

ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA  
PUEBLO BELLO – LA HONDA, “TRAMO PUENTE EL REPOSO” HASTA  
“PUENTE ENTRADA A EL CAÑÓN”- CESAR.

AUGUSTO MANUEL GUILLERMO APONTE MERCADO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA

INGENIERÍA

INGENIERÍA GEOLÓGICA

VALLEDUPAR

2016

ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA  
PUEBLO BELLO – LA HONDA, “TRAMO PUENTE EL REPOSO” HASTA  
“PUENTE ENTRADA A EL CAÑÓN”- CESAR.

AUGUSTO MANUEL GUILLERMO APONTE MERCADO

INFORME DE PRÁCTICA EMPRESARIAL PRESENTADO COMO REQUISITO  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEOLÓGO

JUAN MIGUEL ORTEGA

Ingeniero en Minas Candidato a  
Magister en Geotecnia y Geomecánica Aplicada a Minería.

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA

INGENIERIA

INGENIERÍA GEOLÓGICA

VALLEDUPAR

2016

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Valledupar, septiembre de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradezco a la FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día. Agradezco también a mi Asesor metodológico el Ing. Juan miguel ortega por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico. Mi agradecimiento también va dirigido al Gerente Propietario de la Empresa VYO INGENIERIA SAS el Ing. EBERTO RAFAEL ORTEGA SINNING a su esposa ANGELICA VANEGAS PADILLA por haber aceptado que se realice mis prácticas empresariales en su empresa. Y para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCIÓN.....	15
1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA.....	16
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA.....	16
1.2 ASPECTOS ESTRATEGICOS .....	17
1.2.1 Misión.....	17
1.2.2 Visión .....	17
1.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....	17
1.4 PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS DE VYO INGENIERIA SAS... 18	
2 INFORME DE LA PRÁCTICA.....	19
2.1 INFORME DE FUNCIONES .....	19
2.2 IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE.....	20
3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	21
3.1 TITULO.....	21
3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
3.3 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.....	21
4 OBJETIVOS.....	22
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4.3 RESULTADOS ESPERADOS .....	23
5 MARCO DE REFERENCIA.....	24
6 MARCO TEORICO.....	26
6.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS.....	26
6.2 LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS.....	28
6.3 ANÁLISIS GRANULOMTERICO DEL SUELO.....	28
6.4 CURVA GRANULOMÉTRICA.....	30
6.5 GRADACIÓN DE UN SUELO.....	30

6.6	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.....	31
6.7	COEFICIENTE DE CURVATURA.....	32
6.8	ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RIGIDO.....	32
6.8.1	Base.....	33
6.8.2	Sub-base.....	33
6.8.3	Sub-rasante.....	34
6.9	PARÁMETROS CLIMÁTICOS.....	34
6.9.1	Brillo solar.....	34
6.9.2	Nubosidad.....	34
6.9.3	Precipitación.....	35
6.9.4	Temperatura.....	36
6.10	ROCAS IGNEAS.....	36
6.11	SISMICIDAD.....	36
6.12	BATOLITO.....	37
6.13	ENSAYO CBR:.....	37
6.14	COMPACTACION DE SUELOS.....	37
7	METODOLOGÍA.....	41
7.1	METODO DE EXPLORACIÓN DE CAMPO.....	42
8	MARCO CONTEXTUAL.....	43
8.1	LOCALIZACIÓN REGIONAL DEL ROYECTO.....	43
8.2	LOCALIZACION DEL PROYECTO.....	44
8.3	CONSIDERACIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DEL PROYECTO.....	45
8.3.1	Precipitación.....	45
8.3.2	Brillo solar.....	47
8.3.3	Temperatura.....	48
8.3.4	Nubosidad.....	49
8.4	GEOLOGÍA LOCAL.....	50
8.4.1	Rocas ígneas.....	53
8.4.2	Depósitos cuaternarios.....	53
8.4.3	Columna estratigráfica generalizada.....	55
8.5	SISMICIDAD.....	56
8.6	RELIEVE Y TOPOGRAFIA.....	62

8.6.1	Modelo de elevacion de terreno.....	62
8.6.2	Mapa de pendientes de terreno.....	63
8.6.3	Topografia de la via.....	69
9	DATOS GRANULOMETRICOS.....	73
9.1	APIQUE NUMERO 1 – MUESTRA 1.....	74
9.2	APIQUE NUEMERO 1- MUESTRA 2.....	77
9.3	APIQUE NUEMERO 2-MUESTRA 1.....	80
9.4	APIQUE NUEMERO 2- MUESTRA 2.....	83
9.5	APIQUE NUEMERO 3-MUESTRA 1.....	86
9.6	APIQUE NUEMERO 3–MUESTRA 2.....	89
9.7	APIQUE NUEMERO 4 - MUESTRA 1.....	93
9.8	APIQUE NUEMERO 4 - MUESTRA 2.....	96
9.9	APIQUE NUEMERO 5-MUESTRA 1.....	100
9.10	APIQUE NUEMERO 5-MUESTRA 2.....	102
9.11	APIQUE NUEMERO 6-MUESTRA 1.....	106
9.12	APIQUE NUEMERO 6 - MUESTRA 2.....	109
9.13	APIQUE NUEMERO 7-MUESTRA 1.....	112
9.14	APIQUE NUEMERO 7-MUESTRA 2.....	115
9.15	APIQUE NUEMERO 8 - MUESTRA 1.....	119
9.16	APIQUE NUEMERO 8-MUESTRA 2.....	122
9.17	PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.....	126
9.18	CAPACIDAD DE CARGA.....	129
9.18.1	Calculo de la capacidad de carga a 0,5 metros de profundidad.....	130
9.18.2	Calculo de la capacidad de carga a 1.0 metros de profundidad.....	131
9.18.3	Calculo de la capacidad de carga a 1.5 metros de profundidad.....	131
9.18.4	Calculo de la capacidad de carga a 2.0 metros de profundidad.....	132
10	ANALISIS DE RESULTADOS.....	133
10.1	SUELO DE SUBRASANTE.....	134
11	CONCLUSIONES.....	141
12	RECOMENDACIONES.....	143

13	CRONOGRAMA.....	144
14	LOGROS ALCANZADOS.....	145
15	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	146
16	ANEXOS.....	147
16.1	REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	147
16.2	GRANULOMETRÍAS.....	150
16.3	RESULTADOS CBR.....	151

## LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1: organigrama de VYO INGENIERÍA.....	17
Figura 2: tamices del análisis granulométrico .....	29
Figura 3: suelo con gradación sucesiva. ....	31
Figura 4: suelo mal gradado. ....	31
Figura 5: suelo con gradación discontinua.....	31
Figura 6: estructura del pavimento rígido.....	32
Figura 7: localización del municipio de pueblo bello.....	43
Figura 8: ubicación de la vía a intervenir.....	44
Figura 9: zoom al tramo vial representado en (figura 2). ....	44
Figura 10: mapa de brillo solar.....	47
Figura 11: mapa de temperaturas máximas del cesar. ....	48
Figura 12: mapa nubosidad del cesar .....	49
Figura 13: mapa geológico de Colombia – sección pueblo bello.....	50
Figura 14: mapa de los suelos encontrados en el tramo vial según apiques.....	51
Figura 15: mapa geológico local .....	52
Figura 16: zonificación sísmica de Colombia. ....	60
Figura 17: modelo de elevación digital (DEM).....	62
Figura 18: mapa de pendientes topográficas. ....	63
Figura 19: mapa de pendientes topográficas zoom a la vía .....	64
<b>Figura 20:</b> fotografía 1 del tramo vial.....	65
Figura 21: fotografía 2 del tramo vial.....	65
Figura 22: fotografía 3 del tramo vial.....	66
Figura 23: fotografía del tramo con pendientes elevadas de la vía. ....	67
Figura 24: características del talud. ....	68
Figura 25: topografía abscisa 1 km +160 a 1 km +680 .....	69
Figura 26: pendientes 1 km +160 a 1 km +680.....	69
Figura 27: topografía abscisa 0 km + 690 a 1 km + 160.....	70
Figura 28: pendientes abscisa 0 km + 690 a 1 km + 160 .....	70
Figura 29: topografía abscisa 0 km + 130 a 0 km + 640.....	71
Figura 30: pendientes abscisa 0 km + 240 a 0 km + 690 .....	71
Figura 31: topografía abscisa 0 km a 0 km + 240 .....	72
Figura 32: pendientes abscisa 0 km a 0 km + 240 .....	72
Figura 33: Localización de los apiques .....	73
Figura 34: perfil estratigráfico del AP1 Y AP2 .....	126
Figura 35: perfil estratigráfico del AP3 y AP4.....	127
Figura 36: perfil estratigráfico del AP5 Y AP6 .....	127
Figura 37: perfil estratigráfico del AP7 Y AP8 .....	128
Figura 38: característica como suelo de fundación .....	136

## LISTA DE TABLAS

PAG.

Tabla 1: tamices usados por la granulometría. ....	29
Tabla 2: Estadísticas IDEAM - precipitación mensual de pueblo bello .....	45
Tabla 3: Parámetros de Consulta SGC.....	56
Tabla 4: Georreferencia de los apiques y CBR.....	73
Tabla 5: granulometría AP1-M1.....	74
Tabla 6: cálculo del D10 AP1-M1, método grafico .....	75
Tabla 7: interpolación del D30 del AP1-M1 .....	75
Tabla 8: interpolación del D60 dl AP1-M1 .....	75
Tabla 9: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura .....	76
Tabla 10: granulometría AP1-M2.....	77
Tabla 11: interpolación del D10 del AP1-M2 .....	78
Tabla 12: interpolación del D30 del AP1-M2 .....	78
Tabla 13: interpolación del D60 del AP1-M2.....	78
Tabla 14: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	79
Tabla 15: resultado del CBR 1 sobre muestra inalterada –seco.....	79
Tabla 16: resultado del CBR 1 sobre muestra inalterada –sumergido.....	80
Tabla 17: granulometría AP2-M1.....	80
Tabla 18: cálculo del D10 AP2-M1, método grafico .....	81
Tabla 19: interpolación del D30 del AP2-M1 .....	82
Tabla 20: interpolación del D60 del AP2-M1 .....	82
Tabla 21: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	82
Tabla 22: granulometría AP2-M2.....	83
Tabla 23: interpolación del D10 del AP2-M2 .....	84
Tabla 24: interpolación del D30 del AP2-M2 .....	84
Tabla 25: interpolación del D60 del AP2-M2 .....	84
Tabla 26: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	85
Tabla 27: resultado del CBR 2 sobre muestra inalterada –seco.....	85
Tabla 28: resultado del CBR 2 sobre muestra inalterada –sumergido.....	86
Tabla 29: granulometría AP3-M1.....	86
Tabla 30: cálculo del D10 AP3-M1, método grafico .....	88
Tabla 31: interpolación del D30 del AP3-M1 .....	88
Tabla 32: interpolación del D60 del AP3-M1 .....	88
Tabla 33: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	88
Tabla 34: granulometría AP3-M2.....	89
Tabla 35: interpolación del D10 del AP3-M2.....	90
Tabla 36: interpolación del D30 del AP3-M2.....	90
Tabla 37: interpolación del D60 del AP3-M2.....	91
Tabla 38: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	91
Tabla 39: resultado del CBR 3 sobre muestra inalterada –seco.....	92
Tabla 40: resultado del CBR 3 sobre muestra inalterada –sumergido.....	92

Tabla 41: granulometría AP4-M1.....	93
Tabla 42: cálculo del D10 AP4-M1, método gráfico.....	94
Tabla 43: interpolación del D30 del AP4-M1.....	94
Tabla 44: interpolación del D60 del AP4-M1.....	94
Tabla 45: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	95
Tabla 46: granulometría AP4-M2.....	96
Tabla 47: interpolación del D10 del AP4-M2.....	97
Tabla 48: interpolación del D30 del AP4-M2.....	97
Tabla 49: interpolación del D60 del AP4-M2.....	97
Tabla 50: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	98
Tabla 51: resultado del CBR 4 sobre muestra inalterada –seco.....	99
Tabla 52: resultado del CBR 4 sobre muestra inalterada –sumergido.....	99
Tabla 53: granulometría AP5-M1.....	100
Tabla 54: cálculo del D10 AP5-M1, método gráfico.....	101
Tabla 55: interpolación del D30 del AP5-M1.....	101
Tabla 56: interpolación del D60 del AP5-M1.....	101
Tabla 57: granulometría AP5-M2.....	102
Tabla 58: cálculo del D10 AP5-M2, método gráfico.....	103
Tabla 59: interpolación del D30 del AP5-M2.....	104
Tabla 60: interpolación del D60 del AP5-M2.....	104
Tabla 61: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	104
Tabla 62: resultado del CBR 5 sobre muestra inalterada –seco.....	105
Tabla 63: resultado del CBR 5 sobre muestra inalterada –sumergido.....	105
Tabla 64: granulometría AP6-M1.....	106
Tabla 65: cálculo del D10 AP6-M1, método gráfico.....	107
Tabla 66: interpolación del D30 del AP6-M1.....	107
Tabla 67: interpolación del D60 del AP6-M1.....	107
Tabla 68: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	108
Tabla 69: granulometría AP6-M2.....	109
Tabla 70: interpolación del D10 del AP6-M2.....	110
Tabla 71: interpolación del D30 del AP6-M2.....	110
Tabla 72: interpolación del D60 del AP6-M2.....	110
Tabla 73: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	111
Tabla 74: resultado del CBR 6 sobre muestra inalterada –seco.....	111
Tabla 75: resultado del CBR 6 sobre muestra inalterada –sumergido.....	112
Tabla 76: granulometría AP7-M1.....	112
Tabla 77: cálculo del D10 AP7-M1, método gráfico.....	114
Tabla 78: interpolación del D30 del AP7-M1.....	114
Tabla 79: interpolación del D60 del AP7-M1.....	114
Tabla 80: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	114
Tabla 81: granulometría AP7-M2.....	115
Tabla 82: interpolación del D10 del AP7-M2.....	116
Tabla 83: interpolación del D30 del AP7-M2.....	116
Tabla 84: interpolación del D60 del AP7-M2.....	117
Tabla 85: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	117

Tabla 86: resultado del CBR 7 sobre muestra inalterada –seco.....	118
Tabla 87: resultado del CBR 7 sobre muestra inalterada –sumergido.....	118
Tabla 88: granulometría AP8-M1.....	119
Tabla 89: cálculo del D10 AP8-M1, método gráfico.....	120
Tabla 90: interpolación del D30 del AP8-M1.....	120
Tabla 91: interpolación del D60 del AP8-M1.....	120
Tabla 92: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	121
Tabla 93: granulometría AP8-M2.....	122
Tabla 94: interpolación del D10 del AP8-M2.....	123
Tabla 95: interpolación del D30 del AP8-M2.....	123
Tabla 96: interpolación del D60 del AP8-M2.....	124
Tabla 97: cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.....	124
Tabla 98: resultado del CBR 8 sobre muestra inalterada –seco.....	125
Tabla 99: resultado del CBR 8 sobre muestra inalterada –sumergido.....	125
Tabla 100: corte directo de la muestra AP3-M2.....	129
Tabla 101: corte directo de la muestra AP4-M2.....	129
Tabla 102: Ecuación de la capacidad de carga ultima y admisible.....	130
Tabla 103: datos para el cálculo de la capacidad de carga a 0.5 m.....	130
Tabla 104: capacidad de carga admisible del suelo a 0.5 m.....	130
Tabla 105: datos para el cálculo de la capacidad de carga a 1.0 m.....	131
<b>Tabla 106:</b> capacidad de carga admisible del suelo a 1.0 m.....	131
Tabla 107: datos para el cálculo de la capacidad de carga a 1.5 m.....	131
<b>Tabla 108:</b> capacidad de carga admisible del suelo a 1.5 m.....	132
Tabla 109: datos para el cálculo de la capacidad de carga a 2.0 m.....	132
<b>Tabla 110:</b> capacidad de carga admisible del suelo a 2.0 m.....	132
<b>Tabla 111:</b> Precipitación y condiciones de humedad para el ensayo CBR.....	133
Tabla 112: Regiones climáticas por temperatura y precipitación.....	133
Tabla 113: datos del CBR.....	134
Tabla 114: cálculo del CBR de diseño.....	135
Tabla 115: clase de sub-rasante según el % CBR y módulo resiliente.....	136
Tabla 116: Relación aproximada entre el Índice Plástico – Límite Líquido y la Capacidad de Expansión.....	136
Tabla 117: Capacidad del potencial de expansión suelos en el municipio de Pueblo Bello.....	137
Tabla 118: Capacidad del potencial de expansión suelos en el municipio de Pueblo Bello.....	138
Tabla 119: características de utilización de los suelos. Según SUCS.....	139
Tabla 120: capacidades admisibles.....	139
Tabla 121: comportamiento del rodillo de compactación según el tipo de suelo.....	140

## LISTA DE GRAFICAS

	PAG.
Grafica 1: estructura de una curva granulométrica.....	30
Grafica 2: precipitación mensual.....	46
Grafica 3: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1.....	74
Grafica 4: curva granulométrica del AP1-M1.....	75
Grafica 5: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M2.....	77
Grafica 6: curva granulométrica del AP1-M2.....	78
Grafica 7: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1.....	81
Grafica 8: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP2-M2.....	83
Grafica 9: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP3-M1.....	87
Grafica 10: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP3-M2....	89
Grafica 11: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP4-M1....	93
Grafica 12: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1....	96
Grafica 13: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1..	100
Grafica 14: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP5-M2..	103
Grafica 15: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP6-M1..	106
Grafica 16: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP6-M2..	109
Grafica 17: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP7-M1..	113
Grafica 18: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP7-M2..	115
Grafica 19: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP8-M1..	119
Grafica 20: porcentaje según la composición granulométrica del material del AP8-M2..	122
Grafica 21: resultados de CBR. ....	134
Grafica 22: CBR de diseño, percentil 75%. ....	135

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	PAG
Ilustración 1: compactador de rodillo liso .....	39
Ilustración 2: compactador de rodillo neumático .....	39
Ilustración 3: compactador de rodillo pata de cabra .....	40
Ilustración 4: compactador con rodillo vibratorio .....	40
Ilustración 5: muestreo de suelos 1.....	147
Ilustración 6: muestreo de suelos 2.....	147
Ilustración 7: muestras de suelo .....	148
Ilustración 8: toma de muestras de CBR.....	148
Ilustración 9: muestreo de CBR. ....	149
Ilustración 10: muestreo de suelo 3 .....	149

## INTRODUCCIÓN

Un estudio geotécnico es el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno, necesaria para la elaboración de un proyecto de construcción y con la interpretación de los datos obtenidos caracterizar los diversos suelos presentes en la zona de estudio, determinar la naturaleza y propiedades del terreno.

El laboratorio de suelos durante muchos años ha brindado apoyo a las diferentes investigaciones que se han desarrollado a lo largo y ancho del país, así como también ha prestado sus servicios de análisis de suelos e ingeniería a personas particulares, a pequeños, medianos y grandes constructores y/o consultores.

Con el fin de dar a conocer mejor las características físico mecánicas del suelo donde se desarrollará o ejecutará el proyecto del presente estudio, existen actividades que se realizan de acuerdo a una normatividad, y por ende es indispensable que se conozca de forma concreta los procedimientos y metodologías que conlleva cada uno de los análisis que se realizan de forma rutinaria, así como los análisis especiales que se implementan de acuerdo a los servicios solicitados. Actualmente los laboratorios prestan servicios en lo que concierne a los ensayos que regula el INVIAS y se realizan con los instrumentos adecuados para tal fin.

El propósito principal de este informe es describir las actividades ejecutadas y presentar una síntesis de las consideraciones conclusivas del estudio geológico - geotécnico para la construcción de la vía pueblo bello – la honda, “tramo puente el reposo” hasta “puente entrada a el cañón”- cesar.

## **1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA.**

**V & O INGENIERÍA S.A.S** cuenta su única sede en la ciudad de Valledupar, representado legalmente por la Sra. ANGÉLICA PATRICIA VANEGAS PADILLA es una empresa jurídica del sector de la construcción que tiene como misión brindar los servicios de realización de ensayos e interventorías en el área de ingeniería civil, ambiental y sanitaria a sus clientes particulares e institucionales garantizándoles cumplimiento de los estándares normativos aplicables, óptimos niveles en la calidad y confiabilidad de los ensayos y la oportunidad en el servicio.

### **1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA**

Esta compañía inició sus actividades en el año 2010 en la ciudad de Valledupar con el nombre de Laboratorio de Suelos, Concretos y Asfaltos EBERTO ORTEGA SINNING. En el año 2013, se cambia la personería jurídica de la empresa y se constituye como V&O INGENIERÍA S.A.S., por lo cual ya cuenta con más de 4 años de presencia y trayectoria en el mercado regional y nacional.

Desde el comienzo de nuestras actividades, nos especializamos en el servicio de laboratorio de suelos, concretos y asfaltos, interventorías, consultorías civiles, ambientales y sanitarias, participando en los principales proyectos de la región.

Con el transcurso de los años hemos incorporado nuevas líneas de ensayos con el objetivo de proveer a nuestros clientes una solución integral a sus necesidades. Contamos con una gama de profesionales para la realización de todos los ensayos efectuados en nuestras instalaciones y en cada proyecto que se requiera.

Nuestro objetivo principal es lograr una permanente mejora en nuestras actividades a fin de dar un servicio que asegure una entrega en tiempo y calidad.

## 1.2 ASPECTOS ESTRATEGICOS

### 1.2.1 Misión

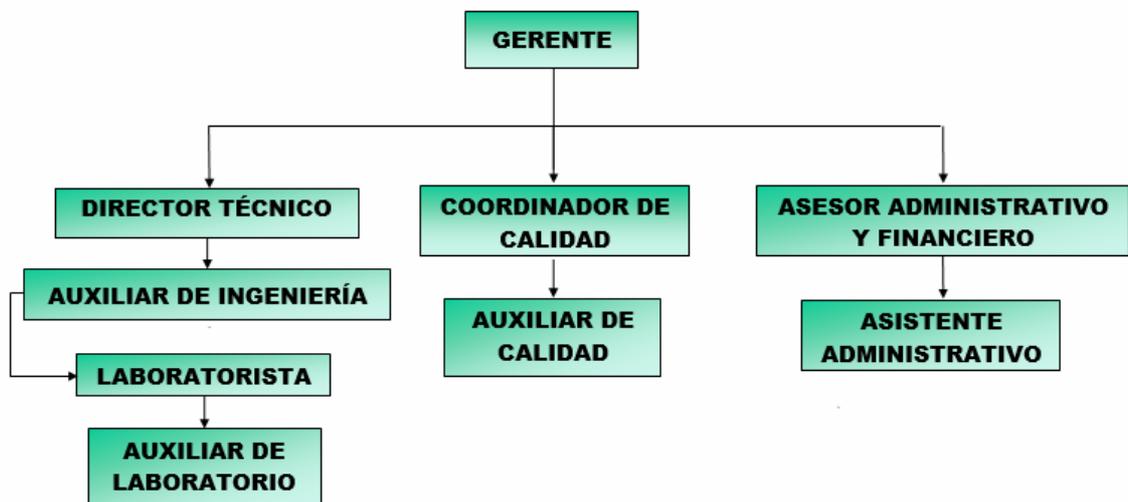
“V&O INGENIERÍA SAS es una empresa jurídica del sector de la construcción que brinda los servicios de realización de ensayos e interventorías en el área de ingeniería civil, ambiental y sanitaria a sus clientes particulares e institucionales garantizándoles cumplimiento de los estándares normativos aplicables, óptimos niveles en la calidad y confiabilidad de los ensayos y la oportunidad en el servicio.”

### 1.2.2 Visión

“V&O INGENIERÍA se proyecta como la empresa líder a nivel de la región Caribe en la prestación de los servicios de realización de ensayos de laboratorio para el sector de la construcción para el área de la ingeniería civil y sanitaria para ser reconocidos como la mejor opción.”

## 1.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

Figura 1: organigrama de VYO INGENIERÍA



Fuente: VYO INGENIERÍA.

## **1.4 PORTAFOLIO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS DE VYO INGENIERIA SAS.**

1. Consultoría civil
2. Consultoría ambiental y sanitaria
3. Estudio de geotecnia y pavimento
4. Interventoría técnica y económica de proyectos
5. Estudios y asesorías topográficas
6. Alquiler de equipos topográficos
7. Estudios hidrológicos e hidráulicos
8. Laboratorio de suelos concreto y asfalto
9. Ensayos y métodos de muestreo
  - 9.1 Ensayo Normal de Penetración Normal (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido
  - 9.2 Determinación de los tamaños de las Partículas de los Suelos
  - 9.3 Determinación del Limite Liquido de los Suelos
  - 9.4 Limite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos
  - 9.5 Equivalente de Arena de Suelos y Agregados Finos
  - 9.6 Ensayo Normal de Compactación - PROCTOR ESTÁNDAR
  - 9.7 Ensayo Modificado de Compactación – PROCTOR MODIFICADO
  - 9.8 CBR de Suelos Compactados en el Laboratorio y sobre Muestra Inalteradas
  - 9.9 Determinación de humedad de Suelos empleando un Probador con Carburo de Calcio
  - 9.10 Consolidación Unidimensional de Suelos
  - 9.11 Compresión Inconfinada en muestras de Suelos
  - 9.12 Ensayo de Corte Directo en condición Consolidada Drenada (CD)
  - 9.13 Densidad y Peso Unitario del Suelo en el Terreno por el Método del Cono y Arena
  - 9.14 Uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en aplicaciones de pavimentos – PDC
  - 9.15 Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables en los agregados
  - 9.16 Contenido Materia Orgánica
  - 9.17 Análisis Granulométrico de los Agregados Grueso y Fino
  - 9.18 Diseño de mezcla
  - 9.19 Determinación de la cantidad de material que Pasa el Tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200)
  - 9.20 Resistencia a la degradación de los agregados (máquina de los Ángeles)
  - 9.21 Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de Sulfatos
  - 9.22 Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los agregados
  - 9.23 % de Partículas Fracturadas en un agregado grueso
  - 9.24 Índices de Aplanamiento y de Alargamiento de los agregados para carreteras
  - 9.25 Asentamiento del Concreto de Cemento Hidráulico (SLUMP)
  - 9.26 Resistencia a la Compresión de Cilindros de concreto
  - 9.27 Índice Esclerométrico
  - 9.28 Resistencia a la Flexión del Concreto usando una viga simple
  - 9.29 Obtención y Ensayo de Núcleos de concreto endurecido
  - 9.30 Resistencia a la Compresión de Adoquines de concreto
  - 9.31 Extracción cuantitativa del Asfalto en mezclas para
  - 9.32 Pavimentos (% de asfalto)
  - 9.33 Estabilidad y Flujo de mezclas Asfálticas en caliente
  - 9.34 Determinación del índice Internacional de Rugosidad
  - 9.35 Diseño de Mezcla Método ACI
  - 9.36 Refracción Sísmica

## **2 INFORME DE LA PRÁCTICA.**

### **2.1 INFORME DE FUNCIONES**

VYO INGENIERÍA S.A.S representada legalmente por la Sra. ANGÉLICA PATRICIA VANEGAS PADILLA y dirigida técnicamente por EBERTO RAFAEL ORTEGA SINNING empresa dedicada a la consultoría civil, apoyada en su laboratorio de suelos concretos y asfaltos me proporciono funciones durante mis 6 meses de prácticas empresariales asociadas a la recopilación de información necesaria para llevar cabo estudios de suelos dentro de las cuales se pueden nombrar:

- Dirección y supervisión del muestreo por apiques en suelos para la realización de ensayos granulométricos y límites de consistencia.
- Dirección y supervisión del muestreo de suelos usando el SPT o ensayo de penetración estándar.
- Descripción de los sondeos realizados a partir del ensayo SPT y construcción de la correspondiente columna estratigráfica.
- Dirección y supervisión del muestreo de suelos usando CBR.
- Cartografía y análisis de las condiciones geológicas asociadas a las zonas donde se realizarían los proyectos.
- Modelamiento y construcción de mapas de zonificación geotécnica con SIG usando los datos obtenidos en campo y los obtenidos en el laboratorio.
- Análisis y elaboración de informes geotécnicos previos a la puesta en marcha de una obra civil.
- Cálculos de capacidad portante de suelos, usando los datos obtenidos en campo y laboratorio a partir del muestreo.
- Cálculos de los asentamientos de suelos usando los datos obtenidos en campo y laboratorio a partir del muestreo.
- Diseño de estructuras de pavimento rígido a partir del método INVIAS.
- Análisis de suelos a partir de ensayos granulométricos y de límites de consistencia.
- Construcción de mapas de pendientes en SIG para análisis de riesgos en obras.
- Construcción de mapas hidrográficos en SIG para estudios hidrológicos e hidráulicos.

