamientos por consolidación primaria.*
δcs *= Asentamientos por consolidación secundaria.*

Asentamientos Inmediatos (δi*): Se calcula el asentamiento inmediato por el método elástico, en éste se considera una deformación tridimensional producida casi simultáneamente con la aplicación de la carga durante la construcción, los parámetros de cálculo son los siguientes:*

Compresibilidad: Para el cálculo de asentamientos se adopta un módulo de deformación elástica a partir de las siguientes correlaciones:
*- (No Drenado) = Eu = 400 * Qad, T/m*^{2}*.*

*- (Drenado) = Ed = 2/3 * (1-*μ*) * Eu. T/m*^{2}*.*

- *Se toma la relación de poisson (*μ***= 0.50)*** *para suelos mixtos en estado saturado.*

El asentamiento inmediato para cimientos aislados se calcula por la teoría de Timoshenko y Goodier (1970), tomando las mismas condiciones de cargas estructurales del ***anexo 4,*** *siendo estas las más críticas:*
$\delta i = Cd * B * \sigma c * (1- \mu 2)/Ed$
Donde: Cd = factor de forma y rigidez del cimiento = 1,08. (CCP-95)
B = Dimensión menor del cimiento (m).
σc *= Esfuerzo de contacto (T/m*^{2}*).*

δi = Asentamiento inmediato en (cm).

En el anexo 5 y gráfica 4 se aprecian los resultados de los asentamientos inmediatos (δi), calculados para las diferentes cargas consideradas, con los anchos mínimos de cimiento requeridos

6 COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

La presión que el suelo o depósito ejerce sobre las paredes de la cimentación, depende en términos generales del desplazamiento del conjunto. La hipótesis de diseño corresponde a que el relleno ceda generando una disminución de la presión hasta un mínimo que se identifica como el estado activo.

El valor del coeficiente activo de presión de tierras es entonces KA:

$$K_A = \frac{1 - Sen\phi}{1 + Sen\phi} = Tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

Los resultados se presentan en el Anexo 6 para cada una de las exploraciones realizadas.

7 CONCLUSIONES

1. El área del proyecto donde se cimentaran la estructura presenta las siguientes características:

Pendiente	*plana*
Formación	*Depósito tipo torrencial.*
Tipo de depósito	***limo de baja plasticidad arenoso***
Vegetación	*no evidencia.*

*2. El perfil estratigráfico generalizado puntual del proyecto se caracteriza por ser una sucesión de **limo de baja plasticidad arenoso,** clasificado según la S.U.C.S. como un suelo **"ML".***

*3. Las propiedades índices y geomecánicas encontradas en cada una de las capas del perfil del suelo explorado, reflejan características **buenas** con relación a los requerimientos de la fundación del proyecto; en cuanto a la resistencia al corte.*

*4. El nivel de cimentación recomendado es de **1,5 metros,** calculo hasta la profundidad máxima de sondeo y su utilización está condicionada según requerimiento estructural. Se debe cimentar sobre una capa de relleno seleccionado y compactado de 0.50 metros de espesor al 95% de su proctor*

5. Geotécnicamente el suelo del proyecto puede caracterizarse como de consistencia media a baja con actividad potencial alta entre 0.0 m y 1.00 m en promedio de profundidad y de consistencia media con actividad potencial baja entre 1.00 m y 6.0m.

*6. Las características del proyecto y del suelo de fundación permiten establecer que para la **obra**, lo más adecuado técnica y económicamente es un sistema de cimentación superficial tipo **zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre**, cumpliendo los chequeos estructurales a volcamiento (Momentos).*

*7. Los cortes de las excavaciones de la cimentación **no se** pueden hacer verticales, se debe adoptar un sistema de sostén lateral, atendiendo el cálculo de la altura crítica para suelos así:*

$$Hc = \frac{Hcult}{F.S.}$$

$$H_{cult} = \frac{2 * Cu}{\gamma'}$$

Para excavaciones más profundas o que no correspondan a las de cimentación, se debe consultar al ingeniero de suelos para su concepto y diseño

8 RECOMENDACIONES

8.1. TIPO Y PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN

Para la fundación de las estructuras se recomienda adoptar una cimentación superficial mediante ***zapatas individuales amarradas en dos direcciones mediante viga de amarre*** *según sea el tipo de requerimiento estructural, sobre relleno compactado o concreto ciclópeo.*

El nivel de fundación para el proyecto, si finalmente los chequeos de esfuerzos y áreas, dan viabilidad a estas alternativas, debe implantarse a la profundidad descrita en el numeral 4.5.