## **2.2 IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE**

Como estudiante de ingeniería geológica con énfasis en la línea de geotecnia fue grato implementar los conocimientos adquiridos a través de la carrera para el análisis y exploración de terrenos en donde se llevarán a cabo obras civiles, sean estructuras viales, polideportivos, reservorios, casas y edificaciones de niveles variables con el fin de garantizar la vida útil de la obra, como base el parámetro del suelo de fundación. Dentro de este periodo el conocimiento adquirido sobre el campo laboral de las obras civiles, la ingeniería civil y su relación con la geología me mostro lo importante que es un geólogo o ingeniero geólogo dentro de la planeación y ejecución de un proyecto. El privilegio de trabajar al lado de profesionales con una amplia experiencia en el campo de la ingeniería motiva a avanzar académicamente con el fin de encontrar la excelencia en la profesión.

### **3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.**

#### **3.1 TITULO.**

ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA PUEBLO BELLO – LA HONDA, “TRAMO PUENTE EL REPOSO” HASTA “PUENTE ENTRADA A EL CAÑÓN”- CESAR.

#### **3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Dentro de toda obra ingenieril los análisis geológicos, análisis geotécnicos, estudios de amenazas y características de la zona de a intervenir son de suma importancia, dan pie a los estudios necesarios a la hora de llevar a cabo un proyecto y este no es la excepción, el estudio se realizara en los límites del municipio de pueblo bello exactamente la vía que conduce de pueblo bello a la honda “tramo puente el reposo” hasta “puente entrada a el cañón” cuenta con una longitud aproximada de 2 km de distancia, dentro de la población afectada por el proyecto se considera principalmente a los habitantes de pueblo bello y sus alrededores. Si bien el trabajo tiene como eje fundamental, cuál es la geología presente en el tramo vial de pueblo bello a la honda “tramo puente el reposo” hasta “puente entrada a el cañón” y que parámetros geológicos-geotécnicos se deben tener en cuenta a la hora de realizar la estructura vial.

#### **3.3 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA**

El objetivo de un análisis geológico - geotécnico o estudio de suelos previo a la puesta en marcha de una obra es de suma importancia ya que se debe tener claro las capacidades resistentes de dicho terreno a la hora de construir cualquier tipo de estructura civil. Un claro manejo de estos parámetros nos asegura contar con un factor de seguridad alto a la hora de precisar si es o no conveniente realizar dicha obra y que métodos de remediación del terreno es el apropiado para garantizar una estabilidad y seguridad total en nuestro proyecto.

## **4 OBJETIVOS.**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Analizar geológica y geotécnicamente la zona sobre la cual se ejecutará la obra para así brindar la seguridad necesaria para la puesta en marcha del proyecto constructivo.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Detectar las alteraciones que puedan existir en cuanto a la cimentación relacionada a la geología, los materiales que componen el suelo y la topografía del terreno.
- Elaborar el Análisis Granulométrico (Límites Líquido – Plástico e índice de Plasticidad) de las muestras obtenidas en campo.
- Determinar las amenazas y movimientos sísmicos, así como los efectos locales para el diseño resistente de la estructura.
- Realizar apiques para la determinación de los perfiles del suelo y su respectivo diseño de cimentaciones.
- Efectuar las recomendaciones indicadas en cuanto a la profundidad y el sistema de cimentación más adecuado de acuerdo a las características de la estructura, de la geología y de los suelos de la zona escogida para la construcción del proyecto.
- Calcular la correspondiente capacidad de soporte del terreno para la cimentación.
- Recomendar los procesos geotécnicos necesarios para mitigar los efectos de los problemas geotécnicos identificados.

### 4.3 RESULTADOS ESPERADOS

Se espera obtener un conocimiento detallado de las características geológicas geotécnicas del terreno, teniendo como fuente principal de información la exploración de campo; acompañada del muestreo del tipo suelo que afloran en dicho sector.

- A partir del análisis granulométrico será posible conocer el tipo de suelo presente en el tramo vial, las características granulométricas y el contenido de humedad natural que este presenta.
- Teniendo en cuenta los resultados de los límites de consistencia se considerarán suelos cohesivos o no cohesivos, dependiendo de su grado de expansión y análisis de sus características geotécnicas.
- Con base en el muestreo y ensayo de CBR será posible calcular el CBR de diseño de esta vía, clasificar el tipo de sub-rasante y además se obtendrá la resistencia al corte del suelo bajo condiciones de humedad controlada.
- A partir de un análisis de pendientes de terreno se identificarán los tramos de la vía que presenten pendientes elevadas y se procederá a la evaluación de riesgos por procesos de remoción en masa en dicho sector.
- Al realizar la respectiva revisión de la sismicidad del área de estudio, se identificará los coeficientes de aceleración sísmica presentes en el municipio de pueblo bello.
- Teniendo en cuenta datos meteorológicos de pueblo bello, se procederá a identificar el régimen climático de la región, así como los datos de temperatura y precipitación requeridos para el diseño de la estructura de pavimento y determinar las condiciones de humedad del ensayo CBR.
- A partir del ensayo de corte directo se obtendrán los datos de cohesión exacta y el respectivo ángulo de fricción interna del suelo necesario para el cálculo de la capacidad portante.

## **5 MARCO DE REFERENCIA.**

### **DRUMMOND LTD:**

- “Estudio geotécnico para el cálculo de la capacidad portante de los suelos para la elaboración del EIA, licencia de producción de campo Caporo, zona rural de la vereda los Cerrajones y La Aurora, jurisdicción del municipio de Chiriguaná - Cesar”

### **ALCALDÍA MUNICIPAL DE BECERRIL:**

- Interventoría técnica, administrativa y contable del proyecto de estudios y diseños de ingeniería de la vía que comunica a la vereda Bocas del Roncón con la vereda Sokorpa en el municipio de Becerril – Cesar”.

### **EMDUPAR S.A. E.S.P.:**

- “Estudio geotécnico para la construcción de un tanque de Almacenamiento en la planta de tratamiento de agua potable en la Ciudad de Valledupar-Cesar”
- “Estudio geotécnico para la instalación de la tubería del colector oriental De la empresa de servicios públicos (EMDUPAR) ubicada en el municipio de Valledupar, departamento del Cesar”
- “Estudio geotécnico para la instalación de una red de alcantarillado Sanitario en el barrio amaneceres del valle y en la carrera 4ª de la Ciudadela 450 Años en el municipio de Valledupar, departamento del Cesar”

### **PEPE CASTRO**

- “Diseño de pavimento para la avenida Aeropuerto en el Municipio de Valledupar, Departamento del Cesar”.
- “Diseño de pavimento para la avenida Citaranga en el Municipio de Valledupar, Departamento del Cesar”.
- “Diseño de pavimento para la avenida Caminos de Tamacal en el Municipio de Valledupar, Departamento del Cesar”.
- “Diseño de pavimento para la avenida de la Leyenda en el Municipio de Valledupar, Departamento del Cesar”.
- “Diseño de pavimento para la avenida las Américas, en el Municipio de Valledupar Departamento del Cesar”
- “Diseño de pavimento para la avenida Nando Marín en el Municipio de Valledupar, Departamento del Cesar”.

- “Diseño de pavimento para la avenida Rafael Orozco, en el Municipio de Valledupar Departamento del Cesar”.
- “Patología de la estructura del pavimento en el Corregimiento de Badillo, Municipio de Valledupar; Departamento del Cesar”

### **CONSTRUCTORA CARVAJAL Y SOTO**

- “Estudio Geotécnico para la construcción de un edificio de ocho niveles ubicado en la Calle 5N Bis 1 entre la Carrera 19D y 23, propiedad de la Constructora Carvajal y Soto, en la Ciudad de Valledupar, Departamento Del Cesar”.
- “Estudio geotécnico para la construcción de un edificio de dos niveles ubicado en la calle 19d entre carrera 6 y 4, en la ciudad de Valledupar, Departamento del cesar.

### **ING. EMILIO ARAOS SOLANO**

- “Estudio Geotécnico para la construcción de un puente en el Corregimiento “El Burro” Municipio de Pailitas, Departamento del Cesar.

### **HIDROTECNIA INGENIERÍA**

- “Estudio Geotécnico para la construcción de un puente sobre la vía la Jagua del Pilar – Los Piñones, sector puente manantial y finca Medellín del Municipio de la Jagua del Pilar, Departamento de la Guajira”.

### **A Y O PROYECTOS**

- “Estudio de Ingeniería incluye Estudio Geotécnico para la construcción de un Edificio en el Barrio Navalito en Valledupar Cesar”

### **CLÍNICA ERASMO LTDA**

- “Estudio Geotécnico para la construcción de una Edificación de 5 niveles con sótano para parqueadero en la calle 5 entre la carrera 19a v 19a2 en el Municipio de Valledupar Cesar”.

## 6 MARCO TEORICO.

Los sedimentos, detritos, partículas y acumulación de los residuos de la meteorización y erosión de las rocas dan origen al suelo, considerado el principal material de fundación de estructuras civiles, las de pavimento no son una excepción. Los espesores de las capas que conforman el pavimento dependen de las características estructurales y la calidad de los suelos de fundación y subrasante por ende los estudios previos de las características del suelo de fundación son de suma importancia en el diseño de una estructura de pavimento.

Los estudios geotécnicos en el área de un proyecto, permiten recolectar información básica muy importante para el análisis de estabilidad de cortes, taludes o terraplenes necesarios para un posterior diseño de otras estructuras viales, como: puentes, túneles, muros de contención, obras de arte e incluso el aprovechamiento de materia prima necesaria para la ejecución de la obra.

### 6.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS

El sistema unificado abarca tanto los suelos gruesos como los finos usando como criterio de diferencia el tamiz 200, las partículas que pasen dicho tamiz son consideradas finas, mientras que las que no logren hacerlo son partículas gruesas. Un suelo se considera como fino si el 50% de su peso logra pasar el tamiz 200, de igual forma si más de la mitad de las partículas de un suelo son gruesas se considerará como un suelo grueso.

- **SUELOS GRUESOS:**

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas las cuales expresan las iniciales del tipo de suelo y su característica en inglés:

- Para arenas y suelos arenosos se utiliza “S” que simboliza la palabra “sand”.<sup>1</sup>
- Para gravas y suelos muy gruesos se utiliza “G” que simboliza la palabra “gravel”.<sup>1</sup>

Estos suelos están separados por el tamiz No 4, si más del 50% pasa este tamiz se considera como “S” y si más del 50% queda retenido en el tamiz No 4 se considera “G”.

Los suelos gruesos se subdividen en 4 grupos dependiendo de características más puntuales como lo son la gradación y su porcentaje de finos, a continuación, se describen dichas subdivisiones:

- **GW Y SW:** JUARES Y RICO (2005, p153) consideran este Material prácticamente limpio de finos, bien graduado con símbolo W (well graded), la cantidad de finos presentes en este suelo no debe producir cambios significativos en la resistencia de la fracción gruesa, ni tampoco interferir en su capacidad de drenaje, estas características se garantizan totalmente si el contenido de finos es menor a un 5%. La gradación se juzga con el coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc). Para una grava bien graduada el Cu debe ser mayor a 4 y el Cc debe estar entre 1 y 3, mientras que para una arena el Cu debe ser mayor a 6 y el Cc dentro de 1 y 3.<sup>1</sup>
- **GP Y SP:** JUARES Y RICO (2005, p154) consideran este Material prácticamente limpio de finos, mal graduado con símbolo P (poorly graded). Estos suelos son mal graduados, con una apariencia uniforme los cuales presentan un predominio de un solo tamaño de grano o un rango específico con carencia de partículas de tamaños intermedios. Estos suelos hacen parte de los depósitos uniformes que encontramos en los lechos de los ríos y arenas de playa.<sup>1</sup>
- **GM Y SM:** con una cantidad apreciable de finos no plásticos con símbolo M (mo y mjala). En este grupo el contenido de finos si afecta las características de resistencia y drenaje de la fracción gruesa. Esto ocurre cuando el porcentaje de finos es mayor a 12%, la plasticidad de estos finos se debe ubicar entre nula y media o bien su índice de plasticidad sea menor a un 4% y cuando la plasticidad esta entre 5% y 12% se usará doble simbología, ejemplo GW–GM, para indicar una grava bien graduada con finos no plásticos, en porcentaje comprendido entre 5 y 12%.<sup>1</sup>
- **GC Y SC:** con una cantidad apreciable de finos plásticos con símbolo C (clay) en este grupo el contenido de finos afecta las características de resistencia y drenaje de la fracción gruesa. Esto ocurre cuando el porcentaje de finos es mayor a 12%, la plasticidad de estos finos se debe ubicar por encima del 7%.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> JUARES Y RICO. *fundamentos de mecánica de suelos 2005.*

## 6.2 LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS.

La condición física de la mezcla de suelo y agua está denotada por la Consistencia. La Consistencia se define como la resistencia al flujo, que está relacionado con la fuerza de atracción entre partículas y es más fácil de sentir físicamente que de describir cuantitativamente.<sup>2</sup>

En estas condiciones podemos definir los límites de Atterberg como:

**Límite Líquido:** El Límite Líquido LL es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado líquido. En este estado la mezcla se comporta como un fluido viscoso y fluye bajo su propio peso. Por debajo de éste contenido de humedad la mezcla se encuentra en estado plástico. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LL produce un cambio en el volumen del suelo.<sup>2</sup>

**Límite Plástico:** El Límite Plástico LP es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico. En este estado la mezcla se deforma a cualquier forma bajo ligera presión. Por debajo de éste contenido de humedad la mezcla está en un estado semi-sólido. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LP produce un cambio en el volumen del suelo.<sup>2</sup>

## 6.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO.

Se le conoce como granulometría a un análisis de gradación del suelo, proceso por el cual se determina cuantitativamente la distribución del tamaño de los granos o partículas que componen el perfil de suelo de estudio. Este tipo de análisis se realiza por dos métodos diferentes, uno apropiado para suelos granulares y otro para suelos finos y cohesivos.

El método por tamizado es el apropiado para los suelos granulares o de partículas gruesas y el método por sedimentación el cual es utilizado para separar las partículas finas que no son diferenciables por el método común de los tamices.

El método por tamizado consiste en pasar las partículas de suelo por una serie de mallas con unas aberturas y un diámetro específico, los tamices son acomodados en serie uno sobre otro con un orden descendente en cuanto a la abertura de la malla a continuación se muestra los tamices utilizados en este estudio.

---

<sup>2</sup> HOLTZ & KOVACS. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice.

**Tabla 1:** tamices usados por la granulometría.

TAMIZ	ABERTURA (MM)
2"	50
1 1/2"	37,52
1 "	25
3/4"	19
1/2"	12,7
3/8"	9,5
No.4	4,75
No. 10	2
No. 40	0,425
No. 200	0,075
FONDO	

**Fuente:** VYO INGENIERIA

**Figura 2:** tamices del análisis granulométrico



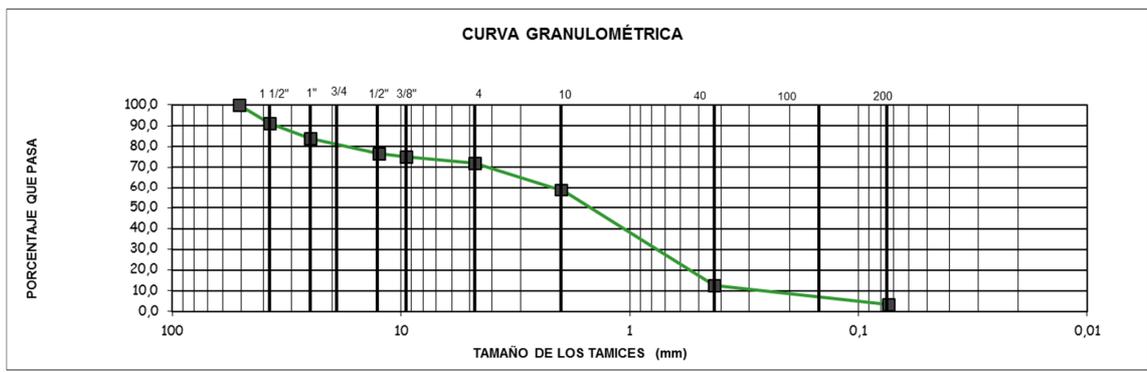
**Fuente:** geologiaunisucre.blogspot.com

Con el fin de tamizar un suelo, debe ser pesado antes de lavar obteniendo un peso total (PT), luego es lavado y tamizado únicamente con el tamiz No 200 se seca y nuevamente es pesado calculando un peso luego del secado y lavado (PT2) la resta de los pesos PT y PT2 nos da el peso de las partículas finas que lograron pasar el tamiz 200. El suelo seco ahora es pasado por cada tamiz y obteniendo los pesos retenidos de cada uno de ellos, a partir de esto se realizan los cálculos de distintos factores como (% que pasa- % retenido) lo cual nos lleva a obtener el tipo de suelo del terreno.

## 6.4 CURVA GRANULOMÉTRICA.

Luego de realizar el debido proceso de tamizado es necesario determinar la cantidad de material que pasa por cada tamiz, y proceder a realizar una gráfica en escala semilogarítmica, donde el logaritmo de la abertura del tamiz representado en milímetros corresponderá al eje de las abscisas (X) y el porcentaje que pasa por cada tamiz corresponderá a las ordenadas (Y). A continuación, se muestra un ejemplo de la estructura de una curva granulométrica.<sup>3</sup>

**Grafica 1:** estructura de una curva granulométrica.



**Fuente:** VYO INGENIERIA SAS

La curva granulométrica es necesaria para clasificar un suelo en cualquier sistema de clasificación, nos muestra una idea del comportamiento del suelo como material de construcción, además sirve como punto de referencia o de comparación con las especificaciones mínimas que exige la norma según el uso de este material sea para bases, sub-bases, carpetas, filtros concretos y demás.

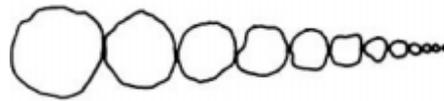
## 6.5 GRADACIÓN DE UN SUELO

Es una propiedad la cual determina la distribución de los tamaños de grano de un suelo, los suelos pueden clasificarse como bien gradados, mal gradados o suelos con gradación discontinua.

Un suelo está bien gradado cuando tiene una distribución de tamaños continua o sucesiva.

<sup>3</sup> Lucio Gerardo cruz Velasco. Universidad del cauca. Mecánica de suelos 1. Geotecnología.

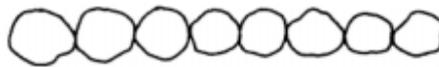
**Figura 3:** suelo con gradación sucesiva.



**Fuente:** facultad de ingeniería y arquitectura – TELESUP- mecánica de suelos.

Un suelo se considera mal gradado cuando las partículas que lo componen son de un tamaño similar un ejemplo de estos son las arenas de playa.

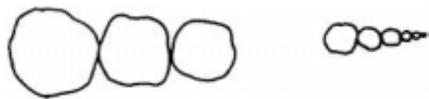
**Figura 4:** suelo mal gradado.



**Fuente:** facultad de ingeniería y arquitectura – TELESUP- mecánica de suelos.

Un suelo con gradación discontinua, como su nombre lo indica la distribución de los tamaños no es sucesiva, presenta saltos considerables en el tamaño de las partículas.

**Figura 5:** suelo con gradación discontinua.



**Fuente:** facultad de ingeniería y arquitectura – TELESUP- mecánica de suelos.

## 6.6 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

El coeficiente de uniformidad mide la condición de uniformidad del suelo a partir de la variación del tamaño de las partículas que lo componen, la distribución de los tamaños de las partículas se puede inferir a partir de la extensión horizontal de la curva granulométrica.

Si la curva granulométrica muestra una extensión horizontal larga quiere decir que existe una buena gradación de suelo, inversamente si la curva tiene una pequeña extensión horizontal podremos decir que el suelo es mal gradado.

Matemáticamente el coeficiente de uniformidad es calculado con la siguiente expresión:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde los  $D_x$  se definen como el diámetro de la abertura del tamiz por el cual pasa el  $X$  por ciento del material. Un ejemplo el  $D_{60}$  es el diámetro de la abertura del tamiz por el cual pasa el 60% de la muestra.

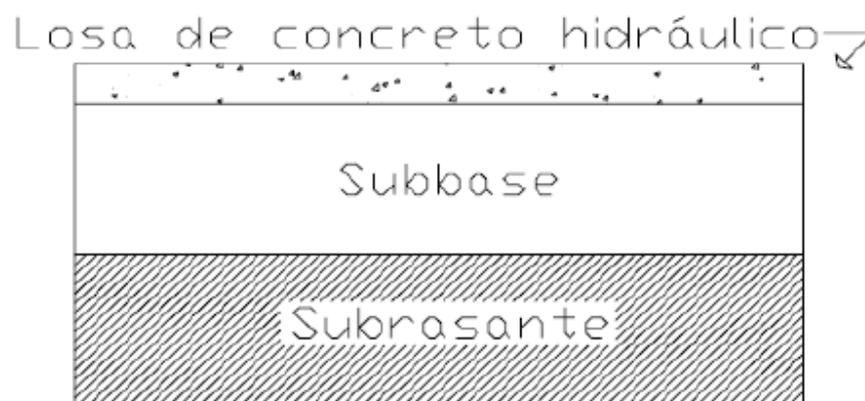
### 6.7 COEFICIENTE DE CURVATURA

Este coeficiente refleja la curvatura de la curva granulométrica y da información del equilibrio entre los diversos tamaños de partículas. Los suelos bien gradados tienen valores de este coeficiente comprendidos entre 1 y 3.

$$c_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

### 6.8 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RIGIDO

**Figura 6:** estructura del pavimento rígido



**Fuente:** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos.*

### **6.8.1 Base**

La función fundamental de la base es estructural y tiene como fin, proporcionar una resistencia a los esfuerzos transmitidos por las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas.<sup>4</sup>

La base tiene también una importante función drenante, según la que debe ser capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores. Las características de un material de base suelen exigir que a los agregados pétreos o fragmentos rocosos con que ha de formarse, se les someta a verdaderos procesos de fabricación, entre los que es común la trituración; esta produce efectos favorables también en la resistencia y en la deformabilidad, da lugar a partículas de aristas vivas entre las que es importante el efecto de acomodo estructural. El lavado es otra operación que muchas veces se especifica en los proyectos para ser realizada sobre los materiales provenientes de bancos con los que se construirá una base. Los efectos benéficos de esta operación son obvios, desde el momento en que se eliminan finos que afectarían desfavorablemente la resistencia estructural del conjunto. Los finos son siempre indeseables en una base, pues afectan desfavorablemente la resistencia, aumentan la deformabilidad y perjudican la función drenante.<sup>4</sup>

### **6.8.2 Sub-base**

La principal función de la sub-base de un pavimento flexible, es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Cuanto menor sea la calidad del material colocado tendrá que ser mayor el espesor necesario para soportar y transmitir los esfuerzos. Otra función de la sub-base consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular grueso y el de la subrasante, que tiende a ser mucho más fino. La sub-base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante. La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante; por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento. Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de sub-base, que son la resistencia friccionante y la capacidad de drenaje. La primera, beneficia la resistencia friccionante del conjunto y a la vez, garantiza el buen comportamiento en cuanto a deformabilidad, pues un material que posee esa calidad de resistencia será poco deformable a condición de estar bien compactado.

---

<sup>4</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos.*

La segunda, que la capacidad drenante cumpla doble función de drenaje, es decir que permita al pavimento eliminar tanto el agua que se filtre por su superficie, como la que ascienda por capilaridad. Los espesores de sub-base son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 o 15cm. como la dimensión mínima constructiva.<sup>5</sup>

### **6.8.3 Sub-rasante**

Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural o estabilizado o por material de préstamo debidamente compactado para alcanzar el 95% de la máxima densidad seca obtenida mediante el ensayo de Proctor modificado. <sup>5</sup>

## **6.9 PARÁMETROS CLIMÁTICOS**

### **6.9.1 Brillo solar**

La duración del brillo solar en horas, representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el alba y el atardecer. El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan el clima de esa localidad. Este elemento meteorológico es importante en casi todas las formas de actividad y empresas humanas. Sectores como el agrícola, forestal, turismo, construcción, deportes y energía, dependen y planifican aspectos del cumplimiento de sus programas y actividades futuras sobre la perspectiva de disponer de suficientes horas de brillo solar durante el día.<sup>6</sup>

El conocimiento adecuado del régimen de brillo solar permite, estimar características cuantitativas de la nubosidad y radiación solar de forma que se pueda tener una idea sobre la disponibilidad luz del sol para el aprovechamiento de la energía solar en el país.<sup>6</sup>

### **6.9.2 Nubosidad**

La fracción de la bóveda celeste que se ve cubierta de nubes se denomina "nubosidad" o "cantidad de nubes". La nubosidad se mide en octavos u "octas" de cielo cubierto.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos.*

<sup>6</sup> Tomado de < [http://www.hidromet.com.pa/brillo\\_solar.php](http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php)>.

<sup>7</sup> Tomado de <<http://www.lineaverdemijas.com/lv/consejos-ambientales/las-nubes/cantidad-de-nubes.asp>>

Dependiendo del número de octas de la nubosidad total, se habla de cielo:

- Despejado - (0 octas).
- Poco nuboso - (1, 2 o 3 octas).
- Nuboso - (4 o 5 octas).
- muy nuboso - (6 o 7 octas).
- Cubierto - (8 octas).

### **6.9.3 Precipitación**

La precipitación es el término con el cual se denominan las formas de agua en estado líquido o sólido que caen directamente sobre la superficie terrestre o de otro planeta. Esto incluye la lluvia, llovizna, llovizna helada, lluvia helada, granizo, hielo granulado, nieve, granizo menudo y bolillas de nieve.

La fuente principal de las precipitaciones son las nubes, pero no se llegan a producir hasta que las diminutas partículas que las constituyen se acrecionan y consiguen un tamaño suficientemente grande como para vencer la fuerza ascendente de las corrientes atmosféricas.<sup>8</sup>

La cantidad, frecuencia y distribución espacial y temporal de las precipitaciones es muy variable, razón por la cual ha sido objeto de intenso estudio por parte del hombre, en la determinación de los climas y el aprovechamiento de los recursos hídricos que ofrece la naturaleza.

La intensidad de las precipitaciones varía de un lugar a otro, aunque no se encuentren a mucha distancia. A lo largo de un año también hay variaciones. Existen zonas en las que en un sólo día cae más lluvia que en otros a lo largo de todo el año.

Las causas que influyen en la distribución de precipitaciones en el planeta son la proximidad al mar, que aumenta la humedad del aire, y las corrientes ascendentes de aire, como las que obligan a realizar las cordilleras, sobre las cuales las precipitaciones son más numerosas e intensas en la ladera enfrentada a los vientos más frecuentes, o barlovento.<sup>8</sup>

La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico. La precipitación pluvial se mide en mm, que sería el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación,

sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno (l/m<sup>2</sup>).<sup>8</sup>

#### **6.9.4 Temperatura**

A temperatura atmosférica es el indicador de la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire. Aunque existen otras escalas para otros usos, la temperatura del aire se suele medir en grados centígrados (°C) y, para ello, se usa un instrumento llamado termómetro.

La temperatura depende de diversos factores, como la inclinación de los rayos solares. También depende del tipo de sustratos (la roca absorbe energía, el hielo la refleja), la dirección y fuerza de los vientos, la latitud, la altura sobre el nivel del mar, la proximidad de masas de agua etc.<sup>8</sup>

La temperatura media se calcula a través de los promedios estadísticos obtenidos entre las temperaturas máximas y mínimas. Con las temperaturas medias mensuales (promedio de las temperaturas medias diarias a lo largo del mes) se obtiene un gráfico de las temperaturas medias de un lugar para un año determinado. Y con estos mismos datos referidos a una sucesión de muchos años (30 o más) se obtiene un promedio estadístico de la temperatura en dicho lugar.<sup>9</sup>

#### **6.10 ROCAS IGNEAS**

Las rocas ígneas se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que, si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales invisibles conocidas como rocas volcánicas o extrusivas.