8.2. COEFICIENTE LATERAL DE PRESIÓN DE TIERRAS

Se recomienda adoptar los valores de coeficientes de presión lateral de tierras propuestos en el anexo 6.

8.3. PARÁMETROS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

Según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (Ley 400 de agosto 1997 modificada ley 1229 de 2008 y Decreto 926 de marzo de 2008) y teniendo en cuenta los criterios locales de esfuerzos activos producidos por las Fallas, se debe tomar los siguientes parámetros:

Tremor sísmico en escala de intensidad de Mercalli = 7.25 a 7.50.

Zona de amenaza sísmica = alta.

Aa = 0.30

Av = 0.20

Tipo de perfil de suelo = D *15 < N < 50*

Fa = 1,2

Fv = 2.0

Grupo de uso = I.
Coeficiente de importancia (I) = 1.

La orientación del sismo más peligroso debe tomarse en dirección aproximada Este - Oeste, siendo ésta la orientación del eje principal de esfuerzos tectónicos (σ1) que plegaron y fallaron las rocas regionalmente; el efecto de la fuerza sísmica sobre las estructuras debe ser aplicado en las dos direcciones.

TABLA B. Valores del coeficiente Fa para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

TABLA C. Valores del coeficiente Fv para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

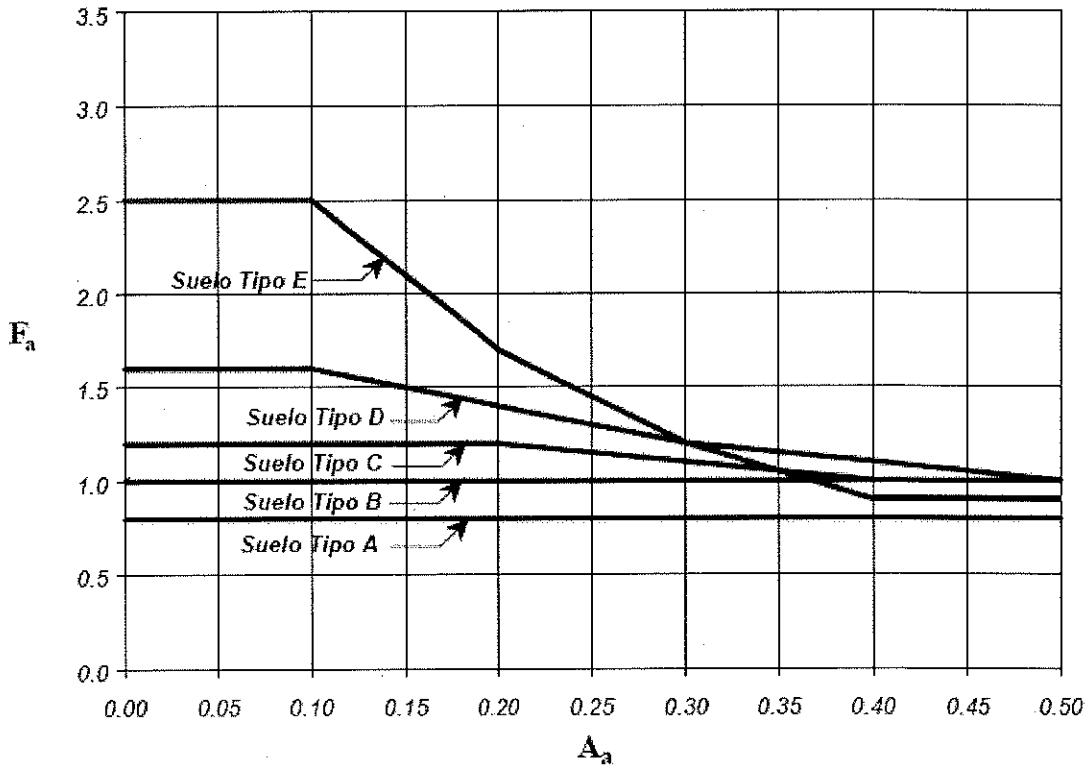


FIGURA 4. Coeficiente de amplificación Fa del suelo para la zona de períodos cortos del espectro.