#### **6.11 SISMICIDAD**

Se denomina sismicidad al análisis del número de sismos que se suceden en una región geográfica determinada. Tal estudio registra en un mapa a los diversos epicentros existentes, además de tomar en cuenta la frecuencia con que se suceden estos fenómenos. Para ello se vale de una serie de leyes que ayudan a entender y

---

<sup>8</sup> Tomado de < <http://www.astromia.com/glosario/precipitacion.htm>>

<sup>9</sup> Tomado de < <http://www.astromia.com/tierraluna/elemclima.htm>>

explicar estos sucesos, como la Ley de Omori, la ley de Bath, la ley de Gutenberg-Ritcher.<sup>10</sup>

## 6.12 BATOLITO

Los batolitos son agrupaciones de plutones o intrusiones individuales (pudiendo éstas estar constituidas por diversos pulsos) cuya superficie de afloramiento suele ser de decenas a miles de kilómetros cuadrados. El número de intrusiones que constituyen un batolito puede ser muy variable, pero en algunos casos sobrepasa el centenar. Los tipos rocosos que conforman los batolitos pueden recoger todo el espectro de rocas plutónicas, pero en cada batolito la abundancia de unas u otras litologías está controlada por la química de los fundidos primarios y los procesos magmáticos que se producen hasta el emplazamiento final de los distintos cuerpos. El ambiente geodinámico al que se asocian los batolitos es determinante en sus principales características.<sup>11</sup>

## 6.13 ENSAYO CBR:

El valor CBR es la relación expresada en % entre la carga real aplicada y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material compacto o en su estado normal. Este índice es empleado para expresar las características de Resistencia y Deformación de un suelo. La prueba evalúa el material de subrasante y se correlaciona con el comportamiento del pavimento bajo condiciones críticas, este ensayo se realiza saturando una muestra, posteriormente Se somete a una presión similar a la que producirá el futuro pavimento con el fin de simular las condiciones más desfavorables de drenaje y expansión.

## 6.14 COMPACTACION DE SUELOS

La compactación de suelos es uno de los componentes más críticos e importantes en la construcción de carreteras, aeropistas, terraplenes y cimentaciones. La durabilidad y estabilidad de una estructura está relacionada con el cumplimiento de una adecuada compactación del suelo sobre el que se va a apoyar. De esta manera las fallas estructurales de caminos y pistas de aterrizaje en aeropuertos o daños en la estructura causados por asentamientos de la cimentación pueden eliminarse al completar una adecuada compactación.<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> Tomado de <<http://www.definicionabc.com/ciencia/sismicidad.php>>

<sup>11</sup> Tomado de <<https://petroignea.wordpress.com/formas-de-yacimiento/formas-plutonicas-y-filonianas/plutones/batolitos/>>

<sup>12</sup> DEL BOSQUE DE LA MORA LUIS, métodos para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo, 2005.

La compactación es un método de mejoramiento que consiste en aplicar energía al suelo suelto para así eliminar espacios vacíos, aumentando su densidad y, en consecuencia:<sup>13</sup>

- Aumentar la resistencia al corte, por consiguiente, mejorar la estabilidad de terraplenes, pavimentos, carreteras y la capacidad de carga de cimentaciones.
- Disminuir la compresibilidad y la reducción de los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y por consiguiente se obtiene una reducción en la permeabilidad del suelo.
- Reducir el potencial de expansión y contracción debido a cambios en la humedad del terreno.

Siendo Su objetivo principal es el mejoramiento de las propiedades geotécnicas del suelo, Ningún proceso constructivo aplicado a los suelos naturales da un cambio tan marcado en las propiedades de un suelo a un costo tan bajo como la compactación. El grado de compactación de un suelo o un relleno se mide cuantitativamente mediante la densidad seca. La densidad seca (o peso volumétrico seco máximo) que se calcula posterior al proceso de compactación el éxito del proceso depende de la energía utilizada durante la compactación, denominada energía de compactación, y también del contenido de humedad del suelo durante el proceso de compactación o (humedad óptima).<sup>13</sup>

La mayor parte de las compactaciones de campo se hacen con compactadores de rodillos, de los cuales hay cuatro tipos:<sup>14</sup>

- Compactador de rodillos de rueda lisa (o rodillos de tambor liso)
- Compactador de neumáticos de hule
- Compactador con rodillos de pata de cabra
- Compactador de rodillos vibratorios

---

<sup>13</sup> DEL BOSQUE DE LA MORA LUIS, *métodos para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo*, 2005.

<sup>14</sup> BRAJA M DAS. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, México: Thompson Learning, 2001.

Los compactadores de rodillos lisos son apropiados para rodadas de prueba de subrasante y para la operación final de rellenos con suelos arenosos y arcillosos. Éstos cubren el 100% bajo las ruedas con presiones de contacto con el suelo de 310 hasta 380 kN/m<sup>2</sup>, y no son apropiados para producir altos pesos específicos de compactación al usarse en capas gruesas.<sup>15</sup>

**Ilustración 1:** compactador de rodillo liso



**Fuente:** internet

Los compactadores con neumáticos de hule son mejores en muchos aspectos que las de rodillos lisos. Los primeros tienen varias hileras de neumáticos, que van colocados cerca uno de otro, cuatro a seis en una hilera. La presión de contacto bajo los neumáticos varía entre 600 y 700 kN/m<sup>2</sup> y su cobertura es aproximadamente de 70% a 80%. Los rodillos con neumáticos se usan para la compactación de suelos arenosos y arcillosos. La compactación se logra por una combinación de presión y acción de amasamiento.<sup>15</sup>

**Ilustración 2:** compactador de rodillo neumático



**Fuente:** Caracterización de la resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado.

<sup>15</sup> BRAJA M DAS. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*, México: Thompson Learning, 2001.

Los rodillos pata de cabra son tambores con un gran número de protuberancias. El área de cada una de esas protuberancias varía entre 25 y 85 cm<sup>2</sup>. Los rodillos pata de cabra tienen su mayor efectividad en la compactación de suelos arcillosos. La presión de contacto bajo las protuberancias varía entre 1380 y 6900 kN/m<sup>2</sup>. Durante la compactación en el campo, las pasadas iniciales compactan la porción inferior de una capa. Las porciones superior y media de una capa se compactan en una etapa posterior.<sup>15</sup>

**Ilustración 3:** compactador de rodillo pata de cabra



**Fuente:** Caracterización de la resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado.

Los rodillos vibratorios son muy eficientes en la compactación de suelos granulares. Los vibradores se unen a los rodillos lisos, a los de neumáticos o a los rodillos pata de cabra para suministrar efectos vibratorios al suelo y lograr un valor incremento agregado a la densidad seca del terreno.<sup>15</sup>

**Ilustración 4:** compactador con rodillo vibratorio



**Fuente:** Caracterización de la resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado.

## **7 METODOLOGÍA.**

Para la elaboración del estudio geológico - geotécnico fue necesario un reconocimiento y análisis de cada uno de los parámetros básicos para la ejecución de los mismos, como son: tipo de suelo, profundidad estratigráfica, profundidad del nivel freático, Relación de soporte del suelo (CBR) y capacidad portante.

El proceso metodológico seguido para el desarrollo del estudio se resume en las siguientes etapas:

### **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Comprende la recopilación de información básica existente en las diferentes entidades del municipio afines al estudio como lo son:

- Plancha Geológica y referencias litoestratigráficas obtenidas del SGC y otros artículos publicados.
- Topografía de la zona del proyecto, proporcionada por el contratista.
- Clima y parámetros climáticos obtenidos del IDEAM y corpocesar.
- Sismicidad del área de trabajo, obtenida del SGC y la norma NSR-10.
- Relieve y topografía regional obtenida a partir del DEM de la NASA con resolución de 30x30.
- Plancha topográfica y referencias cartográficas de la zona proporcionada por el IGAC.

### **EXPLORACIÓN DE CAMPO Y MUESTREO**

La exploración de campo pretende determinar la extensión de los diferentes estratos de suelos, como están dispuestos tanto en unidades de área como la potencia de las capas a partir del muestreo previamente planeado y aprobado, además de ello se verifican la posición del nivel freático y se confirma la información obtenida a partir de la "RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN" del sitio.

## **EVALUACIÓN GEOTECNICA Y ANALISIS DE INFORMACION**

La evaluación geotécnica es parte fundamental dentro de la metodología planteada, Se realizó un análisis detallado de la información obtenida a partir de la “RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN”, la “EXPLORACIÓN EN CAMPO” y se procede a los análisis pertinentes en laboratorio. Luego de esto se definieron los parámetros básicos para el dictamen de las recomendaciones.

### **CONCLUSIONES**

Se definen las características de los materiales, se dicta la adecuación del terreno, tipo y profundidad de cimentación, capacidad de carga admisible, se exponen las recomendaciones generales y particulares necesarias para el aseguramiento de la calidad en la construcción y mantenimiento.

#### **7.1 METODO DE EXPLORACIÓN DE CAMPO**

Con el fin de determinar las características de la condición de la superficie existente en cuanto a espesor, tipo de materiales de la subrasante, se realizaron 8 ensayos de CBR hasta una profundidad de 1.5 metros tal que permita la determinación del tipo de suelo, este método se utiliza tanto en suelos granulares como en suelo cohesivos, pudiendo atravesar suelos de consistencia firme a muy firmes.

Todo esto con el objeto de identificar los suelos que componen el área de estudio del proyecto, también se utilizaron herramientas manuales tales como: pala, pico, palin, sacos, cinta métrica, cámara fotográfica, GPS, y libreta de apuntes; las cuales permitieron la toma de muestra para la inspección visual y ensayos de Laboratorio.

En cada una de las excavaciones, se realizó:

**Columna Estratigráfica:** Mediante inspección visual, posteriormente corroborada con los ensayos de laboratorio, se obtuvo la columna estratigráfica del suelo presente en la zona de estudio.

**Posición del Nivel Freático:** En la profundidad de exploración a 1.5 metros no se encontró el nivel freático.

**Muestreo:** se tomaron dos muestras, suficientes para el análisis granulométrico y los cortes directos, además ocho (8.0) muestras de ensayos inalterados de Relación de Soporte del Suelo (CBR), un número suficiente para permitir la realización de un adecuado programa de laboratorio y su respectiva caracterización geotécnica de acuerdo los parámetros del Instituto Nacional de Vías.

## 8 MARCO CONTEXTUAL

### 8.1 LOCALIZACIÓN REGIONAL DEL ROYECTO

**Figura 7:** localización del municipio de pueblo bello.



**Fuente:** WIKIPEDIA

La cabecera municipal de Pueblo Bello se encuentra localizada al norte del departamento del Cesar dentro de las estribaciones de la SNSM en Colombia, exactamente en las coordenadas  $10^{\circ} 24' 59''$  Norte y  $73^{\circ} 35' 12''$  Este, con una altitud promedio de los 1200 msnm.

## 8.2 LOCALIZACION DEL PROYECTO

**Figura 8:** ubicación de la vía a intervenir.



**Fuente:** BINGMAPS

**Figura 9:** zoom al tramo vial representado en (figura 2).



**Fuente:** BINGMAPS

El tramo vial se encuentra al oeste (W) del municipio de pueblo bello, localmente conocida como la vía pueblo bello – la honda, “tramo puente el reposo” hasta “puente entrada a el cañón”- cesar, luego de arribar a pueblo bello por la carretera Valledupar- pueblo bello la ruta de acceso es seguir la calle 9 hasta la intersección con la calle 8, en donde se encuentra una “Y” al salir del municipio y localizar puente el reposo es el inicio de los dos km de la zona de estudio.

### 8.3 CONSIDERACIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA DEL PROYECTO.

#### 8.3.1 Precipitación

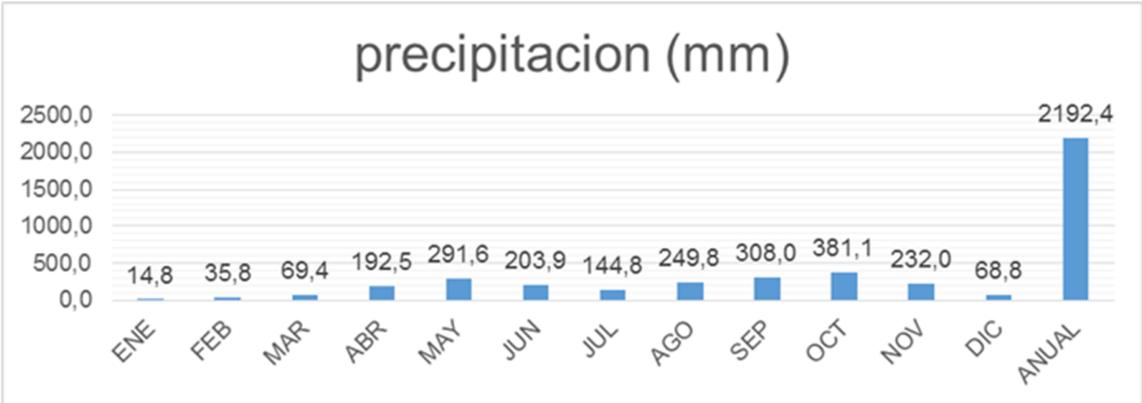
El municipio de Pueblo Bello se encuentra ubicado en el litoral Caribe, en la zona de influencia del desplazamiento de la Convergencia Intertropical (ITC) generando un régimen pluviométrico bimodal, es decir la presencia de dos períodos húmedos y dos períodos secos. El período seco se encuentra en los meses de febrero y marzo; mientras que el período Húmedo presenta dos períodos definidos en los meses de abril y mayo para el primer semestre y en septiembre y octubre para el segundo semestre, con una disminución en la época intermedia en los meses de junio a agosto. Las lluvias se manifiestan en precipitaciones torrenciales, de corta duración. Las precipitaciones son inmutables en torno a 1600 – 2400 mm anuales, repartidos entre abril y noviembre con máximas en mayo y octubre.

**Tabla 2:** Estadísticas IDEAM - precipitación mensual de pueblo bello

MES	PRECIPITACION (MM)	DIAS CON LLUVIA
ENE	14,8	1
FEB	35,8	2
MAR	69,4	5
ABR	192,5	11
MAY	291,6	15
JUN	203,9	11
JUL	144,8	7
AGO	249,8	12
SEP	308	16
OCT	381,1	17
NOV	232	12
DIC	68,8	4
ANUAL	2192,4	114

Fuente: IDEAM

**Grafica 2:** precipitación mensual

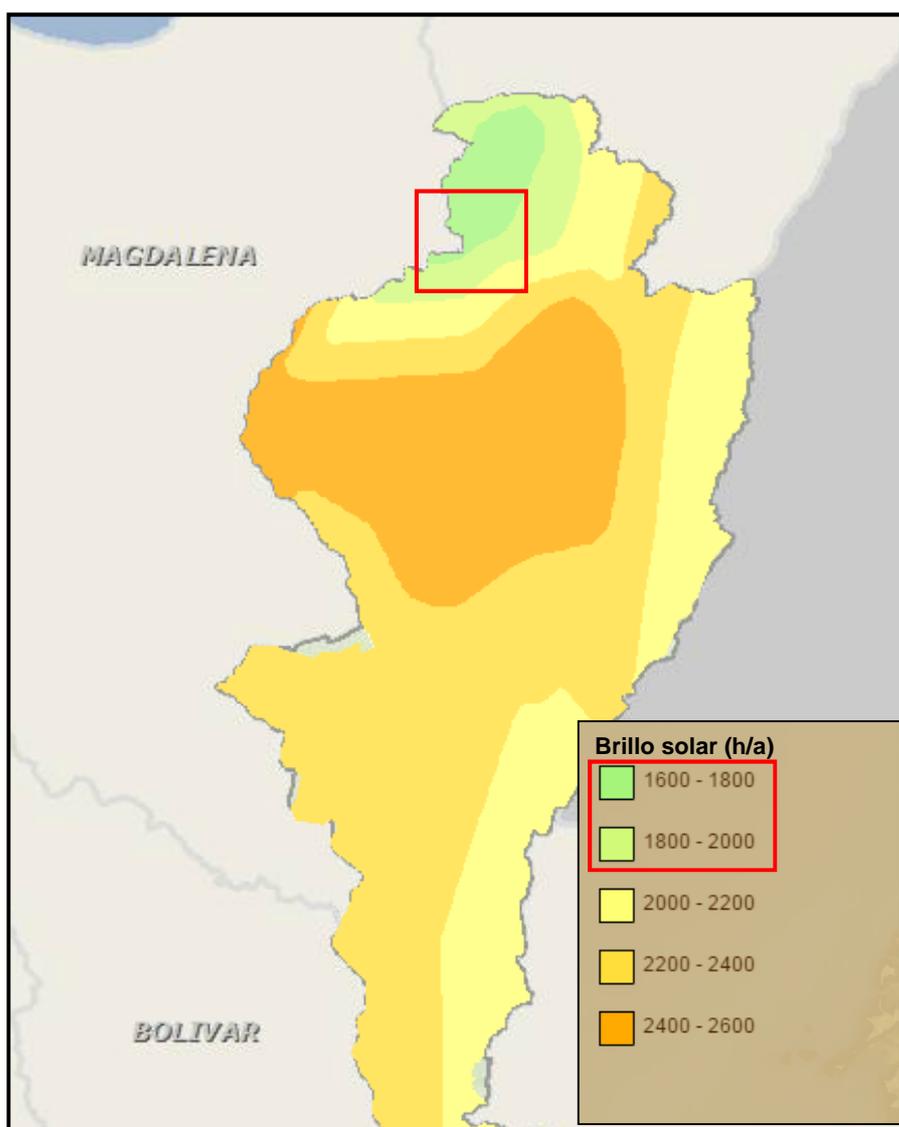


**Fuente:** IDEAM

### 8.3.2 Brillo solar

El comportamiento del brillo solar durante el año es contrario al régimen de lluvias, es decir que en los veranos sus valores son mayores, en tanto que en el período de invierno sus valores son menores, tomando como referencia estudios realizados por el instituto de hidrología, metrología y estudios ambientales (IDEAM) en el municipio presenta un promedio anual entre 1600 y 2000 horas de sol.

**Figura 10:** mapa de brillo solar

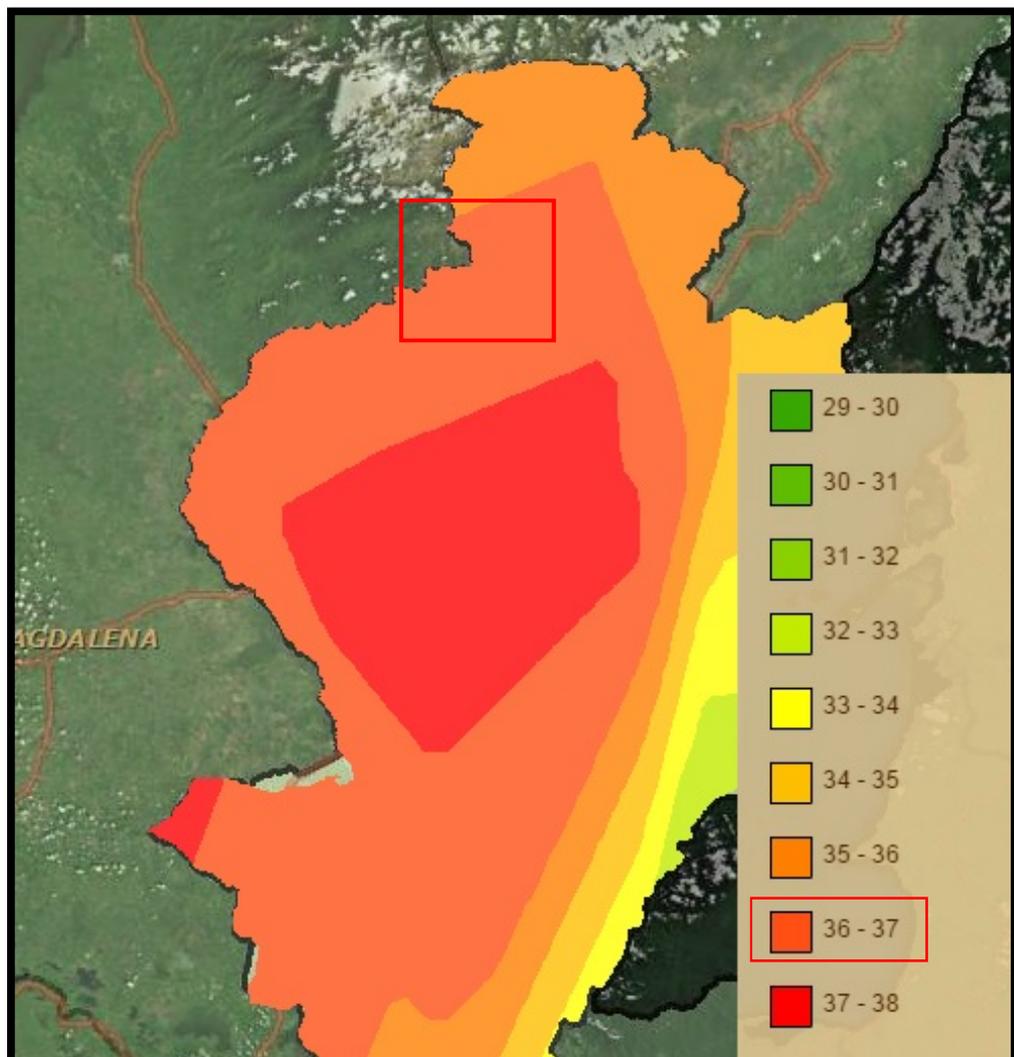


**Fuente:** CORPÓCESAR.

### 8.3.3 Temperatura

En cuanto a las temperaturas de la zona, según los datos acumulados desde 1969 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la temperatura media anual es de 22.5 °C, con máximas y mínimas de 18 °C y 24 °C respectivamente, la temperatura máxima histórica registrada es de 30 °C y la mínima de 16 °C. El mes más caluroso es abril con un promedio de 24 °C y el más fresco octubre con 18 °C.

**Figura 11:** mapa de temperaturas máximas del cesar.



**Fuente:** CORPOCESAR.

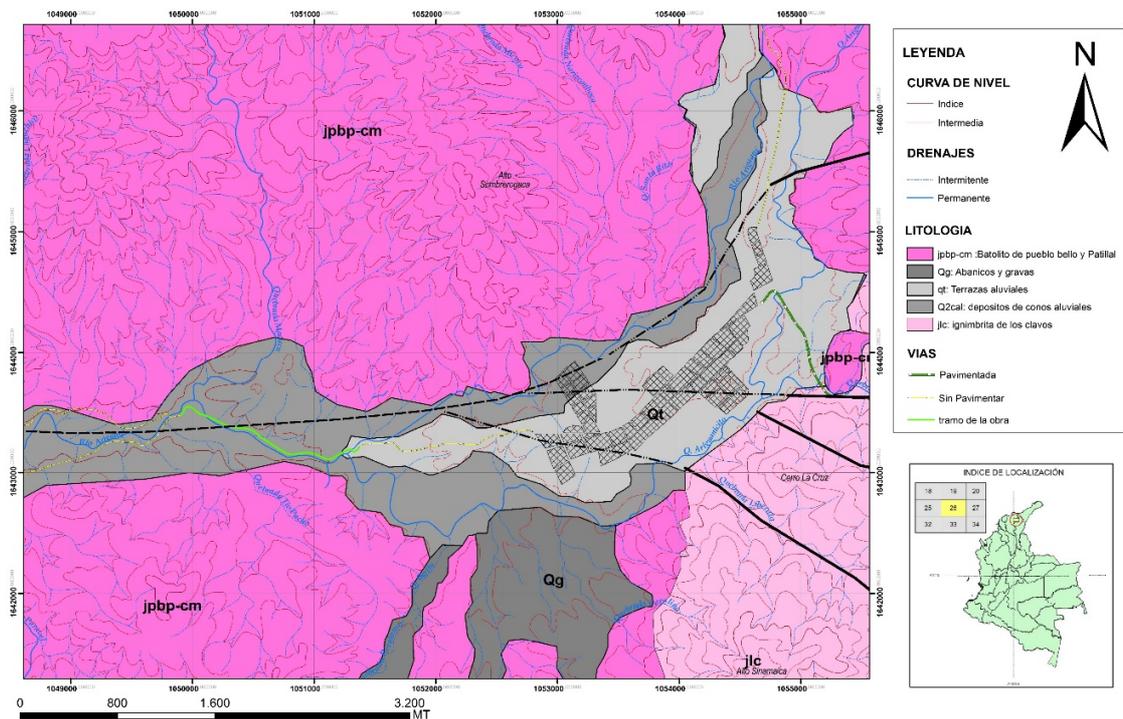


## 8.4 GEOLOGÍA LOCAL.

Las unidades de roca que afloran en el Departamento de Cesar comprenden un amplio rango de edades y ambientes de formación; se encuentran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, con edades asignadas desde el Proterozoico hasta el Reciente.

La zona del Estudio se encuentra al este del casco urbano del municipio de pueblo bello, departamento del Cesar. Geológicamente, los suelos están conformado por arenas, gravas y en algunas localidades arcillas - limos, todo esto agrupado regionalmente como depósitos cuaternarios, específicamente por las unidades litoestratigráficas; Aluviones recientes (Q-al), Abanicos y gravas (Qg), Terrazas aluviales (Qt) suprayaciendo a un conjunto de rocas proterozoicas y jurásicas asociadas a las granulitas de los mangos, ignimbrita de los clavos y el batolito de pueblo bello y patillal.

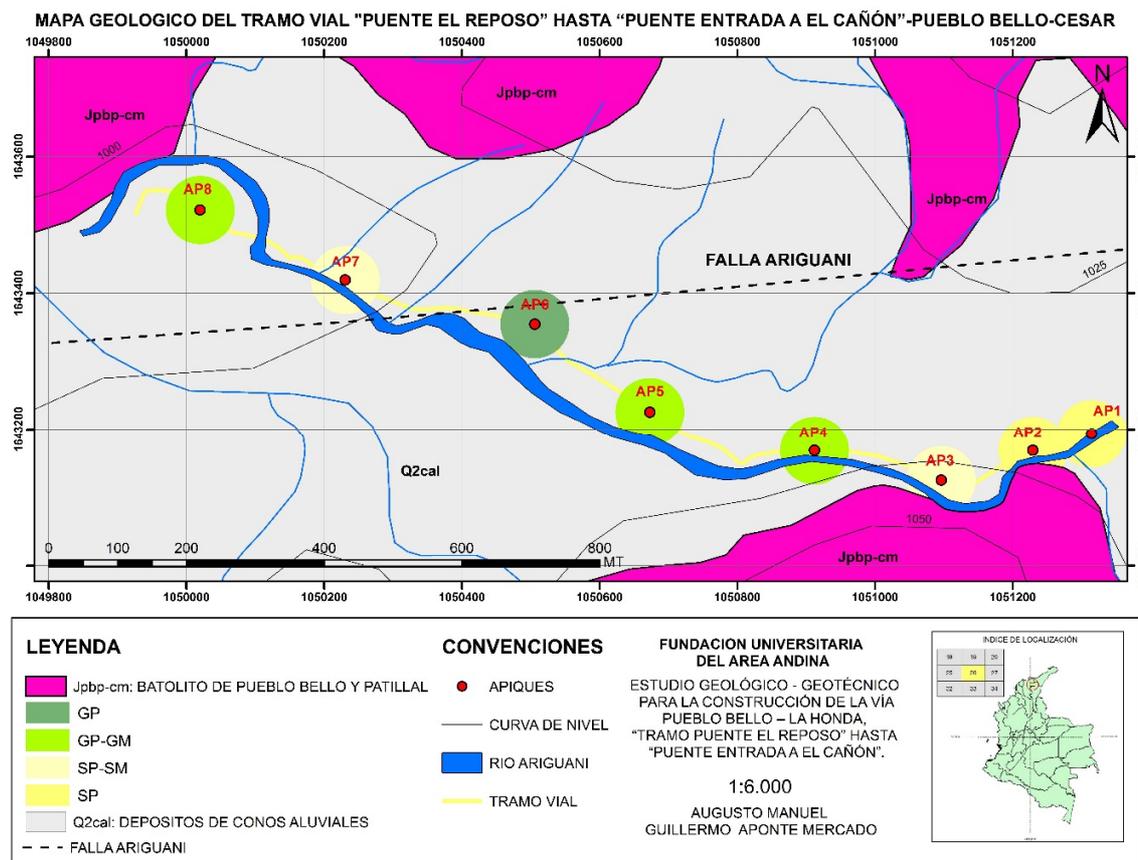
**Figura 13:** mapa geológico de Colombia – sección pueblo bello.



Fuente: SGC.

Como resultado de los análisis de suelos y localización geográfica de los apiques fue posible graficar la información obtenida del muestreo en un mapa el cual muestra los tipos de suelos y su respectiva ubicación en la vía.

**Figura 14:** mapa de los suelos encontrados en el tramo vial según apiques.

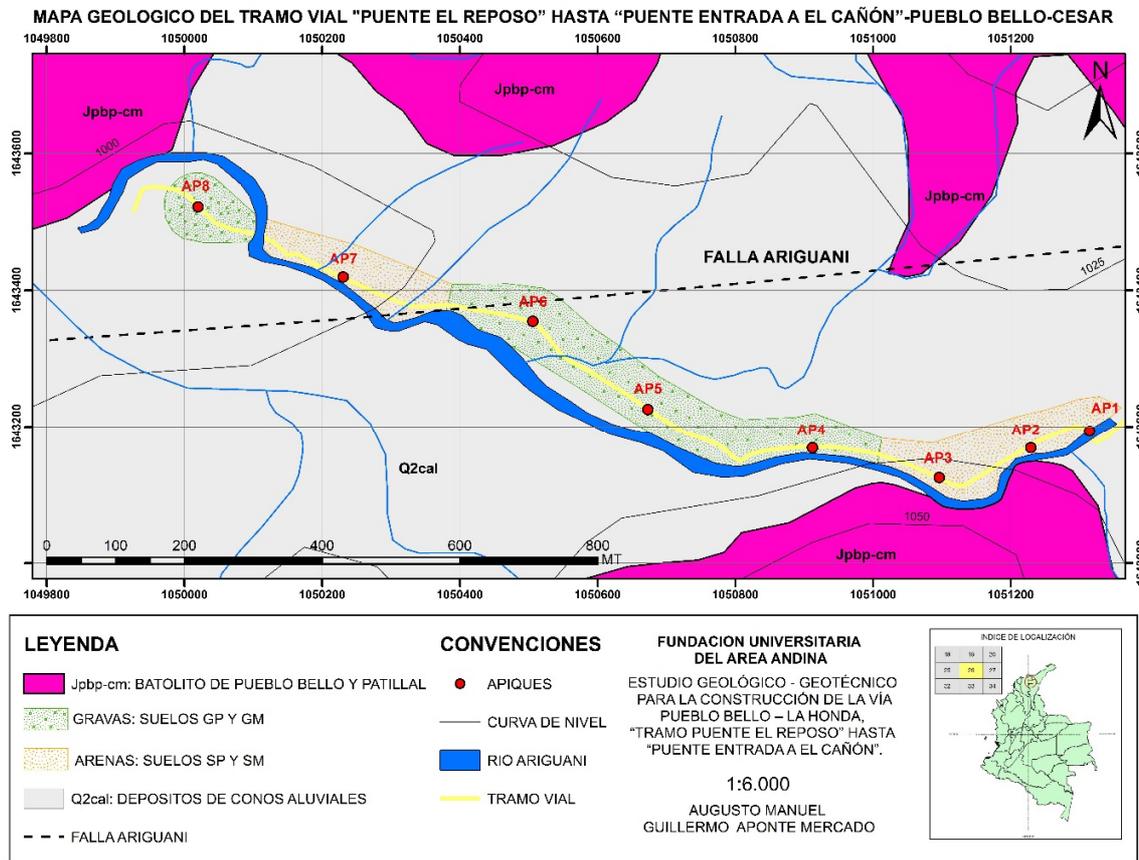


**Fuente:** el autor

A partir de los datos obtenidos en campo y la respectiva revisión bibliográfica se realizó un mapa geológico a escala 1:6000 el cual muestra los suelos cartografiados y las unidades de roca descritas e identificadas en el sector.

Teniendo en cuenta el mapa de la figura 14 se logró interpolar y agrupar los datos de cada apique para así lograr una pequeña zonificación geotécnica de la vía, la cual agrupa los suelos presentes en unidades geotécnicas representadas por los tipos básicos de suelo sean arenas, gravas o arcillas.

**Figura 15:** mapa geológico local



**Fuente:** el autor

En tramo vial esta demarcado por suelos granulares, las gravas GP y GM se ven representadas por un tono verde mientras que las arenas SP y SM por un color amarillo.

Teniendo en cuenta que el área de trabajo se encuentra localizada dentro de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, se describirán específicamente las unidades de roca dentro de la estratigrafía de la misma, tomando la información base del documento general de la Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Cesar.

Expresados desde lo más antiguo a lo más reciente la geología de la zona está conformada por:

#### 8.4.1 Rocas ígneas

- **Batolito de pueblo bello y Patillal: facies cuarzo monzonita (Jpbb-cm)**

La Facies Cuarzo Monzonita del batolito de pueblo bello y patillal corresponde a rocas ígneas intrusivas, de textura holocristalina, hipidiomórfica, grano medio a grueso, color gris claro, generalmente rosado; QAP ((15-30%) (30 -40%) (30-45%), índice de color (10-15%), los minerales máficos corresponden a biotita y anfíbol, el cuarzo generalmente se presenta en cristales anhedrales, la plagioclasa en cristales euhedrales y el anfíbol en cristales euhedrales a subhedrales, las rocas son cuarzo monzonitas, monzogranitos y algunos granitos; se reconocen enclaves máficos redondeados, subredondeados y elongados de 1 a 30 cm. También es común la presencia de diques félsicos y máficos, los diques félsicos son de textura fanerítica de grano fino a medio, con espesores de hasta 50 cm, geometría tabular, contactos netos e irregulares, corresponden a leucosienogranitos y ocasionalmente a riodacitas; los diques máficos son de textura afanítica.<sup>16</sup>

En el área de la obra Afloran rocas ígneas intrusivas, textura fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, de grano medio a grueso, color gris claro y rosado, compuesta por QAP (15–40-45), índice de color (10-15), los minerales máficos corresponden a biotita (6%) y anfíbol (4%); los cristales de feldespato son de grano grueso, especialmente los cristales de feldespato potásico, y los cristales de los minerales máficos son de grano medio. Con enclaves máficos finogranulares, distribuidos en fábricas anisotrópicas, con bordes netos, formas redondas y alargadas, color verde, el tamaño va desde 1 cm hasta 30 cm; también hay diques félsicos (leucosienogranitos) con contactos netos e irregulares. Las mejores exposiciones de esta unidad se encontraron en el Arroyo Molino y en el Río Ariguaní.<sup>12</sup>

#### 8.4.2 Depósitos cuaternarios

- **Aluviones recientes (Q-AL)**

Aluviones recientes son depósitos que se encuentran en los valles intramontañosos de los ríos mayores y que no tienen contacto directo con los sedimentos que conforman la planicie del Cesar. En su mayor parte corresponden a acumulaciones en áreas pequeñas y delgados Espesores que se han depositado en el fondo de

---

<sup>16</sup> INGEOMINAS. *geología de las planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33,34 Y 40. evolución geohistorica de la sierra nevada de santa marta. Bogotá. 2007.*

valles profundos de algunos ríos Quebradas, y en mesetas y sabanas donde de manera transitoria divagan y pierden energía Dichas corrientes.<sup>17</sup>

- **Abanicos y gravas (QG)**

Constituyen una franja de depósitos de frente de montaña depositados al sur del municipio de pueblo bello exactamente en los cauces de la quebrada carolina, la quebrada Peralonso y la quebrada Buenavista, están formados principalmente por gravas redondeadas a subredondeadas y bloques de hasta 1 metro de diámetro, derivadas de rocas como granulitas, neises, dioritas, tonalitas y gabros en matriz arenosa y por depósitos caóticos mal seleccionados producto de flujos súbitos de materiales por inestabilidad de taludes topográficos.<sup>18</sup>

- **Terrazas aluviales (QT)**

En el departamento estos depósitos están constituidos generalmente por capas delgadas de arenas líticas amarillas, grano grueso a medio, con estratificación cruzada en artesa y capas gruesas canaliformes de conglomerados clasto soportados, polimícticos, angulares a subredondeados, muy mal seleccionados, en capas de 1 a 20 cm de espesor. También varias de composición a arenitas conglomeráticas, con cuarzo (90%), feldespatos y líticos, pobremente seleccionadas, color blanco amarillento, al tope de la secuencia se observa conglomerado polimíctico, matriz soportado y mal seleccionado.<sup>14</sup>

- **Depositos de cono aluviales ( Q2CAL)**

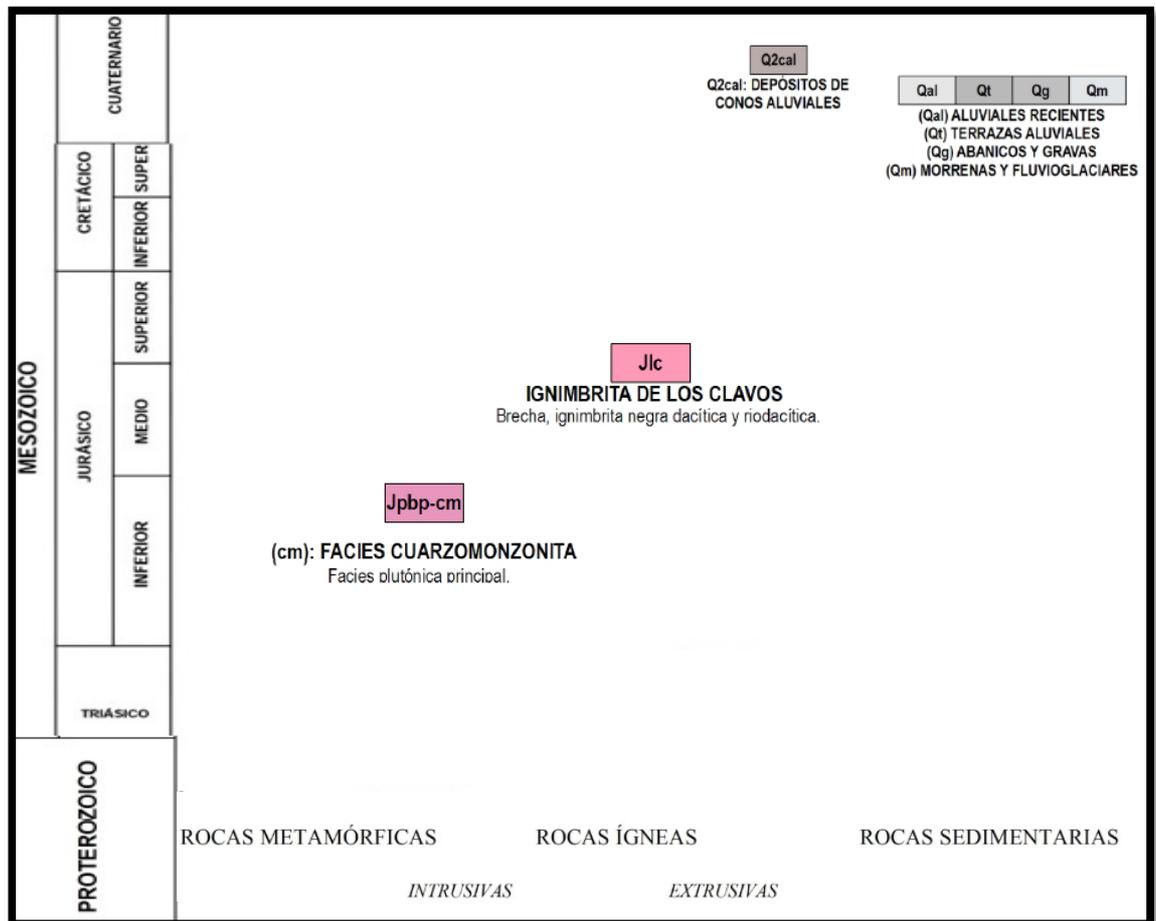
En la Sierra Nevada de Santa Marta, los constituyentes son bloques, gravas, cantos, arenas, Limos y, en ocasiones, arcillas. Proviene de rocas metamórficas, ígneas (intrusivas y Volcánicas) y, en menor proporción, sedimentarias (limolitas y calizas). Sus componentes Son sub-redondeados a redondeados y a veces angulares, cuando no han sido transportados Por grandes distancias y que son más bien aportes súbitos de deslizamientos locales. A partir de los análisis de laboratorio se realizará una descripción mejor detallada de estos depósitos y sus características geotécnicas.

---

<sup>17</sup> ALFONSO ARIAS Y CARLOS JULIO MORALES. *mapa geológico generalizado del departamento del cesar memoria explicativa*. Bogotá. 1999.

<sup>18</sup> INGEOMINAS. *geología de las planchas 11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,33,34 Y 40. evolución geo histórica de la sierra nevada de santa marta*. Bogotá. 2007.

### 8.4.3 Columna estratigráfica generalizada



Fuente: SGC.

## 8.5 SISMICIDAD

**Tabla 3:** Parámetros de Consulta SGC.

Parámetros de Consulta	
Fecha Inicial	01/06/1993
Fecha Final	21/07/2016
Departamento	CESAR
Municipio	PUEBLO BELLO
Total Registros	87

Fuente: SGC.

De acuerdo a los criterios de búsqueda la zona del presente estudio que es el Municipio de Pueblo Bello - Departamento del Cesar-Colombia y teniendo en cuenta los registros de la red sismológica nacional de Colombia se detallan (87) eventos que se han registrado desde el 1 de junio de 1993 hasta el 21 de julio de 2016, estos se relacionan en la tabla que a continuación se describe:

Fecha aaaa/mm/dd	Hora UTC hh:mm:ss	Magnitud MI	Longitud Grados	Latitud Grados	DPTO	Municipio	Profundidad Km
03/07/2014	11:01:17	1.4	-73.703	10.614	CESAR	PUEBLO BELLO	19.9
17/07/2014	21:55:00	2.6	-73.564	10.396	CESAR	PUEBLO BELLO	86
22/08/2014	13:37:59	1.9	-73.717	10.527	CESAR	PUEBLO BELLO	4.5
03/09/2014	21:44:21	1.7	-73.708	10.621	CESAR	PUEBLO BELLO	57.2
20/09/2014	02:02:14	1.8	-73.589	10.749	CESAR	PUEBLO BELLO	2.9
29/09/2014	00:49:22	1.8	-73.574	10.558	CESAR	PUEBLO BELLO	14.6
03/10/2014	05:56:45	2	-73.494	10.585	CESAR	PUEBLO BELLO	20.6
04/10/2014	05:56:04	1.3	-73.489	10.594	CESAR	PUEBLO BELLO	9.1
13/10/2014	08:10:36	2.2	-73.653	10.408	CESAR	PUEBLO BELLO	76.5
24/10/2014	06:19:00	1.4	-73.491	10.58	CESAR	PUEBLO BELLO	7.6
29/10/2014	20:32:05	1.9	-73.565	10.599	CESAR	PUEBLO BELLO	4
30/10/2014	01:31:52	1.9	-73.53	10.676	CESAR	PUEBLO BELLO	3.7

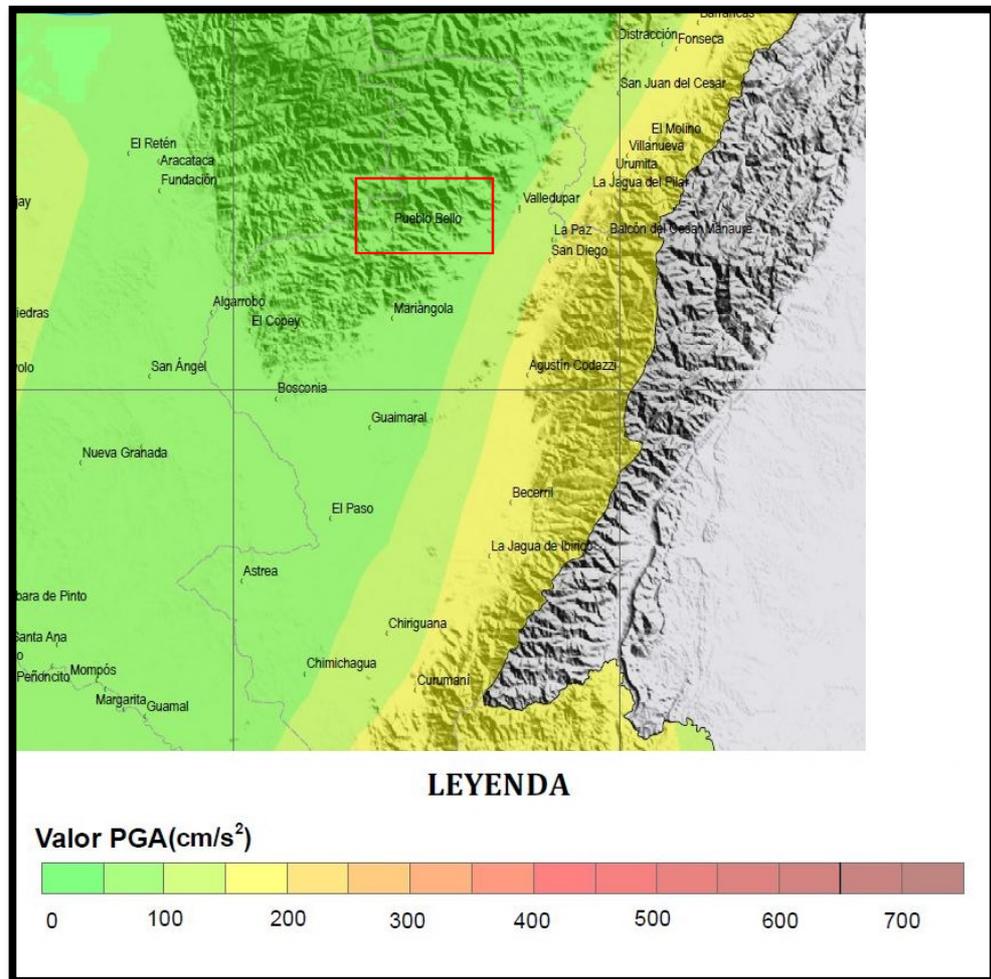
08/11/2014	21:39:13	1.6	-73.569	10.412	CESAR	PUEBLO BELLO	79.8
12/11/2014	03:30:01	1.2	-73.534	10.445	CESAR	PUEBLO BELLO	87.1
12/11/2014	05:09:59	1.6	-73.582	10.594	CESAR	PUEBLO BELLO	74.9
14/12/2014	03:14:21	2.1	-73.509	10.673	CESAR	PUEBLO BELLO	29.4
06/01/2015	05:02:28	1.3	-73.659	10.807	CESAR	PUEBLO BELLO	18.3
06/01/2015	07:18:49	1.3	-73.779	10.557	CESAR	PUEBLO BELLO	61.6
08/01/2015	09:23:53	1.3	-73.697	10.767	CESAR	PUEBLO BELLO	0
20/01/2015	03:51:11	2.7	-73.662	10.904	CESAR	PUEBLO BELLO	52
01/02/2015	04:53:10	1.8	-73.485	10.651	CESAR	PUEBLO BELLO	26
08/02/2015	06:41:57	1.3	-73.492	10.792	CESAR	PUEBLO BELLO	65.7
07/03/2015	09:06:09	1.8	-73.487	10.592	CESAR	PUEBLO BELLO	12.1
23/03/2015	10:11:37	2.2	-73.434	10.529	CESAR	PUEBLO BELLO	85.6
28/03/2015	03:27:01	1.8	-73.433	10.216	CESAR	PUEBLO BELLO	4.1
06/04/2015	16:52:00	3.3	-73.552	10.719	CESAR	PUEBLO BELLO	62.6
07/04/2015	05:32:52	2.6	-73.448	10.511	CESAR	PUEBLO BELLO	80
26/04/2015	06:43:56	1.8	-73.674	10.334	CESAR	PUEBLO BELLO	12.8
03/05/2015	07:00:35	2.5	-73.465	10.548	CESAR	PUEBLO BELLO	12.2
10/05/2015	09:27:19	2.3	-73.516	10.585	CESAR	PUEBLO BELLO	4
11/05/2015	13:10:07	1.9	-73.417	10.413	CESAR	PUEBLO BELLO	81.7
16/05/2015	07:40:45	1.7	-73.647	10.792	CESAR	PUEBLO BELLO	20
17/05/2015	03:58:25	1.6	-73.654	10.602	CESAR	PUEBLO BELLO	73.3
21/05/2015	10:16:01	2	-73.719	10.257	CESAR	PUEBLO BELLO	56.8
23/05/2015	15:40:42	2.9	-73.484	10.307	CESAR	PUEBLO BELLO	92.8
24/05/2015	01:59:14	2.4	-73.707	10.826	CESAR	PUEBLO BELLO	24.1
30/05/2015	11:21:30	2.9	-73.692	10.2	CESAR	PUEBLO BELLO	80
04/06/2015	06:18:27	2.6	-73.676	10.284	CESAR	PUEBLO BELLO	44.2
10/07/2015	09:31:39	2	-73.676	10.246	CESAR	PUEBLO BELLO	85.2
06/08/2015	10:28:53	2.1	-73.728	10.369	CESAR	PUEBLO BELLO	46.4

07/08/2015	11:11:46	2.3	-73.61	10.833	CESAR	PUEBLO BELLO	66.3
11/08/2015	23:03:59	1.9	-73.462	10.309	CESAR	PUEBLO BELLO	95.2
13/08/2015	13:51:51	3	-73.786	10.688	CESAR	PUEBLO BELLO	53.2
21/08/2015	08:50:40	1.9	-73.537	10.621	CESAR	PUEBLO BELLO	7.9
24/08/2015	03:26:05	1.7	-73.503	10.356	CESAR	PUEBLO BELLO	85.7
27/08/2015	02:45:37	1.3	-73.421	10.345	CESAR	PUEBLO BELLO	85.8
04/09/2015	10:12:16	1.6	-73.531	10.649	CESAR	PUEBLO BELLO	4
15/09/2015	02:55:43	2.6	-73.522	10.502	CESAR	PUEBLO BELLO	80
19/09/2015	00:42:49	2.3	-73.447	10.35	CESAR	PUEBLO BELLO	27.9
20/09/2015	00:01:23	2.8	-73.456	10.547	CESAR	PUEBLO BELLO	5.6
20/09/2015	13:29:42	1.7	-73.582	10.613	CESAR	PUEBLO BELLO	31.1
29/09/2015	16:32:15	2.9	-73.684	10.65	CESAR	PUEBLO BELLO	61.6
02/10/2015	05:36:07	2	-73.521	10.596	CESAR	PUEBLO BELLO	1.8
09/10/2015	03:44:36	1.9	-73.547	10.172	CESAR	PUEBLO BELLO	48.4
10/10/2015	10:40:11	1.8	-73.617	10.691	CESAR	PUEBLO BELLO	64.3
20/10/2015	03:10:32	1.7	-73.754	10.725	CESAR	PUEBLO BELLO	52.4
26/10/2015	22:29:01	1.5	-73.576	10.216	CESAR	PUEBLO BELLO	101.7
23/11/2015	08:39:06	1.5	-73.796	10.675	CESAR	PUEBLO BELLO	32
23/11/2015	22:41:33	2.1	-73.462	10.269	CESAR	PUEBLO BELLO	101.1
09/12/2015	01:09:47	2.8	-73.537	10.599	CESAR	PUEBLO BELLO	4
09/12/2015	14:29:25	3	-73.496	10.743	CESAR	PUEBLO BELLO	77.4
25/12/2015	03:48:56	1.3	-73.445	10.377	CESAR	PUEBLO BELLO	80.2
27/12/2015	21:22:59	1.9	-73.683	10.522	CESAR	PUEBLO BELLO	72.7
28/12/2015	02:39:41	2.2	-73.472	10.73	CESAR	PUEBLO BELLO	78
01/01/2016	03:49:44	1.2	-73.53	10.406	CESAR	PUEBLO BELLO	84.1
02/01/2016	15:04:30	2.2	-73.467	10.534	CESAR	PUEBLO BELLO	26.5
09/01/2016	21:40:49	2.1	-73.538	10.561	CESAR	PUEBLO BELLO	17.9
13/01/2016	01:51:26	1.6	-73.687	10.866	CESAR	PUEBLO BELLO	55.2

21/01/2016	18:49:52	2.3	-73.599	10.878	CESAR	PUEBLO BELLO	55.4
26/01/2016	15:08:08	1.7	-73.682	10.659	CESAR	PUEBLO BELLO	66.7
27/01/2016	04:04:29	1.7	-73.53	10.596	CESAR	PUEBLO BELLO	4
05/02/2016	05:09:07	1.4	-73.528	10.563	CESAR	PUEBLO BELLO	16.2
05/02/2016	10:58:43	1.8	-73.587	10.608	CESAR	PUEBLO BELLO	75.4
10/02/2016	08:51:32	2.3	-73.409	10.339	CESAR	PUEBLO BELLO	95.3
14/02/2016	08:30:14	1.6	-73.53	10.615	CESAR	PUEBLO BELLO	74.6
20/03/2016	18:44:51	1.7	-73.486	10.55	CESAR	PUEBLO BELLO	70.5
24/03/2016	06:27:35	1.9	-73.489	10.541	CESAR	PUEBLO BELLO	3.5
06/04/2016	13:37:46	2	-73.501	10.694	CESAR	PUEBLO BELLO	27.7
23/04/2016	12:01:54	2.8	-73.522	10.591	CESAR	PUEBLO BELLO	0
03/05/2016	06:56:48	1	-73.647	10.737	CESAR	PUEBLO BELLO	27.4
21/05/2016	03:21:08	2.5	-73.505	10.652	CESAR	PUEBLO BELLO	0
26/05/2016	01:52:01	1.8	-73.445	10.589	CESAR	PUEBLO BELLO	91.1
02/06/2016	07:08:58	1.2	-73.689	10.692	CESAR	PUEBLO BELLO	2.8
04/07/2016	04:00:52	1.5	-73.647	10.775	CESAR	PUEBLO BELLO	32
04/07/2016	08:13:05	1.6	-73.513	10.636	CESAR	PUEBLO BELLO	83.7
10/07/2016	09:08:50	2.1	-73.712	10.762	CESAR	PUEBLO BELLO	20.5
18/07/2016	20:24:29	1.9	-73.746	10.495	CESAR	PUEBLO BELLO	64.2

Fuente: SGC.

**Figura 16:** zonificación sísmica de Colombia.



**Fuente:** SGC.

El mapa de amenaza sísmica representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El movimiento del terreno se calcula en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA), y se estima para probabilidades de 2%, 10% o 50% de ser sobrepasado en un tiempo de 50 años, tiempo estimado de vida útil de una construcción corriente. Estas probabilidades se asocian con la frecuencia de ocurrencia excepcional (periodo de retorno de 2475 años), frecuentes (periodo de retorno de 475 años) o muy frecuentes (periodos de retorno de 75 años).<sup>19</sup>

<sup>19</sup> SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Zonificación sísmica de Colombia.

**Departamento del Cesar**

Municipio	Código Municipio	A <sub>a</sub>	A <sub>v</sub>	Zona de Amenaza Sísmica	A <sub>e</sub>	A <sub>d</sub>
<b>Valledupar</b>	20001	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Aguachica	20011	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Agustín Codazzi	20013	0.10	0.10	Baja	0.07	0.04
Astréa	20032	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Becerril	20045	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Bosconia	20060	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Chimichagua	20175	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Chiriguaná	20178	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Curumani	20228	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
El Copey	20238	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
El Paso	20250	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Gamarra	20295	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
González	20310	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Gloria	20383	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Jagua de Ibirico	20400	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
La Paz	20621	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Manauare	20443	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Pailitas	20517	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
Pelaya	20550	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
<b>Pueblo Bello</b>	<b>20570</b>	<b>0.10</b>	<b>0.10</b>	<b>Baja</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>
Río de Oro	20614	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Alberto	20710	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Diego	20750	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
San Martín	20770	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Tamalameque	20787	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04

**Fuente:** Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10

El casco urbano del municipio de pueblo bello está ubicado en una zona de amenaza sísmica baja, según la norma NSR-10. El estudio mencionado anteriormente presenta un mapa de amenaza sísmica en términos de aceleraciones efectivas, horizontal A<sub>a</sub> y vertical A<sub>d</sub>; para el municipio de pueblo bello las aceleraciones son: A<sub>a</sub> = 0.10 G y A<sub>d</sub> = 0.03 G, valores con los cuales se debe realizar el diseño de construcciones sismo resistentes en el municipio.