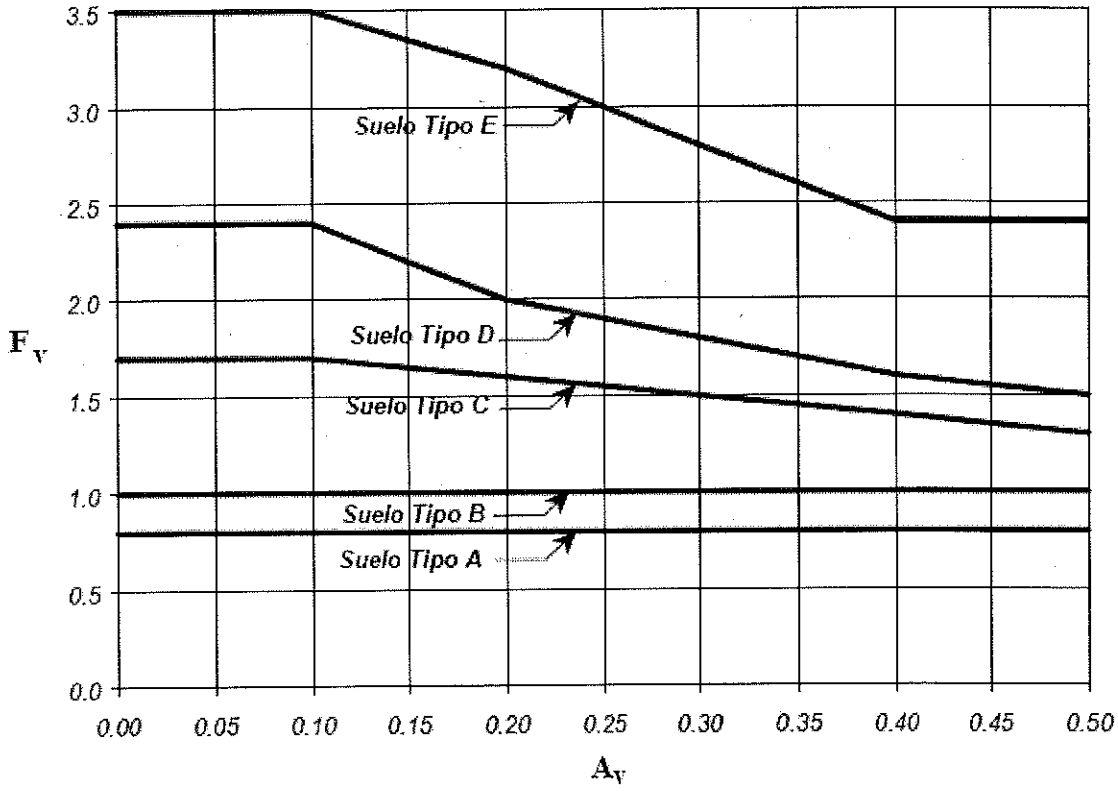


FIGURA 5. Coeficiente de amplificación Fv del suelo para la zona de períodos intermedios del espectro.

8.4. EXCAVACIONES Y RELLENOS

Las excavaciones para los cimientos y los cortes de adecuación del proyecto, deben planearse obligatoriamente en período seco. Las excavaciones de cimientos ***no se*** *pueden hacer con taludes verticales atendiendo el cálculo de altura crítica, numeral 7.7.*

Si se proyectan placas de piso, deberán apoyarse en una capa de recebo de 0,30 m de espesor compacto, una vez descapotada la capa superior; las características del material de recebo para el relleno deben ser: Límite líquido máximo 26%, Índice de plasticidad máximo 6%, Espesor de compactación 0,10 a 0,15 m, Grado de compactación; mínimo 90% del peso unitario seco máximo del Proctor Modificado y con una granulometría como la siguiente:

Tamiz	***% que pasa***
2 ½"	***75-100***
1"	***50-80***
No 4	***20-55***
No 200	***0-20***

8.5. OTRAS RECOMENDACIONES

Para dar una correcta interpretación y aplicabilidad al estudio de suelos este debe ser contemplado en su totalidad sin limitaciones a los capítulos de conclusiones y recomendaciones.

Se deberá enviar al Ingeniero Geólogo una copia de los planos de cimentación, para su revisión desde el punto de vista del comportamiento geotécnico y de interacción SUELO - ESTRUCTURA para su referencia posterior.