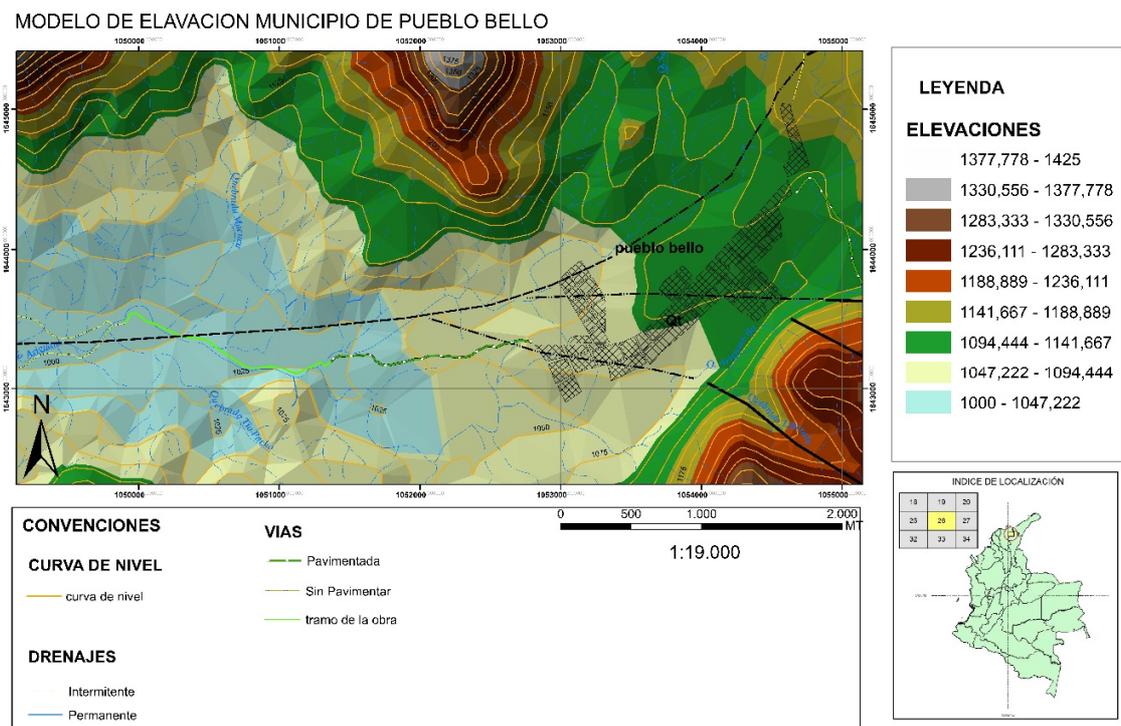
Teniendo en cuenta la el Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10 la zona en que se proyecta la ejecución de la construcción de la vía posee una zona de actividad sísmica BAJA.

## 8.6 RELIEVE Y TOPOGRAFIA

### 8.6.1 Modelo de elevacion de terreno

Se conoce como modelo de elevacion digital o (DEM) a una visualizacion y representacion matematica de la interpolacion de las alturas obtenidas a partir de datos satelitales o de topografias de un terreno con respecto al nivel del mar, mediante estos modelos de la superficie terrestre se logran obtener datos elementales, a la hora de realizar analisis como: cartografias geologicas, cartografias basicas, trazados de perfiles topograficos, ingenieria y diseño de estructuras, agricultura de precision y gestión forestal, se convierten en una herramienta fundamental.

Figura 17: modelo de elevación digital (DEM).



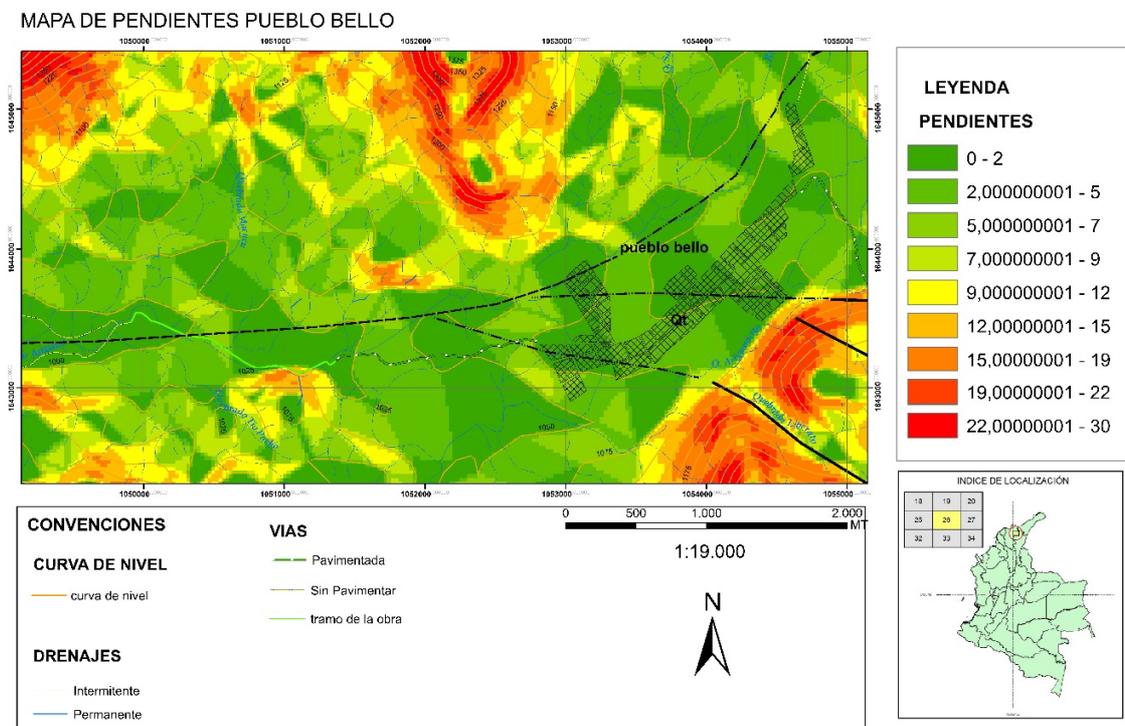
Fuente: IGAC-NASA

A partir de los datos modelamos podemos observar que las alturas en el area de a carretera corresponden al intervalo de 1000 msnm y 1047.222 msnm, el cual se aprecia identificado con el tono azul claro.

### 8.6.2 Mapa de pendientes de terreno

Se le conoce como mapa de pendientes topográficas a un mapa temático que representa los diferentes grados de pendiente topográficas de un territorio, la finalidad de este tipo de mapa es representar graficamente mediante colores areas con pendiente semejantes a travez de intervalos de semejanza, son creados a partir de la interpolacion de alturas y la agrupaciones de curvas de nivel pertenecientes a un territorio especifico. La pendiente topográfica es considerada como inclinación de una superficie con respecto a la horizontal.

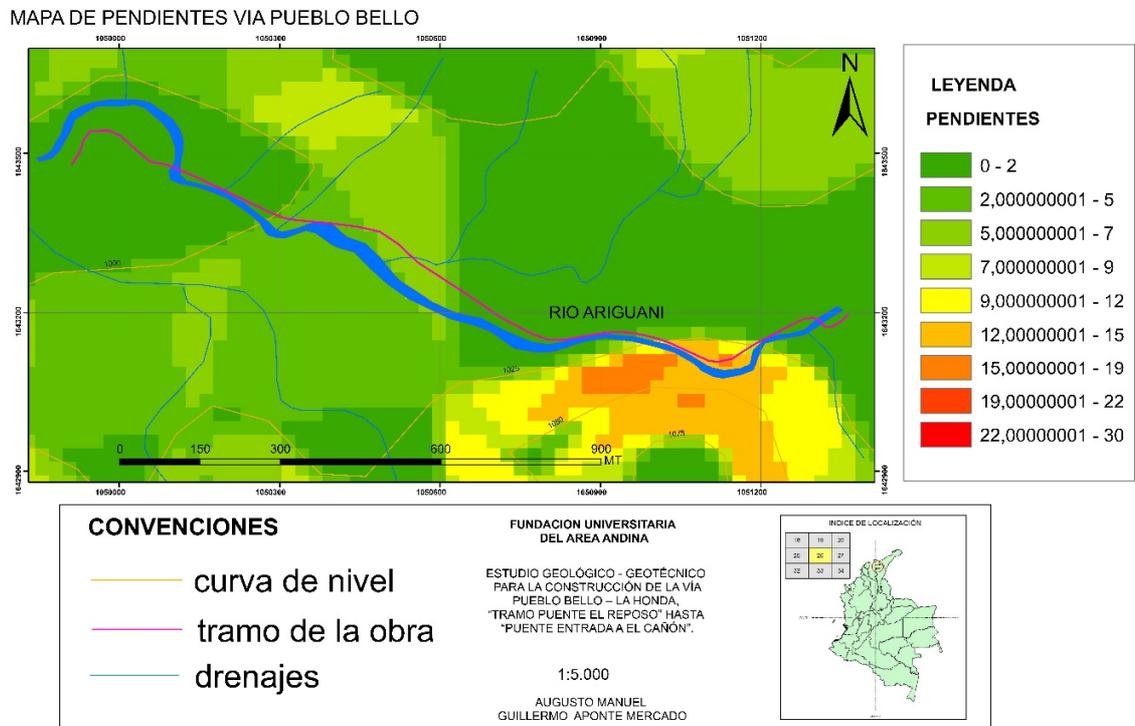
**Figura 18:** mapa de pendientes topográficas.



**Fuente:** El Autor.

A partir del mapa de pendientes obtenido se realizó un zoom a la vía en el cual nos muestra un sector que va de la abscisa 0 +100 hasta 0 + 600 aproximadamente donde la vía está en las faldas de un cerro el cual presenta pendientes entre 10 y 22%.

**Figura 19:** mapa de pendientes topográficas zoom a la vía



**Fuente:** El Autor.

Esta vía está construida sobre una terraza aluvial con pendientes suaves a lo largo del tramo esto fue verificado en la inspección en campo como se muestra en la (figura 18 – figura 19).

**Figura 20:** fotografía 1 del tramo vial.



**Figura 21:** fotografía 2 del tramo vial.



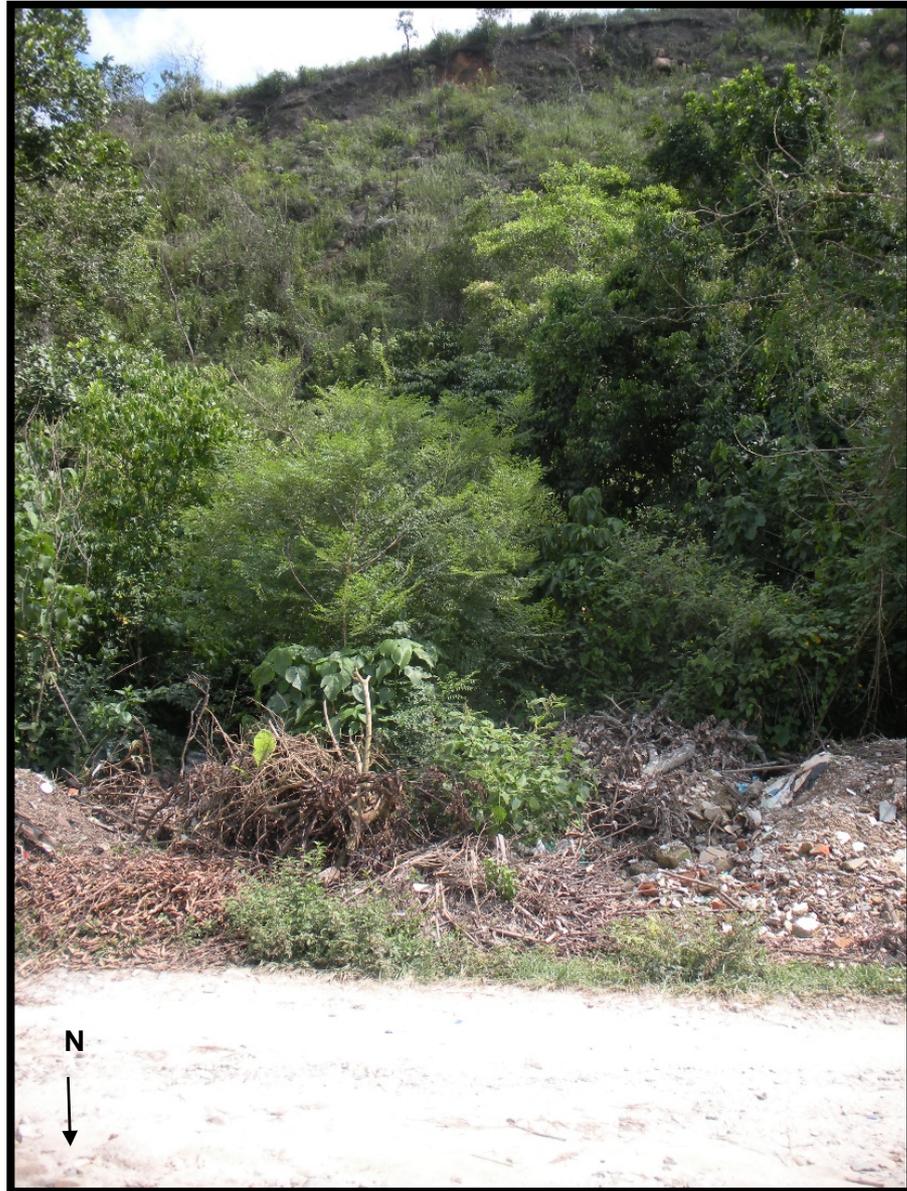
En la figura 14 y 15 se aprecia al fondo el río Ariguaní, y la posición de la vía con respecto a este.

**Figura 22:** fotografía 3 del tramo vial.



Teniendo en cuenta los mapas de pendientes se inspecciono el tramo en el abcisado de 0 +100 hasta 0 + 600 aproximadamente sitio donde se reflejan pendientes altas pendientes al margen izquierdo o sur de la carretera limitando con el rio ariguani. Como se muestra en la "figura 23".

**Figura 23:** fotografía del tramo con pendientes elevadas de la vía.



Este talud natural se encuentra dispuesto sobre la margen izquierda del río Ariguaní, mientras que el tramo vial se encuentra sobre el margen derecha del mismo, en la fotografía se aprecia una distancia horizontal considerable entre la vía y el talud aproximadamente unos 45-55 metros, puede decirse que el río sirve como barrera natural para los fenómenos de remoción en masa que se puedan presentar en el área.

**Figura 24:** características del talud.

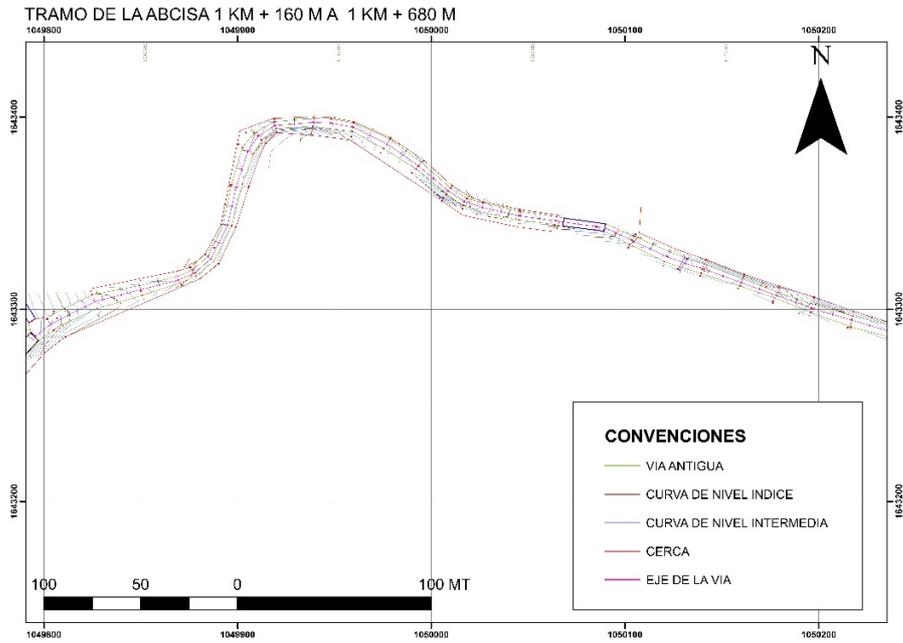


El talud presente tiene unos 30-35 mts de altura con una pendiente muy elevada, puede presentar caída de rocas de tamaños variables gracias a su elevada pendiente e interperismo de la roca.

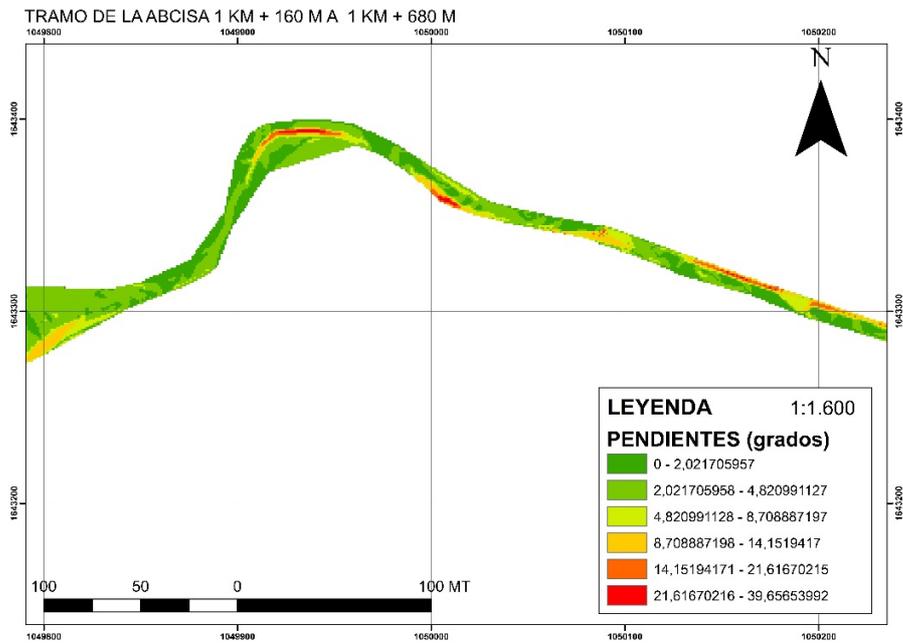
A partir de los datos de los datos de topografía proporcionados por el solicitante del estudio se realizo un mapa de pendientes de la carretera, en donde el tramo fue dividido en 4 secciones con el fin de obtener el maximo detalle posible en dicho mapa. A continuación se presenta la topografía del area acompañada del respectivo mapa de pendientes obtenido a partir de las cotas del terreno de cimentación.

### 8.6.3 Topografía de la vía

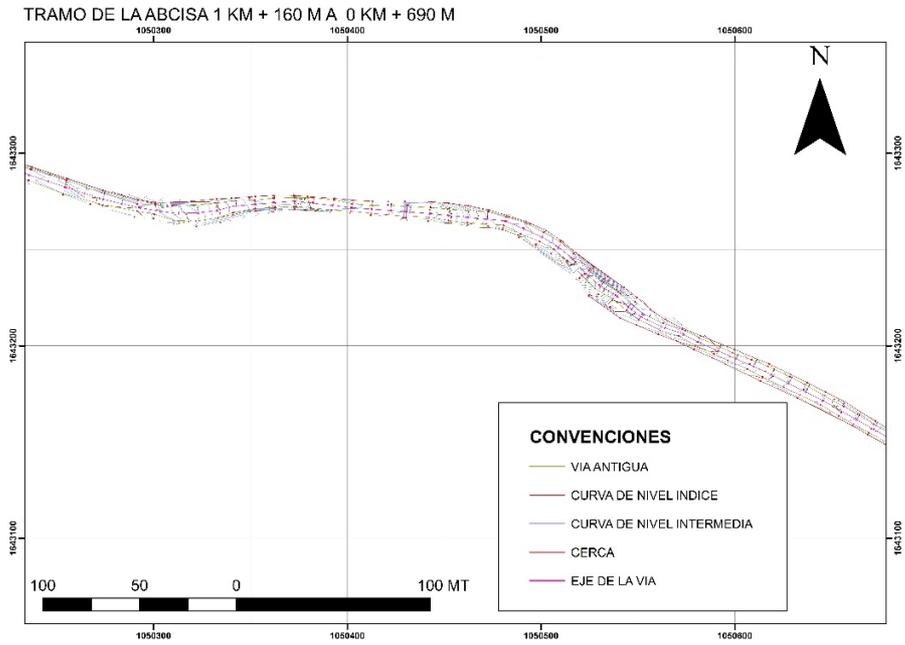
**Figura 25:** topografía abscisa 1 km +160 a 1 km +680



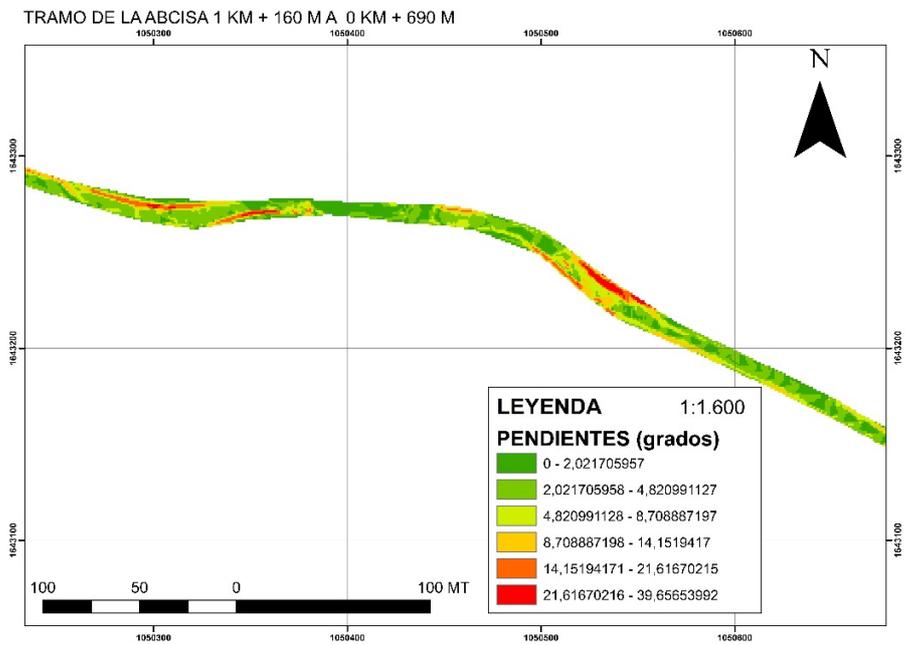
**Figura 26:** pendientes 1 km +160 a 1 km +680



**Figura 27:** topografía abscisa 0 km + 690 a 1 km + 160

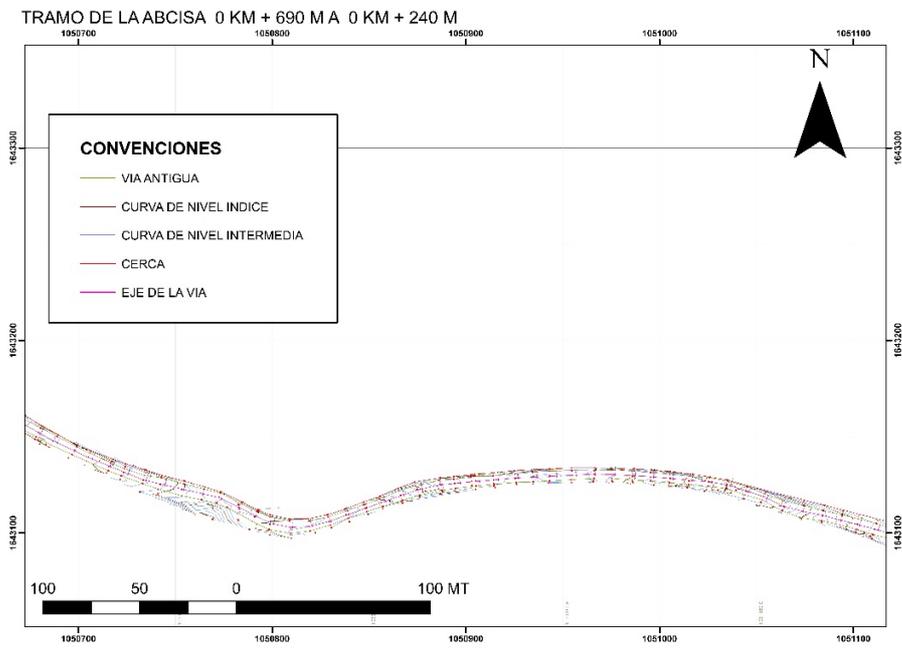


**Figura 28:** pendientes abscisa 0 km + 690 a 1 km + 160

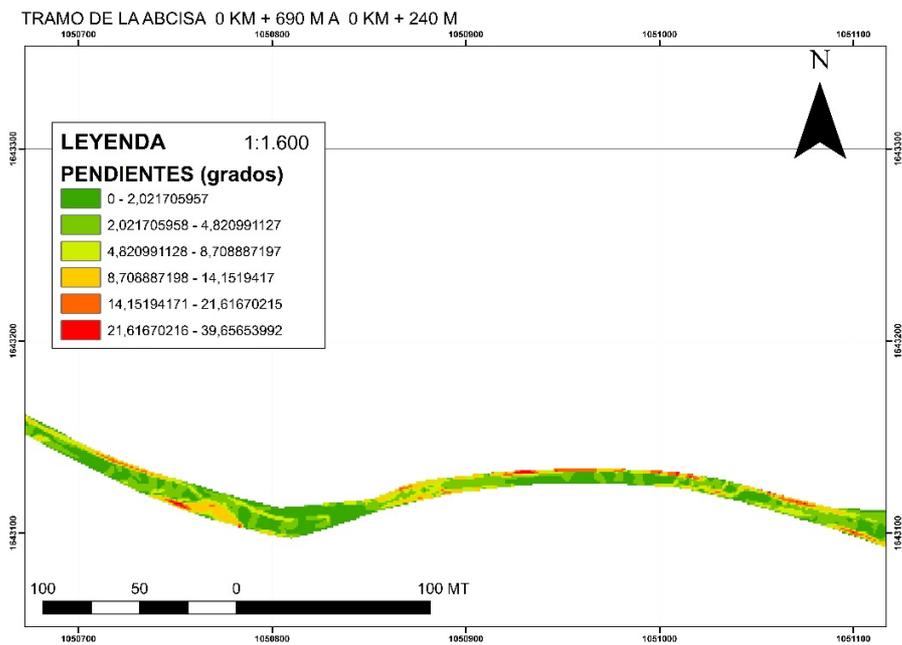


Fuente: El Autor.

**Figura 29:** topografía abscisa 0 km + 130 a 0 km + 640

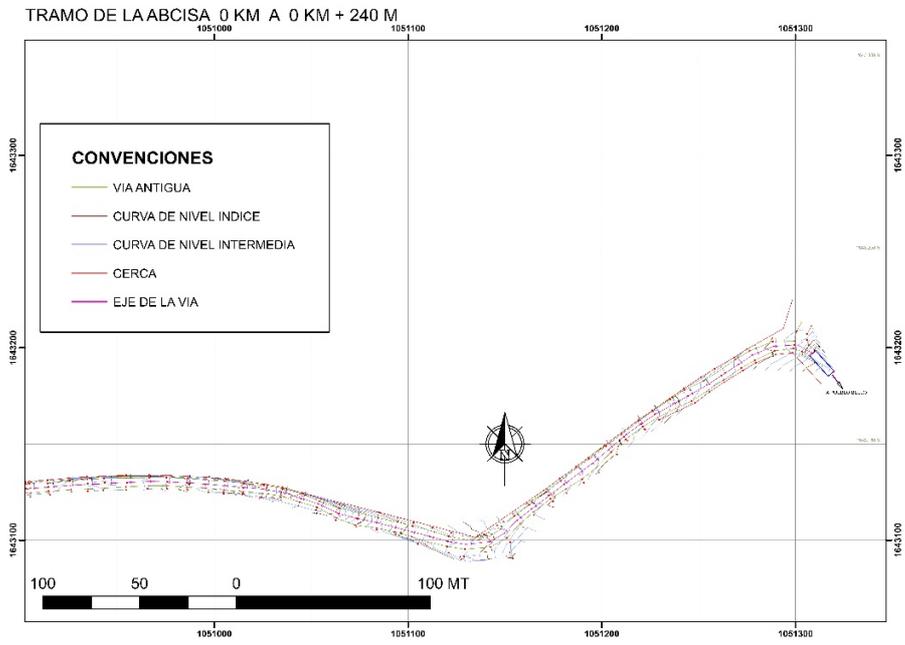


**Figura 30:** pendientes abscisa 0 km + 240 a 0 km + 690

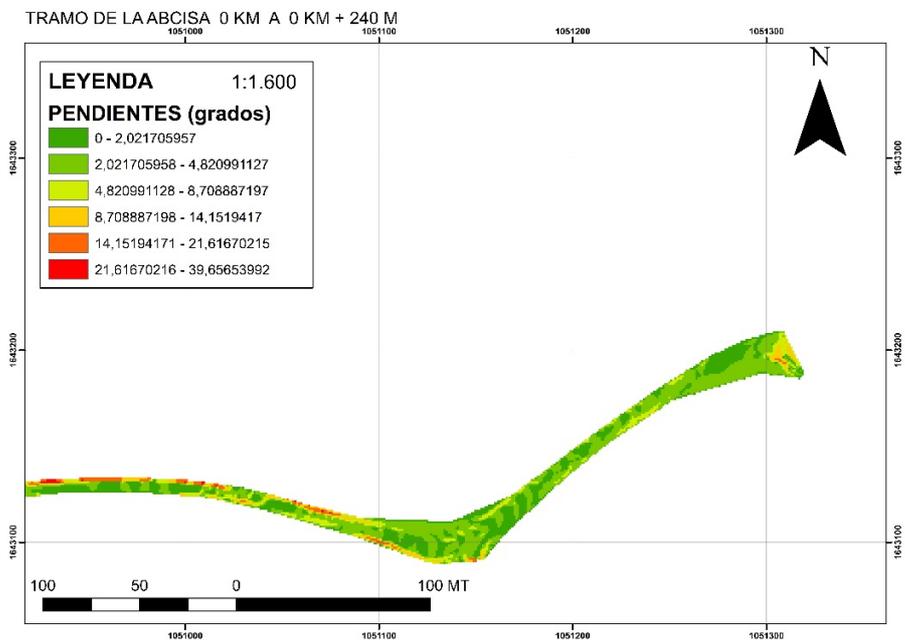


Fuente: El Autor.

**Figura 31: topografía abscisa 0 km a 0 km + 240**



**Figura 32: pendientes abscisa 0 km a 0 km + 240**



Fuente: El Autor.

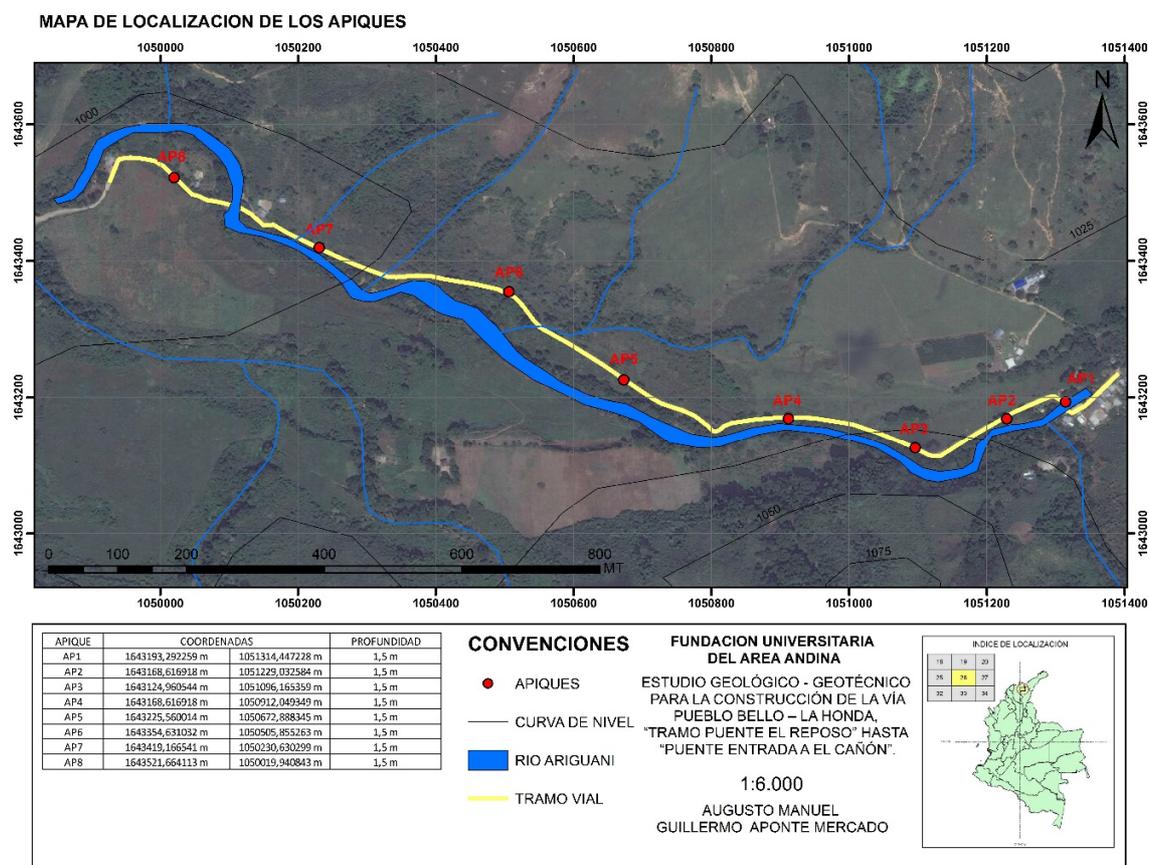
## 9 DATOS GRANULOMETRICOS

La información aquí plasmada fue obtenida a partir de la fase de muestreo y la realización de los respectivos ensayos en el laboratorio.

**Tabla 4:** Georreferencia de los apiques y CBR.

APIQUE	COORDENADAS		PROFUNDIDAD
AP1	1643193,292259 m	1051314,447228 m	1,5 m
AP2	1643168,616918 m	1051229,032584 m	1,5 m
AP3	1643124,960544 m	1051096,165359 m	1,5 m
AP4	1643168,616918 m	1050912,049349 m	1,5 m
AP5	1643225,560014 m	1050672,888345 m	1,5 m
AP6	1643354,631032 m	1050505,855263 m	1,5 m
AP7	1643419,166541 m	1050230,630299 m	1,5 m
AP8	1643521,664113 m	1050019,940843 m	1,5 m

**Figura 33:** Localización de los apiques



## 9.1 APIQUE NUMERO 1 – MUESTRA 1

Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 1 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

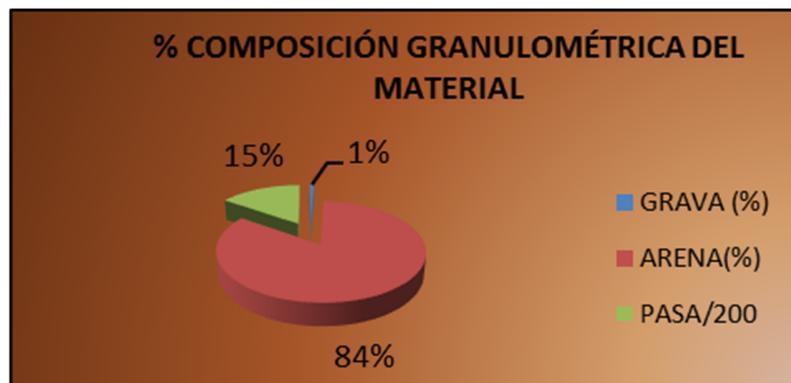
**Tabla 5:** granulometría AP1-M1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 1156,4 g		P <sub>2</sub> = 1167,4	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	0	0,0	100,0
1 "	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	8,6	0,7	99,3
No. 10	136,9	11,8	87,4
No. 40	519,4	44,9	42,5
No. 200	315,3	27,3	15,2
FONDO :	176,2	15,2	0,0

A partir de la granulometría del AP1-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

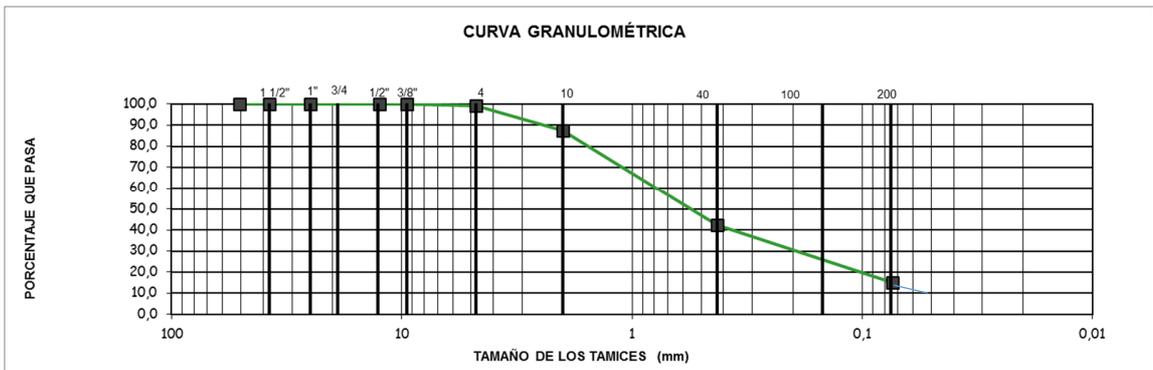
**Grafica 3:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1.

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200	HUMEDAD NATURAL (%)
0,7	84,0	15,2	0,9



A partir de la granulometría del AP1-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica :

**Grafica 4:** curva granulométrica del AP1-M1.



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP1-M1, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 6:** cálculo del D10 AP1-M1, método grafico

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO
0,06

**Tabla 7:** interpolación del D30 del AP1-M1

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	42,5
0,261575092	RESULTADO D30
0,074	15,2

**Tabla 8:** interpolación del D60 dl AP1-M1

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	87,4
1,035812918	RESULTADO D60
0,42	42,5

**Tabla 9:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	17,26333333
<b>Cz=</b>	1,100944982

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $Cu > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > Cc > 1$ ).

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	<b>A-1-b</b>
USC	<b>SM</b>

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.

## 9.2 APIQUE NUEMERO 1- MUESTRA 2

Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 1 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

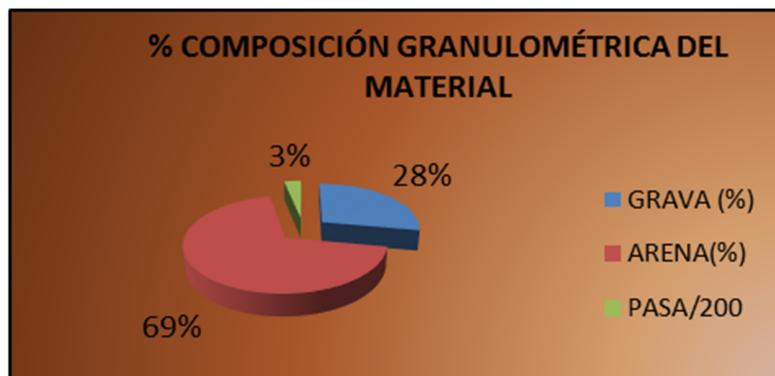
**Tabla 10:** granulometría AP1-M2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 1536,0 g		P <sub>2</sub> = 1564,6	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	133,7	8,7	91,3
1 "	115,6	7,5	83,8
3/4"	30,2	2,0	81,8
1/2"	80,5	5,2	76,6
3/8"	22,4	1,5	75,1
No.4	46,2	3,0	72,1
No. 10	203,8	13,3	58,8
No. 40	712,5	46,4	12,4
No. 200	141,3	9,2	3,2
FONDO :	49,8	3,2	0,0

A partir de la granulometría del AP1-M2, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

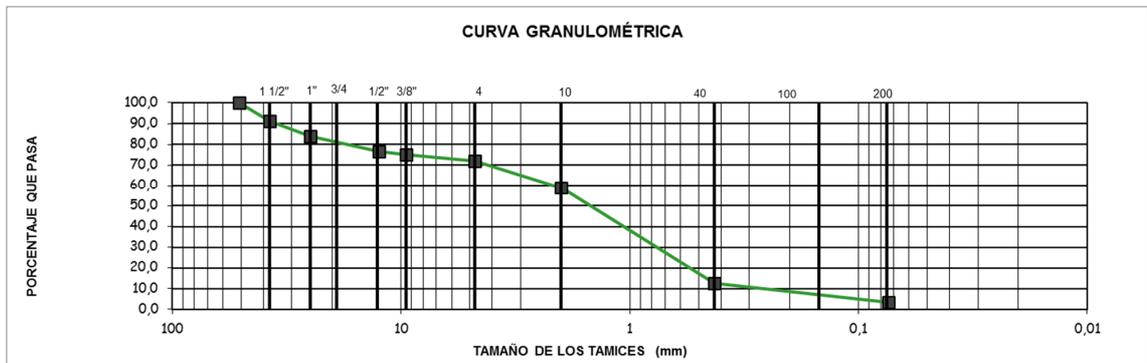
**Grafica 5:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M2.

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200	HUMEDAD NATURAL (%)
27,9	68,9	3,2	1,8



A partir de la granulometría del AP1-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica :

**Grafica 6:** curva granulométrica del AP1-M2.



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP1-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 11:** interpolación del D10 del AP1-M2

CALCULO DEL D10	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	12
0,32973913	RESULTADO D10
0,074	3,2

**Tabla 12:** interpolación del D30 del AP1-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	58,8
1,019310345	RESULTADO D30
0,42	12,4

**Tabla 13:** interpolación del D60 del AP1-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
4,76	72,1
2,249022556	RESULTADO D60
2	58,8

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 14:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	6,82061166
<b>Cz=</b>	1,40103364

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

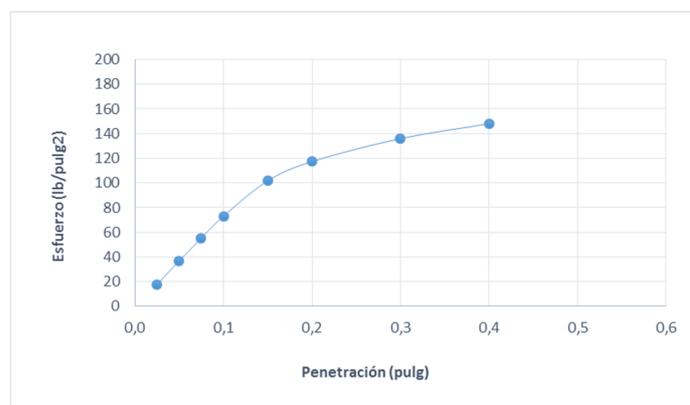
<b>CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL</b>	
AASHTO	<b>A-1-b</b>
USC	<b>SP</b>

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SP Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojo los siguientes resultados:

**Tabla 15:** resultado del CBR 1 sobre muestra inalterada –seco.

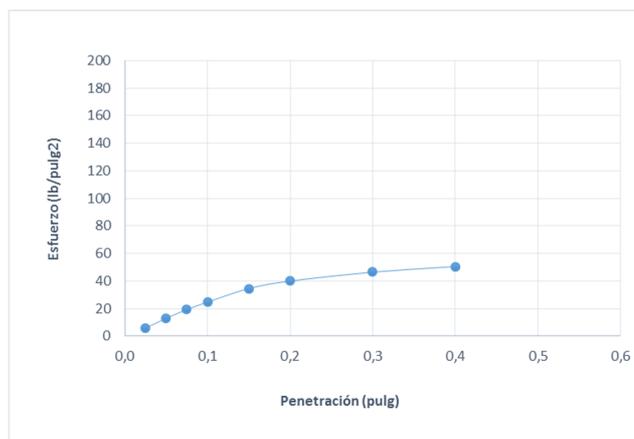
Penetración (pulgadas)	Tiempo	Lectura dial	Esf. Lb/pg2
0,025	30 seg	2	17,7
0,050	1 min	4	36,9
0,075	1 1/2 min	5	55,4
0,100	2 min	6	73,1
0,150	3 min	9	101,7
0,200	4 min	10	117,4
0,300	6 min	11	135,9
0,400	8 min	13	148,0
0,500	10 min		7,31
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>			<b>7,82</b>
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>			



**Tabla 16:** resultado del CBR 1 sobre muestra inalterada –sumergido

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	5,8
4	13,0
5	19,3
6	24,7
9	34,5
10	40,0
11	46,5
13	50,6
<b>2,47</b>	
<b>2,67</b>	



### 9.3 APIQUE NUEMERO 2-MUESTRA 1

Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 2 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

**Tabla 17:** granulometría AP2-M1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
P <sub>1</sub> = 1225,5 g			P <sub>2</sub> = 1239,1	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)	
2"	0	0,0	100,0	
1 1/2"	0	0,0	100,0	
1 "	0,0	0,0	100,0	
3/4"	0,0	0,0	100,0	
1/2"	0,0	0,0	100,0	
3/8"	0,0	0,0	100,0	
No.4	0,0	0,0	100,0	
No. 10	169,3	13,8	86,2	
No. 40	508,1	41,5	44,7	
No. 200	411,6	33,6	11,1	
FONDO :	136,5	11,1	0,0	

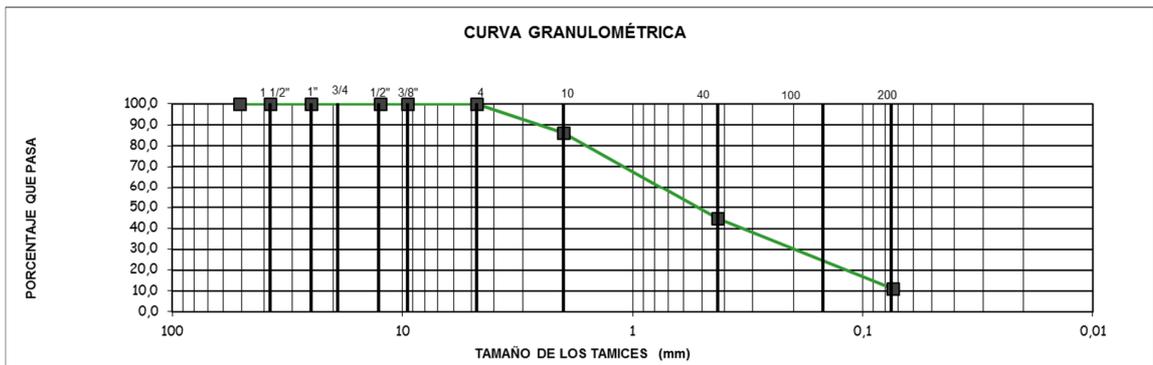
A partir de la granulometría del AP2-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 7:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1.

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200	HUMEDAD NATURAL (%)
0,0	88,9	11,1	1,1



A partir de la granulometría del AP2-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica:



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP2-M1, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 18:** cálculo del D10 AP2-M1, método grafico

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO
0,07

**Tabla 19:** interpolación del D30 del AP2-M1

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	44,7
0,268625	RESULTADO D30
0,074	11,1

**Tabla 20:** interpolación del D60 del AP2-M1

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	86,2
1,002506024	RESULTADO D60
0,42	44,7

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 21:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	14,32142857
<b>Cz=</b>	1,028277743

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	<b>A-1-b</b>
USC	<b>SP-SM</b>

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.
- USC nombra estos los suelos como SP Arenas mal gradadas, arenas con grava con poco o nada de finos.

#### 9.4 APIQUE NUEMERO 2- MUESTRA 2

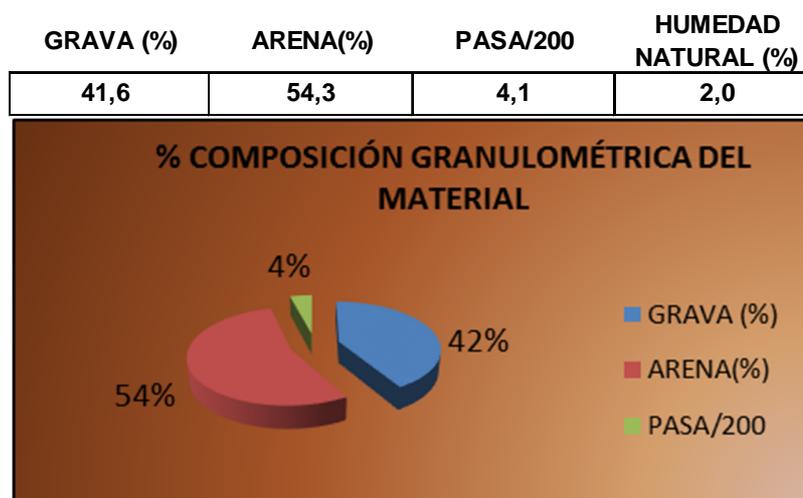
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 2 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

**Tabla 22:** granulometría AP2-M2.

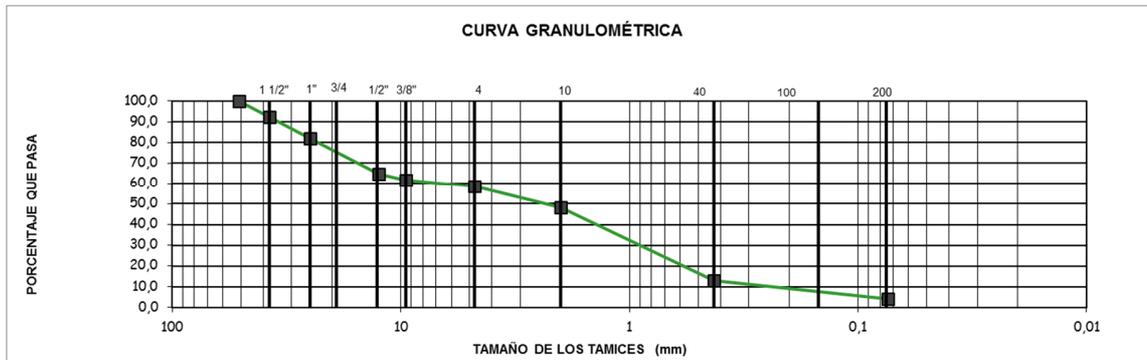
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 1854,9 g		P <sub>2</sub> = 1892,5	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	139,9	7,5	92,5
1 "	195,2	10,5	81,9
3/4"	198,6	10,7	71,2
1/2"	122,8	6,6	64,6
3/8"	54,7	2,9	61,7
No.4	60,3	3,3	58,4
No. 10	192,0	10,4	48,1
No. 40	654,1	35,3	12,8
No. 200	161,5	8,7	4,1
FONDO :	75,8	4,1	0,0

A partir de la granulometría del AP2-M2, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 8:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP2-M2.



A partir de la granulometría del AP2-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica :



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP2-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 23:** interpolación del D10 del AP2-M2

CALCULO DEL D10	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	13
0,308643678	RESULTADO D10
0,074	4,1

**Tabla 24:** interpolación del D30 del AP2-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	48,1
1,189858357	RESULTADO D30
0,42	12,8

**Tabla 25:** interpolación del D60 del AP2-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
4,76	58,4
5,188737864	RESULTADO D60
2	48,1

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 26:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	16,8114179
<b>Cz=</b>	0,88403898

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-1-a
USC	SP

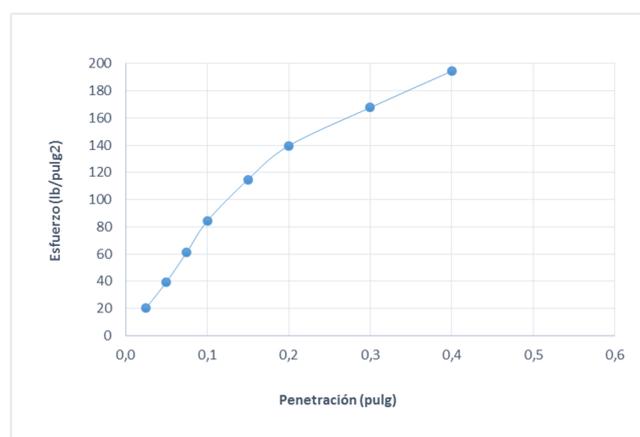
- AASHTO define estos suelos principalmente con predominio de gravas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SP Arenas mal gradadas, arenas con grava con poco o nada de finos.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 27:** resultado del CBR 2 sobre muestra inalterada –seco.

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

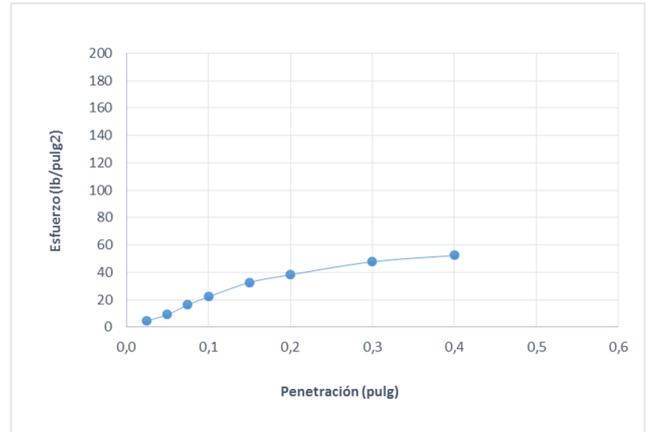
Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	20,3
4	39,5
5	61,4
6	84,2
9	114,8
10	139,6
11	167,8
13	194,5
<b>8,42</b>	
<b>9,31</b>	



**Tabla 28:** resultado del CBR 2 sobre muestra inalterada –sumergido.

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	4,6
4	9,1
5	16,3
6	22,2
9	32,6
10	38,3
11	47,8
13	52,4
<b>2,22</b>	
<b>2,55</b>	



## 9.5 APIQUE NUEMERO 3-MUESTRA 1

Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 3 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

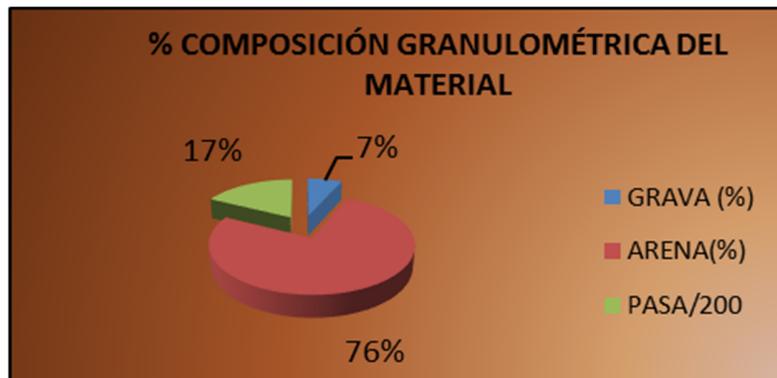
**Tabla 29:** granulometría AP3-M1.

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>				
P <sub>1</sub> = 1298,9 g			P <sub>2</sub> = 1310,7	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)	
2"	0	0,0	100,0	
1 1/2"	0	0,0	100,0	
1 "	0,0	0,0	100,0	
3/4"	14,0	1,1	98,9	
1/2"	31,5	2,4	96,5	
3/8"	11,7	0,9	95,6	
No.4	28,7	2,2	93,4	
No. 10	152,2	11,7	81,7	
No. 40	523,4	40,3	41,4	
No. 200	309,3	23,8	17,6	
FONDO :	228,1	17,6	0,0	

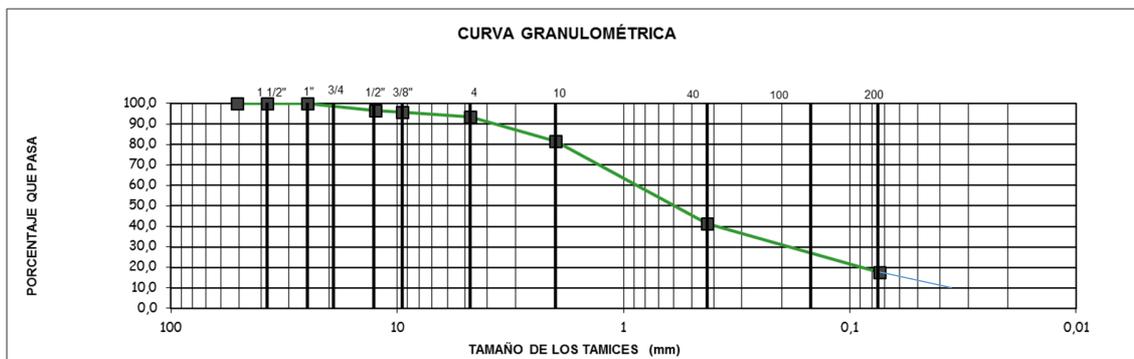
A partir de la granulometría del AP3-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas

**Grafica 9:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP3-M1.

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200	HUMEDAD NATURAL (%)
6,6	75,8	17,6	0,9



A partir de la granulometría del AP3-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP3-M1, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 30:** cálculo del D10 AP3-M1, método grafico

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO	
0,04	

**Tabla 31:** interpolación del D30 del AP3-M1

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	41,4
0,254268908	RESULTADO D30
0,074	17,6

**Tabla 32:** interpolación del D60 del AP3-M1

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	81,7
1,149230769	RESULTADO D60
0,42	41,4

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 33:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	28,73
<b>Cz=</b>	1,406461361

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-2-6
USC	SM

- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.