La construcción de la cimentación debe hacerse preferiblemente en época de verano para evitar alteraciones y remoldeos en la base de cimentación, problemas de inestabilidad en las excavaciones e incrementos de caudales de evacuación.

Bajo ninguna circunstancia se debe permitir la descarga de aguas superficiales en las zonas aledañas al lote del proyecto una vez hecha la fundación.

Desde el punto de vista de sustancias químicas nocivas al concreto se deberán realizar los ensayos correspondientes de acuerdo a la INV-1996 puesto que el ambiente geológico de formación y evolución del perfil del suelo se ha dado en condiciones de clima cálido, donde las reacciones químicas ácidas probablemente han estado presentes, de manera que se prevé la presencia de sulfatos. Esta apreciación es cualitativa tomando como referencia la historia geológica del perfil; sin embargo es de libre albedrío si los profesionales encargados del proyecto desean obtener datos cuantitativos al respecto.

Se recomienda programar visitas por parte del Ingeniero Geólogo durante la construcción de la cimentación con el fin de inspeccionar el proceso de excavación y aprobación del suelo de fundación.

Los asentamientos en condiciones normales surgidos por las propiedades de compresibilidad, consideradas por deformación elástica, serán de medios a altos, proporcionales a las cargas, lo cual permite esforzar el suelo a un 100% de su resistencia al corte mediante presiones de trabajo equivalentes; sin embargo debe hacerse un chequeo detallado con las cargas reales de diseño. De cualquier forma la fundación diseñada debe descartar totalmente asentamientos de tipo diferencial

9 LIMITACIONES

Los resultados obtenidos en este estudio, lo mismo que las recomendaciones dadas están basados en las características estructurales del proyecto, lo mismo que las propiedades geomecánicas del subsuelo explorado mediante pruebas de campo y laboratorio. Cualquier modificación posterior en las características arquitectónicas y estructurales del proyecto con relación a las suministradas por el diseñador, implicarán nuevas condiciones de estabilidad y deformación que deben ser calculadas.

Si durante la construcción aparecen circunstancias no previstas en este informe, se deberá avisar al Ingeniero Geólogo para buscar las soluciones y recomendaciones más convenientes.

El proceso de excavación debe ser muy técnico evitando remoldeos en el suelo de fundación o las paredes excavadas, lo que posteriormente pueda ocasionar asentamientos.

El proceso constructivo excavación-cimentación debe efectuarse en el menor tiempo posible con el fin de controlar el levantamiento del fondo de la excavación debido al rebote de estratos y/o presiones negativas de subpresión.

Para evitar el efecto de columna corta de debe permitir que el pórtico trabaje independiente del muro mediante dilatación.

El piso de cimentación deberá ser aprobado por el Ingeniero Geólogo.

Se debe incluir obligatoriamente en la valla de obra el geotecnista del proyecto con nombre y matricula profesional.

LISTA DE ANEXOS Y GRAFICAS

- ***Anexos cimentación superficial***
  - *Anexo 1; Parámetros geotécnicos de diseño.*
  - *Anexo 2; Tablas de diseño de la prueba de resistencia a la penetración estándar SPT.*
  - *Anexo 3; Carga admisible en función del golpeteo del ensayo DCPT para suelos mixtos.*
  - *Anexo 4; Capacidad portante NSR-10 para profundidad variable.*
  - *Anexo 5; Capacidad portante Df = 1.5 metros.*
  - *Anexo 6; Coeficientes de Presión de Tierras Activo (Ka) Y Pasivo (Kp).*
  - *Gráfica 1; Capacidad portante del suelo, DCPT.*
  - *Gráfica 2; Presión admisible variable.*
  - *Gráfica 3; Carga admisible Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 4; Asentamientos elásticos Df = 1.5 metros.*
  - *Gráfica 5; Modulo de reacción del suelo Ks variable.*
- ***Resultados de laboratorio***

ANEXOS CIMENTACIÓN SUPERFICIAL

GRAFICAS

RESULTADOS DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO


ESTUDIO GEOTECNICO
POZO EL CAIMAN
AGUAZUL CASANARE
AP 3
SPT 1


ESTUDIO GEOTECNICO
POZO EL CAIMAN
AGUAZUL- CASANARE
AP 2 SPT 1


ESTUDIO GEOTECNICO
POZO EL CAIMAN
AGUAZUL- CASANARE
AP 1 SPT 1