## 9.6 APIQUE NUEMERO 3–MUESTRA 2

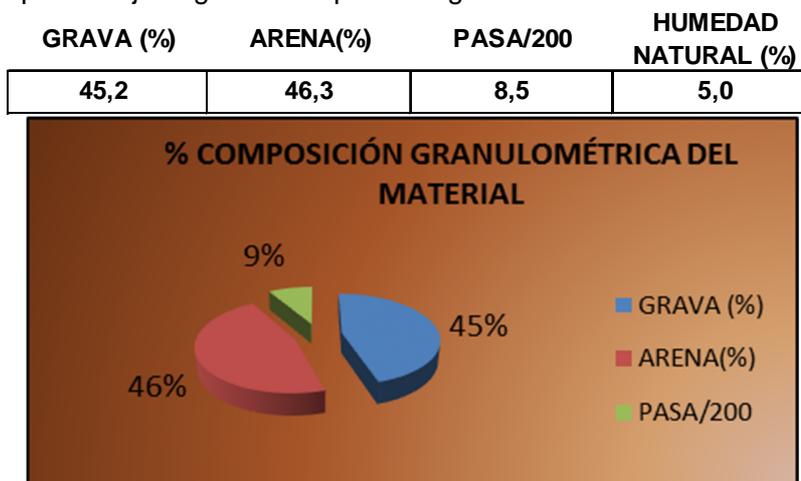
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 3 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

**Tabla 34:** granulometría AP3-M2.

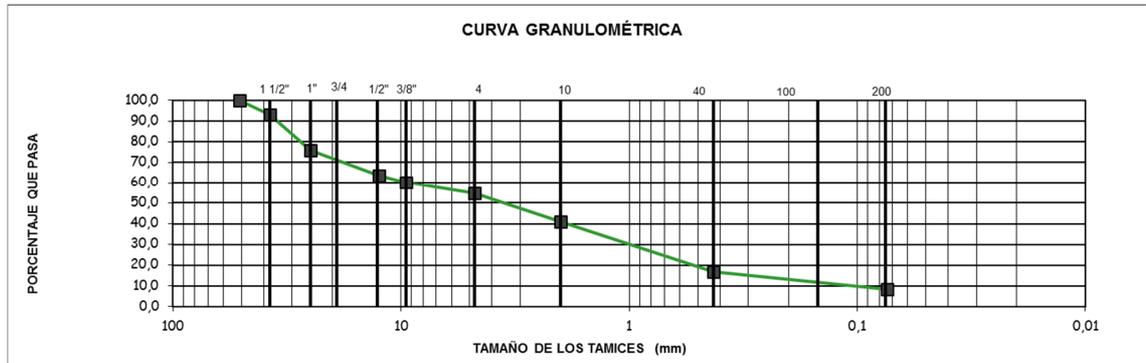
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
P <sub>1</sub> = 1981,4 g			P <sub>2</sub> = 2086,4	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)	
2"	0	0,0	100,0	
1 1/2"	135,9	6,9	93,1	
1 "	344,6	17,4	75,7	
3/4"	150,8	7,6	68,1	
1/2"	89,9	4,5	63,6	
3/8"	66,2	3,3	60,3	
No.4	108,5	5,5	54,8	
No. 10	270,8	13,7	41,1	
No. 40	483,7	24,4	16,7	
No. 200	162,6	8,2	8,5	
FONDO :	168,4	8,5	0,0	

A partir de la granulometría del AP3-M2, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 10:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP3-M2.



A partir de la granulometría del AP3-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP3-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 35:** interpolación del D10 del AP3-M2

CALCULO DEL D10	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	17
0,137292683	RESULTADO D10
0,074	8,5

**Tabla 36:** interpolación del D30 del AP3-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	41,1
1,281229508	RESULTADO D30
0,42	16,7

**Tabla 37:** interpolación del D60 del AP3-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
9,52	60,3
9,260363636	RESULTADO D60
4,76	54,8

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 38:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	67,4497973
<b>Cz=</b>	1,29115515

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-1-a
USC	SP-SM

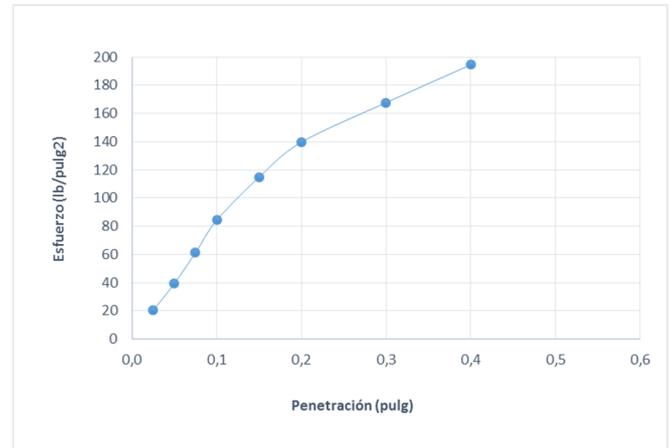
- AASHTO define estos suelos principalmente con predominio de gravas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo
- USC nombra estos los suelos como SP Arenas mal gradadas, arenas con grava con poco o nada de finos.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojo los siguientes resultados:

**Tabla 39:** resultado del CBR 3 sobre muestra inalterada –seco

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

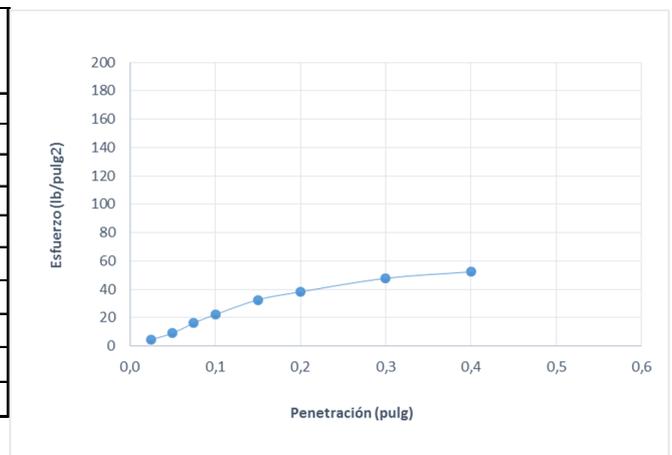
Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	20,3
4	39,5
5	61,4
6	84,2
9	114,8
10	139,6
11	167,8
13	194,5
<b>8,42</b>	
<b>9,31</b>	



**Tabla 40:** resultado del CBR 3 sobre muestra inalterada –sumergido

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	4,6
4	9,1
5	16,3
6	22,2
9	32,6
10	38,3
11	47,8
13	52,4
<b>2,22</b>	
<b>2,55</b>	



## 9.7 APIQUE NUEMERO 4 - MUESTRA 1

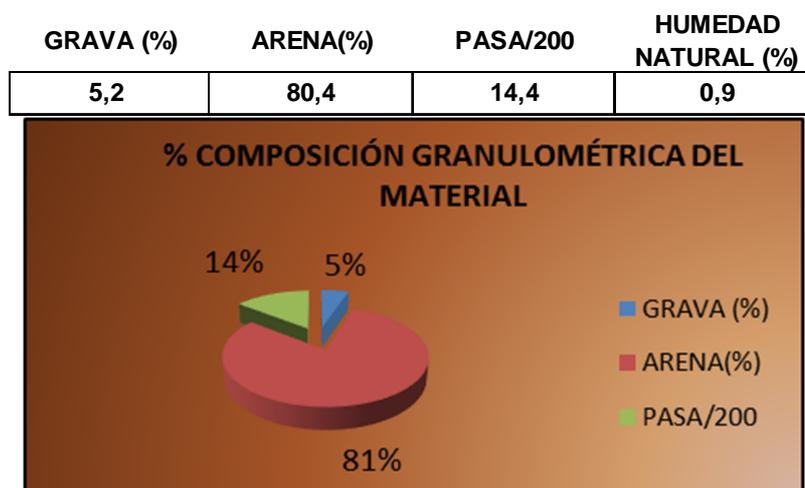
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 4 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

**Tabla 41:** granulometría AP4-M1.

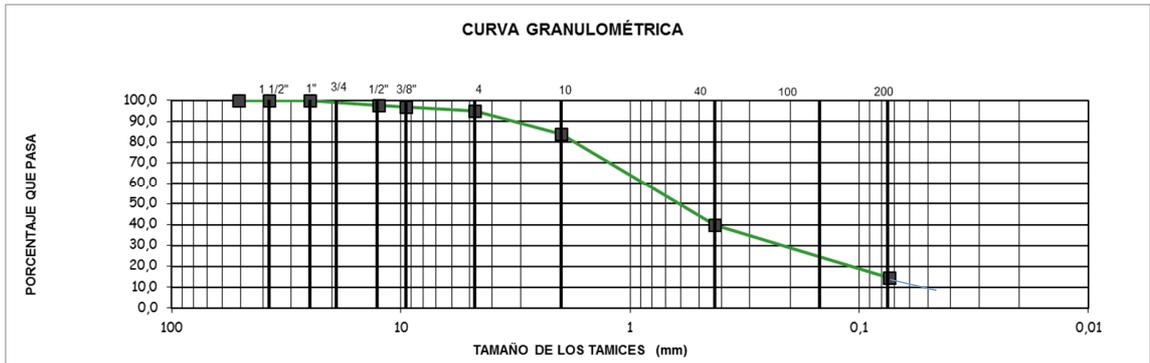
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 1183,4 g		P <sub>2</sub> = 1194,6	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	0	0,0	100,0
1 "	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	25,8	2,2	97,8
3/8"	10,1	0,9	97,0
No.4	25,3	2,1	94,8
No. 10	130,9	11,1	83,8
No. 40	519,6	43,9	39,9
No. 200	301,4	25,5	14,4
FONDO :	170,3	14,4	0,0

A partir de la granulometría del AP4-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 11:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP4-M1.



A partir de la granulometría del AP4-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica



SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 45:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	22,8682
<b>Cz=</b>	1,427438083

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

<b>CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL</b>	
AASHTO	<b>A-1-b</b>
USC	<b>SM</b>

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.

## 9.8 APIQUE NUEMERO 4 - MUESTRA 2

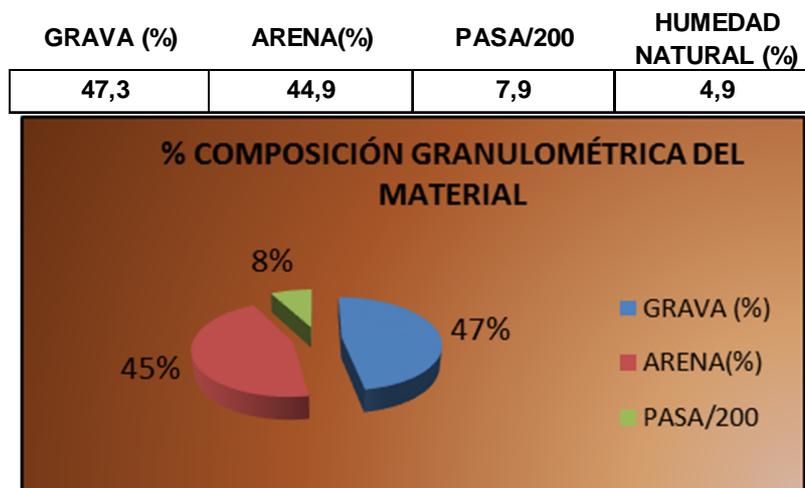
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 4 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

**Tabla 46:** granulometría AP4-M2.

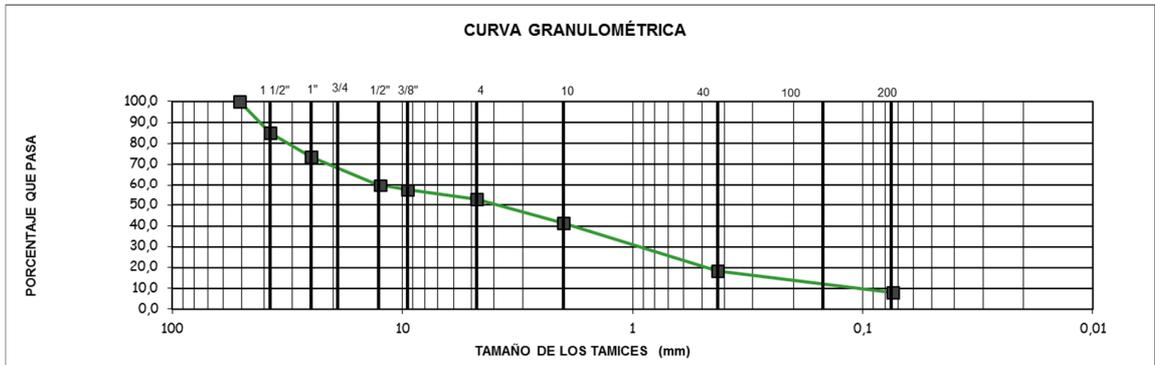
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 1970,0 g		P <sub>2</sub> = 2071,5	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	293,1	14,9	85,1
1 "	225,9	11,5	73,7
3/4"	170,4	8,6	65,0
1/2"	101,3	5,1	59,9
3/8"	49,2	2,5	57,4
No.4	91,5	4,6	52,7
No. 10	227,8	11,6	41,2
No. 40	451,9	22,9	18,2
No. 200	204,2	10,4	7,9
FONDO :	154,7	7,9	0,0

A partir de la granulometría del AP4-M2, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 12:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1.



A partir de la granulometría del AP4-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP4-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 47:** interpolación del D10 del AP4-M2

CALCULO DEL D10	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	18
0,144543689	RESULTADO D10
0,074	7,9

**Tabla 48:** interpolación del D30 del AP4-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	41,2
1,230608696	RESULTADO D30
0,42	18,2

**Tabla 49:** interpolación del D60 del AP4-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
19,1	65
12,8254902	RESULTADO D60
12,7	59,9

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 50:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	88,73089
<b>Cz=</b>	0,81689615

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

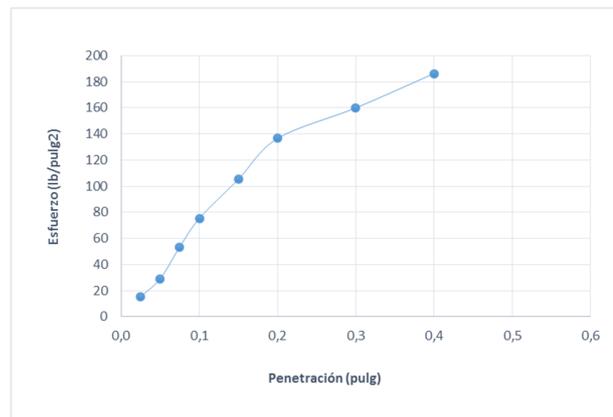
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-1-a
USC	GP-GM

- AASHTO define estos suelos principalmente con predominio de gravas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra GM a gravas limosas, mezcla de gravas, arena y limo.
- USC nombra GP a suelos compuestos por grava mal gradada, mezcla de gravas y arena con poco o nada de finos.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojo los siguientes resultados.

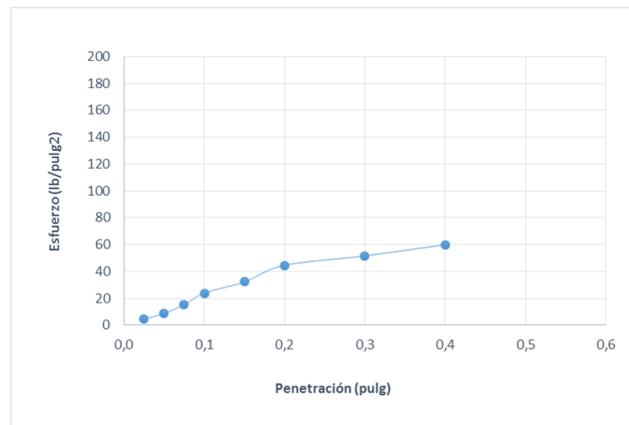
**Tabla 51:** resultado del CBR 4 sobre muestra inalterada –seco

Penetración (pulgadas)	Tiempo	Lectura dial	Esf. Lb/pg2
0,025	30 seg	2	15,4
0,050	1 min	4	29,2
0,075	1 1/2 min	5	53,5
0,100	2 min	6	75,3
0,150	3 min	9	105,4
0,200	4 min	10	136,6
0,300	6 min	11	160,0
0,400	8 min	13	186,3
0,500	10 min		
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>		<b>7,53</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>		<b>9,11</b>	



**Tabla 52:** resultado del CBR 4 sobre muestra inalterada –sumergido.

Penetración (pulgadas)	Tiempo	Lectura dial	Esf. Lb/pg2
0,025	30 seg	2	4,6
0,050	1 min	4	8,8
0,075	1 1/2 min	5	15,3
0,100	2 min	6	23,9
0,150	3 min	9	32,3
0,200	4 min	10	44,7
0,300	6 min	11	51,6
0,400	8 min	13	60,0
0,500	10 min		
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>		<b>2,39</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>		<b>2,98</b>	



### 9.9 APIQUE NUEMERO 5-MUESTRA 1

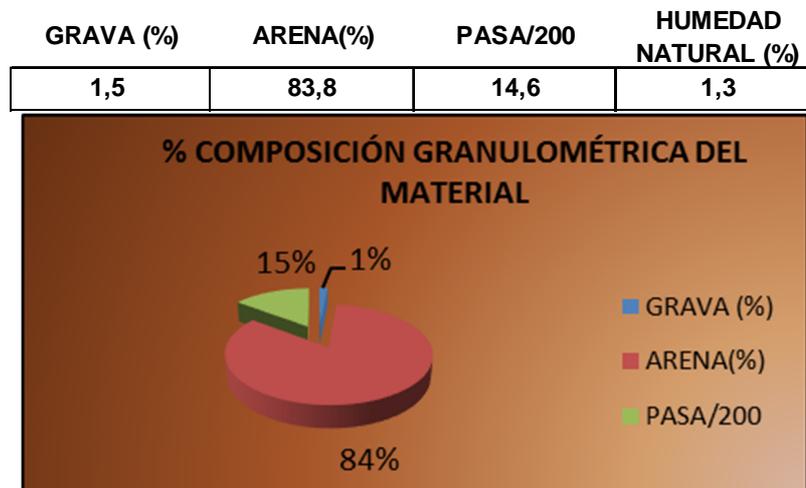
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 5 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

**Tabla 53:** granulometría AP5-M1.

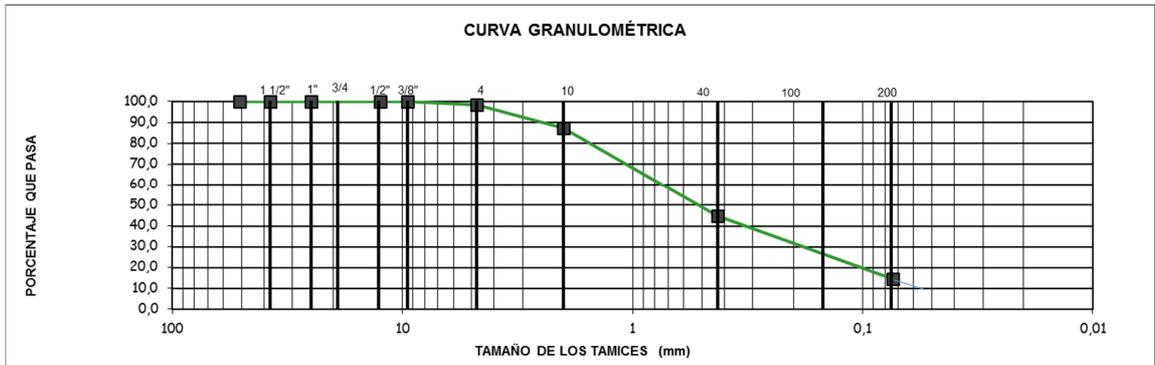
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
P <sub>1</sub> = 1312,4 g			P <sub>2</sub> = 1329,2	
TAMIZ	PESO (grs)	RET.	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0		0,0	100,0
1 1/2"	0		0,0	100,0
1 "	0,0		0,0	100,0
3/4"	0,0		0,0	100,0
1/2"	0,0		0,0	100,0
3/8"	0,0		0,0	100,0
No. 4	20,3		1,5	98,5
No. 10	143,8		11,0	87,5
No. 40	562,2		42,8	44,7
No. 200	394,3		30,0	14,6
FONDO :	191,8		14,6	0,0

A partir de la granulometría del AP5-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 13:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP1-M1.



A partir de la granulometría del AP5-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP5-M1, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 54:** cálculo del D10 AP5-M1, método gráfico.

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO	
0,06	

**Tabla 55:** interpolación del D30 del AP5-M1

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	44,7
0,251023256	RESULTADO D30
0,074	14,6

**Tabla 56:** interpolación del D60 del AP5-M1

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	87,5
0,984813084	RESULTADO D60
0,42	44,7

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-1-b
USC	SM

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.

## 9.10 APIQUE NUEMERO 5-MUESTRA 2

Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 5 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

**Tabla 57:** granulometría AP5-M2.

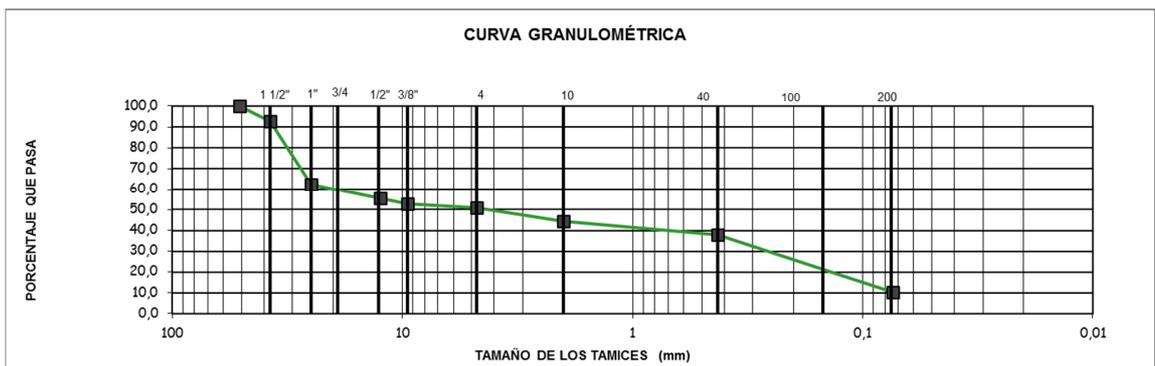
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
P <sub>1</sub> = 2216,2 g			P <sub>2</sub> = 2316,3	
TAMIZ	PESO (grs)	RET.	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	544,9		24,6	100,0
1 1/2"	160,3		7,2	92,8
1 "	124,3		5,6	62,6
3/4"	92,6		4,2	58,4
1/2"	64,4		2,9	55,5
3/8"	58,7		2,6	52,8
No.4	43,7		2,0	50,9
No. 10	145,0		6,5	44,3
No. 40	145,0		6,5	37,8
No. 200	612,1		27,6	10,2
FONDO :	225,2		10,2	0,0

**Grafica 14:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP5-M2.

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200	HUMEDAD NATURAL (%)
49,1	40,7	10,2	4,3



A partir de la granulometría del AP5-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP5-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 58:** cálculo del D10 AP5-M2, método gráfico.

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO
0,075

**Tabla 59:** interpolación del D30 del AP5-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	37,8
0,322217391	RESULTADO D30
0,074	10,2

**Tabla 60:** interpolación del D60 del AP5-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
25,4	62,6
21,5	RESULTADO D60
19,1	58,4

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 61:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	307,1428571
<b>Cz=</b>	0,068986078

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	<b>A-1-b</b>
USC	<b>GP-GM</b>

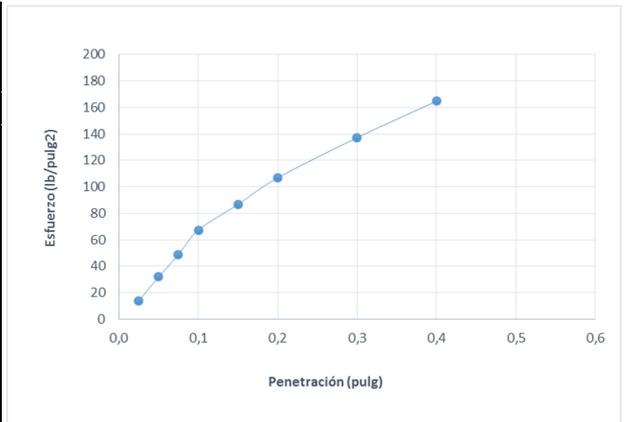
- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra GM a gravas limosas, mezcla de gravas, arena y limo.
- USC nombra GP a suelos compuestos por grava mal gradada, mezcla de gravas y arena con poco o nada de finos.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojo los siguientes resultados:

**Tabla 62:** resultado del CBR 5 sobre muestra inalterada –seco

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

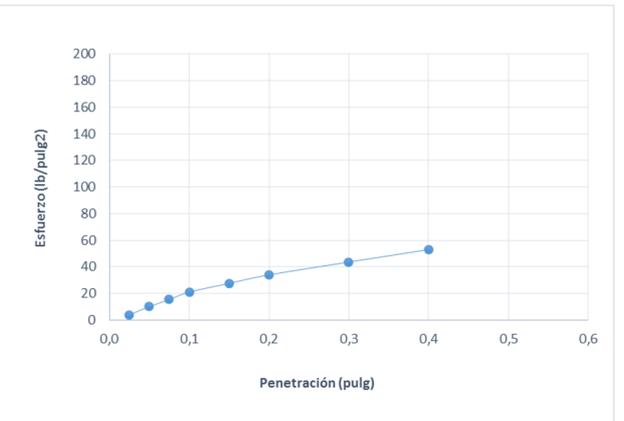
Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	13,8
4	32,0
5	48,9
6	67,4
9	86,8
10	106,9
11	137,2
13	164,9
<b>6,74</b>	
<b>7,12</b>	



**Tabla 63:** resultado del CBR 5 sobre muestra inalterada –sumergido

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	4,0
4	10,1
5	15,4
6	21,1
9	27,7
10	34,0
11	43,7
13	53,1
<b>2,11</b>	
<b>2,27</b>	



### 9.11 APIQUE NUEMERO 6-MUESTRA 1

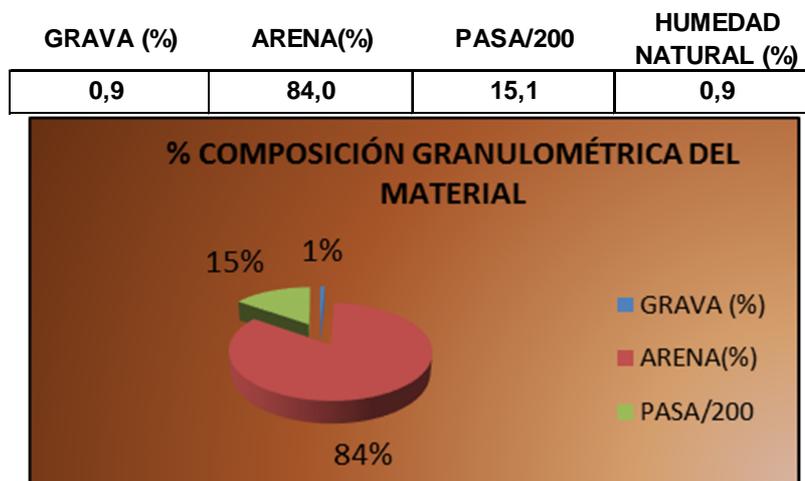
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 6 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

**Tabla 64:** granulometría AP6-M1.

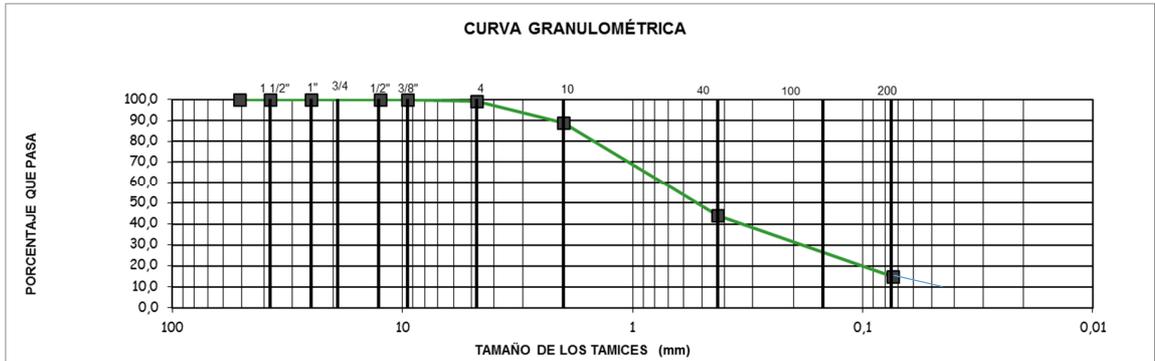
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 1176,3 g		P <sub>2</sub> = 1187,3	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	0	0,0	100,0
1 "	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	10,5	0,9	99,1
No. 10	119,2	10,1	89,0
No. 40	530,6	45,1	43,9
No. 200	338,7	28,8	15,1
FONDO :	177,3	15,1	0,0

A partir de la granulometría del AP6-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 15:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP6-M1.



A partir de la granulometría del AP6-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica :



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP6-M1, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 65:** cálculo del D10 AP6-M1, método grafico

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO	
0,05	

**Tabla 66:** interpolación del D30 del AP6-M1

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	43,9
0,253006944	RESULTADO D30
0,074	15,1

**Tabla 67:** interpolación del D60 del AP6-M1

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	89
0,984035477	RESULTADO D60
0,42	43,9

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 68:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	19,68070953
<b>Cz=</b>	1,30102045

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	<b>A-1-b</b>
USC	<b>SM</b>

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.

## 9.12 APIQUE NUEMERO 6 - MUESTRA 2

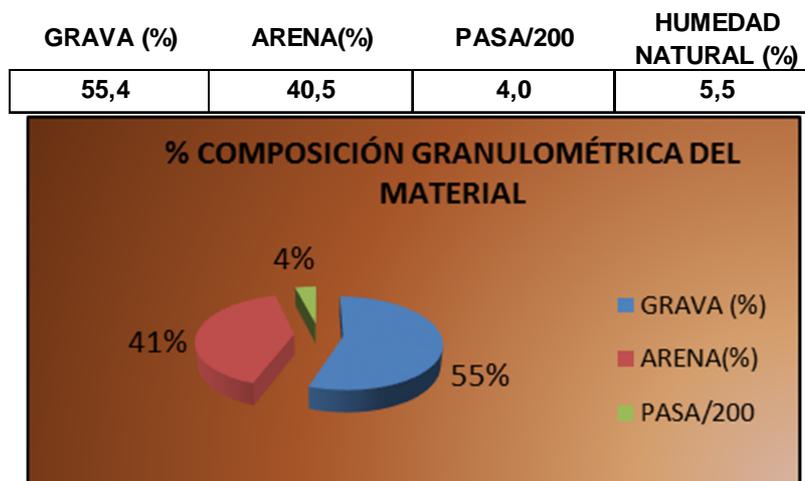
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 6 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

**Tabla 69:** granulometría AP6-M2.

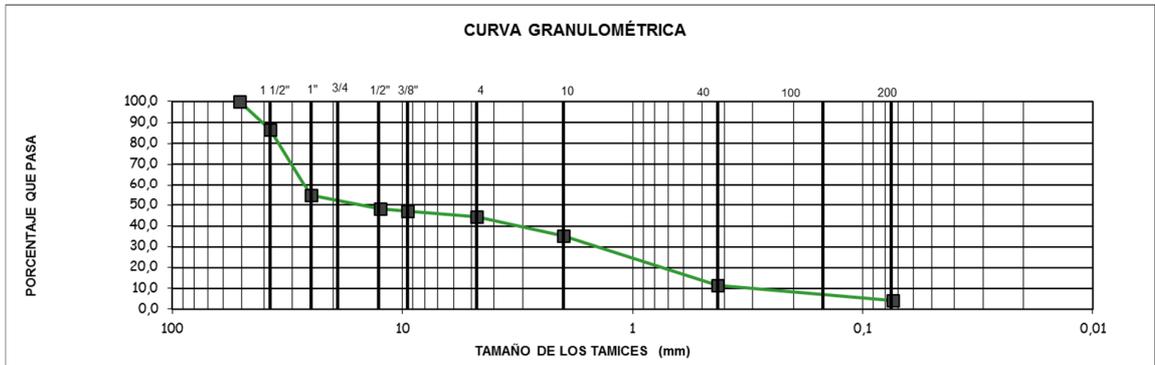
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
P <sub>1</sub> = 2563,2 g			P <sub>2</sub> = 2712,2	
TAMIZ	PESO (grs)	RET.	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	703,1		27,4	100,0
1 1/2"	344,8		13,5	86,5
1 "	111,1		4,3	54,8
3/4"	86,8		3,4	51,4
1/2"	81,4		3,2	48,2
3/8"	28,0		1,1	47,1
No.4	65,8		2,6	44,6
No. 10	239,3		9,3	35,2
No. 40	610,7		23,8	11,4
No. 200	189,3		7,4	4,0
FONDO :	102,9		4,0	0,0

A partir de la granulometría del AP6-M2, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 16:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP6-M2.



A partir de la granulometría del AP6-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP6-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 70:** interpolación del D10 del AP6-M2

CALCULO DEL D10	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	11
0,354540541	RESULTADO D10
0,074	4

**Tabla 71:** interpolación del D30 del AP6-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	35,2
1,654789916	RESULTADO D30
0,42	11,4

**Tabla 72:** interpolación del D60 del AP6-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
38,1	86,5
27,48328076	RESULTADO D60
25,4	54,8

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 73:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	77,5180201
<b>Cz=</b>	0,28102908

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	<b>A-1-a</b>
USC	<b>GP</b>

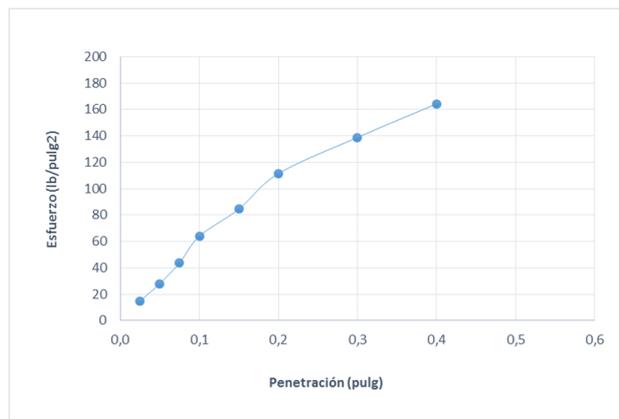
- AASHTO define estos suelos principalmente con predominio de gravas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra GP a suelos compuestos por grava mal gradada, mezcla de gravas y arena con poco o nada de finos.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 74:** resultado del CBR 6 sobre muestra inalterada –seco

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

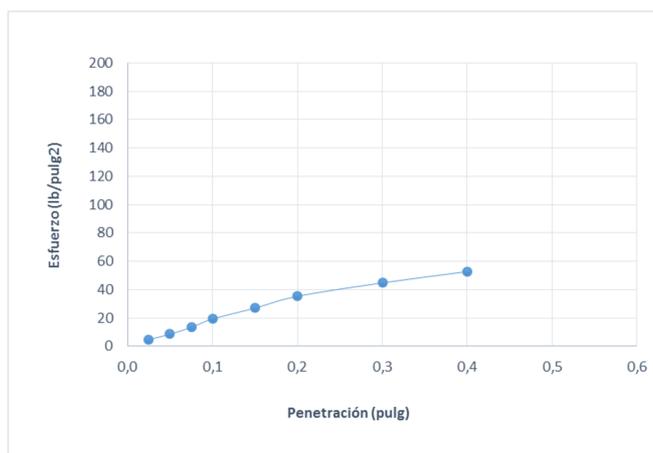
Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	14,9
4	28,0
5	43,9
6	64,0
9	84,6
10	111,4
11	138,9
13	164,3
<b>6,40</b>	
<b>7,43</b>	



**Tabla 75:** resultado del CBR 6 sobre muestra inalterada –sumergido

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	4,7
4	8,5
5	13,3
6	19,3
9	27,0
10	35,3
11	44,8
13	52,8
<b>1,93</b>	
<b>2,35</b>	



### 9.13 APIQUE NUEMERO 7-MUESTRA 1

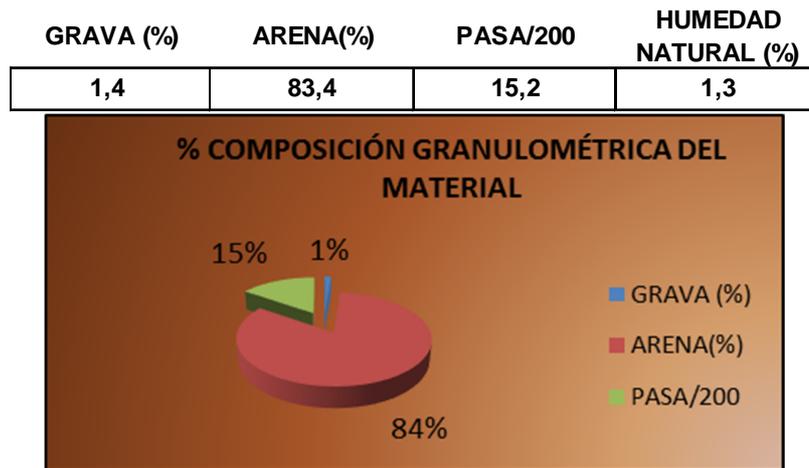
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 7 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

**Tabla 76:** granulometría AP7-M1.

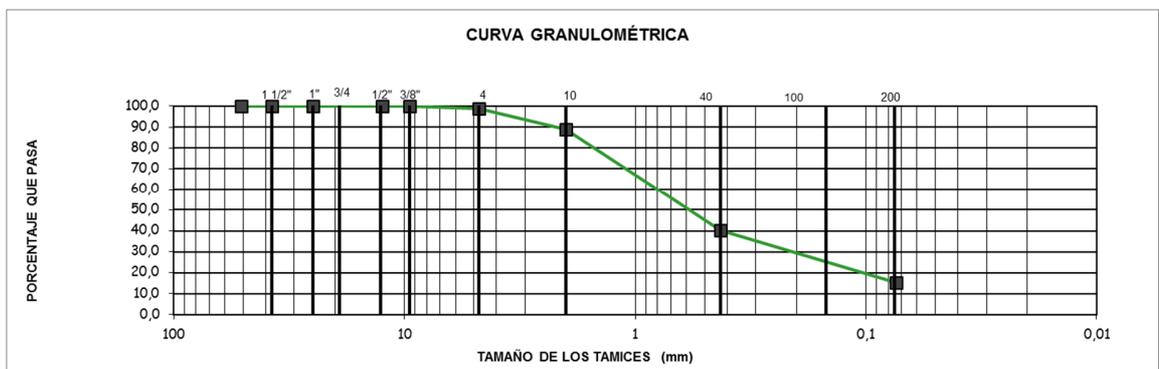
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
P <sub>1</sub> = 1238,7 g		P <sub>2</sub> = 1254,6		
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)	
2"	0	0,0	100,0	
1 1/2"	0	0,0	100,0	
1 "	0,0	0,0	100,0	
3/4"	0,0	0,0	100,0	
1/2"	0,0	0,0	100,0	
3/8"	0,0	0,0	100,0	
No.4	16,9	1,4	98,6	
No. 10	121,6	9,8	88,8	
No. 40	600,3	48,5	40,4	
No. 200	311,5	25,1	15,2	
FONDO :	188,4	15,2	0,0	

A partir de la granulometría del AP7-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 17:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP7-M1.



A partir de la granulometría del AP7-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica:



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP7-M1, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 77:** cálculo del D10 AP7-M1, método gráfico.

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO	
0,05	

**Tabla 78:** interpolación del D30 del AP7-M1

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	40,4
0,277206349	RESULTADO D30
0,074	15,2

**Tabla 79:** interpolación del D60 del AP7-M1

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	88,8
1,059834711	RESULTADO D60
0,42	40,4

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 80:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	21,19669421
<b>Cz=</b>	1,450100837

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-1-b
USC	SM

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.

### 9.14 APIQUE NUEMERO 7-MUESTRA 2

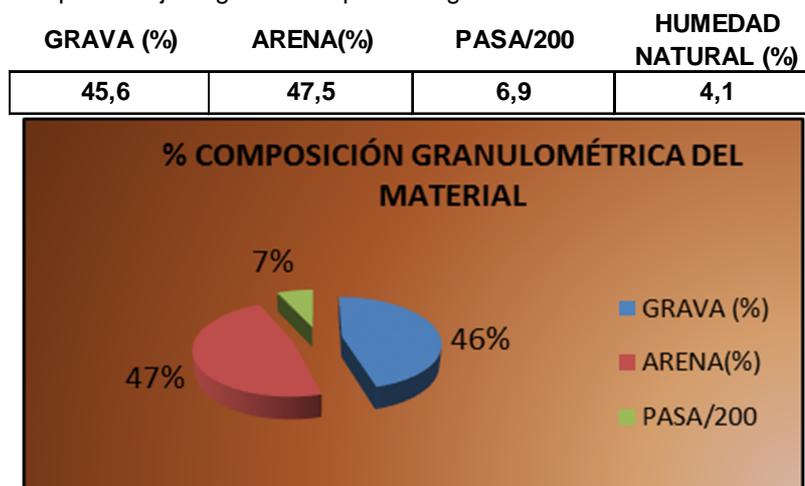
Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 7 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

**Tabla 81:** granulometría AP7-M2.

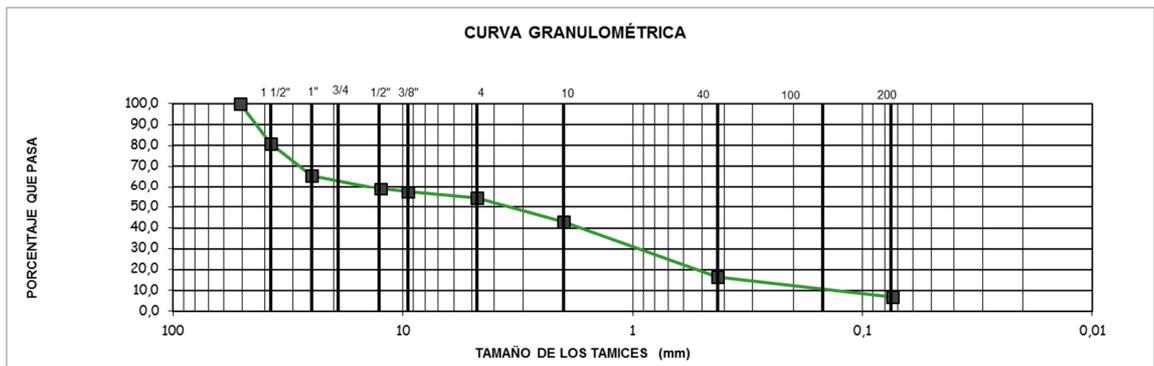
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
P <sub>1</sub> = 2318,2 g			P <sub>2</sub> = 2416,5	
TAMIZ	PESO	RET.	PORCENT RET.	PORCENT PASA (%)
	(grs)		(%)	
2"	0		0,0	100,0
1 1/2"	446,3		19,3	80,7
1 "	356,8		15,4	65,4
3/4"	87,9		3,8	61,6
1/2"	57,2		2,5	59,1
3/8"	36,8		1,6	57,5
No.4	72,8		3,1	54,4
No. 10	265,9		11,5	42,9
No. 40	610,3		26,3	16,6
No. 200	224,0		9,7	6,9
FONDO :	160,2		6,9	0,0

A partir de la granulometría del AP7-M2, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 18:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP7-M2.



A partir de la granulometría del AP7-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica:



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP7-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 82:** interpolación del D10 del AP7-M2

CALCULO DEL D10	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	17
0,18457732	RESULTADO D10
0,074	6,9

**Tabla 83:** interpolación del D30 del AP7-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	42,9
1,225019011	RESULTADO D30
0,42	16,6

**Tabla 84:** interpolación del D60 del AP7-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
19,1	61,6
15,004	RESULTADO D60
12,7	59,1

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 85:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	81,2884272
<b>Cz=</b>	0,54187644

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-1-a
USC	SP-SM

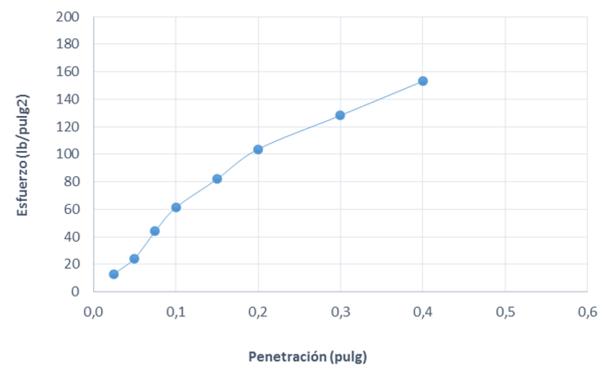
- AASHTO define estos suelos principalmente con predominio de gravas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.
- USC nombra estos los suelos como SP Arenas mal gradadas, arenas con grava con poco o nada de finos.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 86:** resultado del CBR 7 sobre muestra inalterada –seco

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

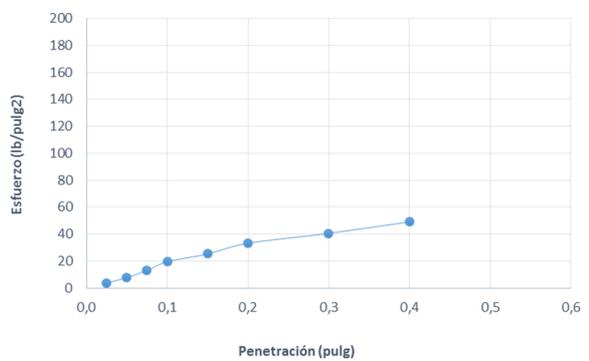
Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	13,0
4	24,4
5	44,0
6	61,1
9	81,9
10	103,7
11	128,3
13	153,1
<b>6,11</b>	
<b>6,91</b>	



**Tabla 87:** resultado del CBR 7 sobre muestra inalterada –sumergido

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	3,7
4	7,7
5	13,0
6	19,5
9	25,3
10	33,2
11	40,6
13	49,1
<b>1,95</b>	
<b>2,21</b>	



### 9.15 APIQUE NUEMERO 8 - MUESTRA 1

Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 8 tiene un estrato superficial con las siguientes características granulares.

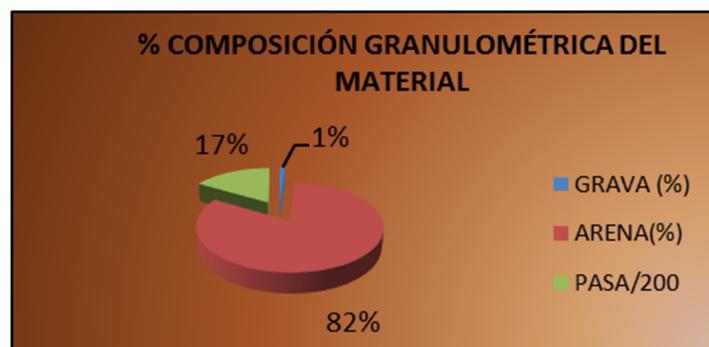
**Tabla 88:** granulometría AP8-M1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 1311,5 g		P <sub>2</sub> = 1325,0	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	0	0,0	100,0
1 "	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No. 4	15,3	1,2	98,8
No. 10	130,9	10,0	88,9
No. 40	548,1	41,8	47,1
No. 200	401,5	30,6	16,4
FONDO :	215,7	16,4	0,0

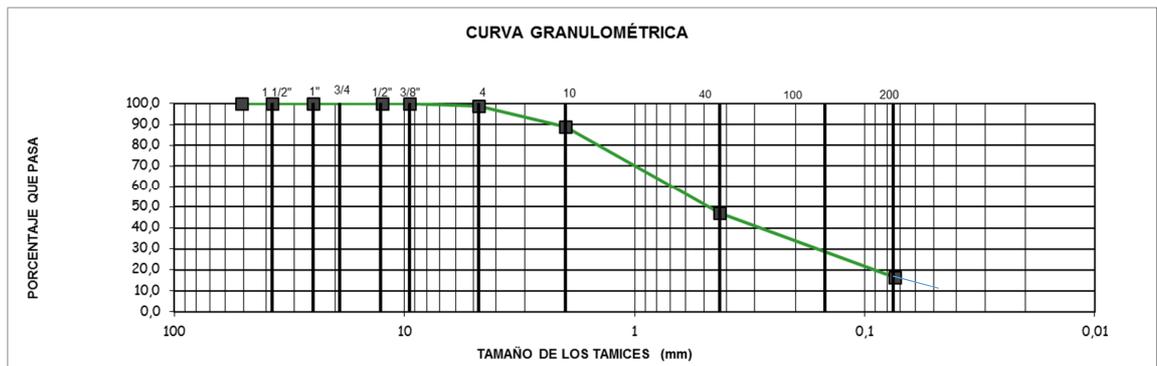
A partir de la granulometría del AP8-M1, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 19:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP8-M1.

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200	HUMEDAD NATURAL (%)
1,2	82,4	16,4	1,0



A partir de la granulometría del AP8-M1, se grafico la siguiente curva granulometrica:



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP8-M1, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 89:** cálculo del D10 AP8-M1, método gráfico.

CALCULO APROXIMADO DEL D10 GRAFICO
0,05

**Tabla 90:** interpolación del D30 del AP8-M1

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	47,1
0,227276873	RESULTADO D30
0,074	16,4

**Tabla 91:** interpolación del D60 del AP8-M1

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	88,9
0,907607656	RESULTADO D60
0,42	47,1

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 92:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	18,015214
<b>Cz=</b>	1,14684517

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	<b>A-1-b</b>
USC	<b>SM</b>

- AASHTO define estos suelos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra estos los suelos como SM y corresponden a arenas limosas, mezcla de arenas y limo.

### 9.16 APIQUE NUEMERO 8-MUESTRA 2

Teniendo en cuenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado, se obtuvo que el apique número 8 tiene un estrato con las siguientes características granulares.

**Tabla 93:** granulometría AP8-M2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
P <sub>1</sub> = 2453,5 g		P <sub>2</sub> = 2574,8	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2"	0	0,0	100,0
1 1/2"	336,4	13,7	86,3
1 "	237,6	9,7	76,6
3/4"	171,6	7,0	69,6
1/2"	150,7	6,1	63,5
3/8"	67,0	2,7	60,7
No.4	226,5	9,2	51,5
No. 10	273,0	11,1	40,4
No. 40	550,2	22,4	18,0
No. 200	300,0	12,2	5,7
FONDO :	140,5	5,7	0,0

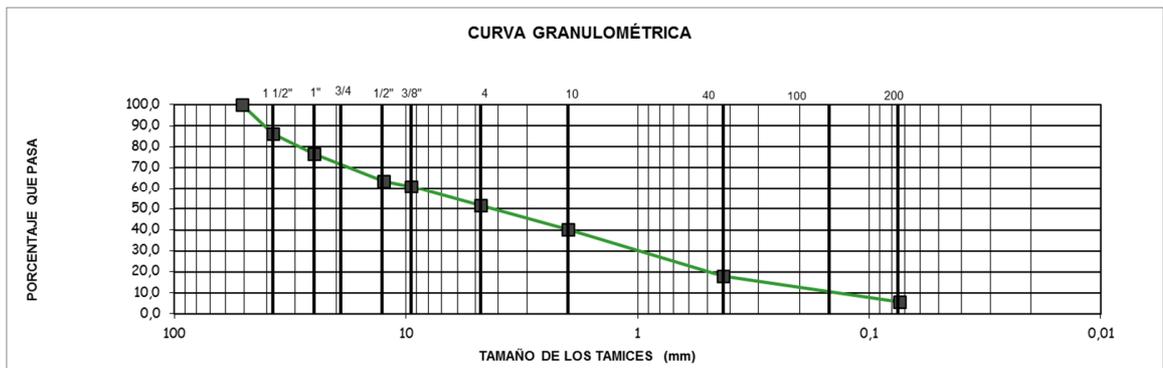
A partir de la granulometría del AP8-M2, se determinó el contenido de humedad natural presente en esta fracción de suelo, además las partículas de suelo fueron agrupadas de la siguiente manera, según su contenido de gravas, arenas y arcillas.

**Grafica 20:** porcentaje según la composición granulométrica del material del AP8-M2.

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200	HUMEDAD NATURAL (%)
48,5	45,8	5,7	4,7



A partir de la granulometría del AP8-M2, se grafico la siguiente curva granulometrica:



Luego de obtener la curva granulométrica es posible calcular los D10, D30 y D60 gráficamente, con el fin de disminuir el margen de error estos datos fueron determinados a partir de la interpolación de los datos obtenidos en la granulometría del AP8-M2, con estos datos lograremos obtener el coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del suelo.

**Tabla 94:** interpolación del D10 del AP8-M2

CALCULO DEL D10	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
0,42	18
0,19495935	RESULTADO D10
0,074	5,7

**Tabla 95:** interpolación del D30 del AP8-M2

CALCULO DEL D30	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
2	40,4
1,266428571	RESULTADO D30
0,42	18

**Tabla 96:** interpolación del D60 del AP8-M2

CALCULO DEL D60	
DIAMETRO DEL TAMIZ	% ACOMULADO
9,52	60,7
9,157826087	RESULTADO D60
4,76	51,5

SUCS propone que para suelos granulares sean arenas o gravas, estén bien gradados debe cumplir que el coeficiente de uniformidad sea mayor a 6 ( $C_u > 6$ ) y el coeficiente de curvatura se encuentre dentro del rango 3 y 1 ( $3 > C_z > 1$ ).

**Tabla 97:** cálculo de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura.

<b>Cu=</b>	46,9730029
<b>Cz=</b>	0,89830732

Luego de evaluar los límites de consistencia, la granulometría, los coeficientes de uniformidad y curvatura podemos clasificar el suelo de esta muestra según USC Y AASHTO como:

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	
AASHTO	A-1-a
USC	GP-GM

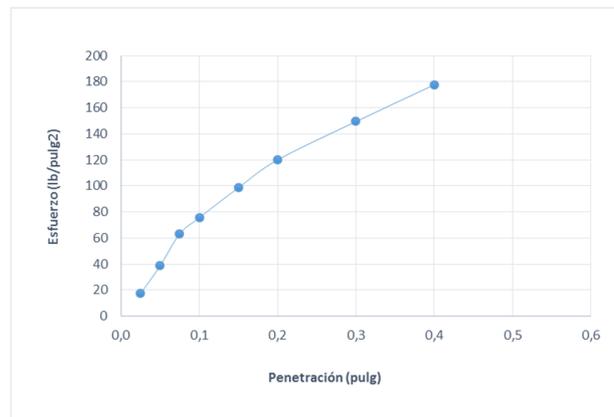
- AASHTO define estos suelos principalmente con predominio de gravas, con o sin material fino bien gradado.
- USC nombra GP a suelos compuestos por grava mal gradada, mezcla de gravas y arena con poco o nada de finos.
- USC nombra GM a gravas limosas, mezcla de gravas, arena y limo.

En el apique se realizó un CBR o ensayo de relación de soporte de california sobre muestra inalterada el cual arrojo los siguientes resultados:

**Tabla 98:** resultado del CBR 8 sobre muestra inalterada –seco

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

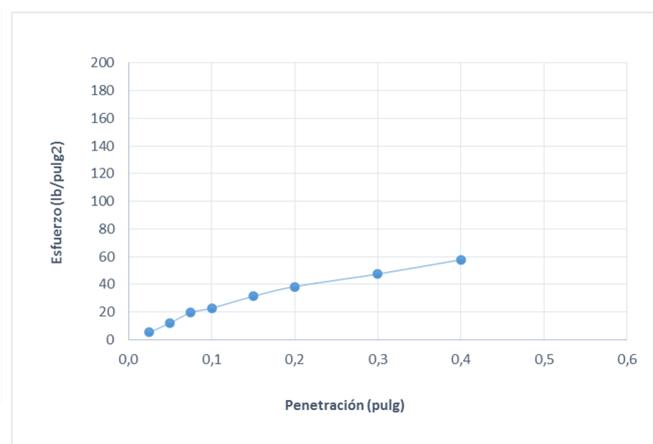
Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	17,3
4	38,6
5	63,2
6	75,6
9	98,6
10	120,0
11	149,4
13	177,7
<b>7,56</b>	
<b>8,00</b>	



**Tabla 99:** resultado del CBR 8 sobre muestra inalterada –sumergido

Penetración (pulgadas)	Tiempo
0,025	30 seg
0,050	1 min
0,075	1 1/2 min
0,100	2 min
0,150	3 min
0,200	4 min
0,300	6 min
0,400	8 min
0,500	10 min
<b>C.B.R. Corregido 0.1"</b>	
<b>C.B.R. Corregido 0.2"</b>	

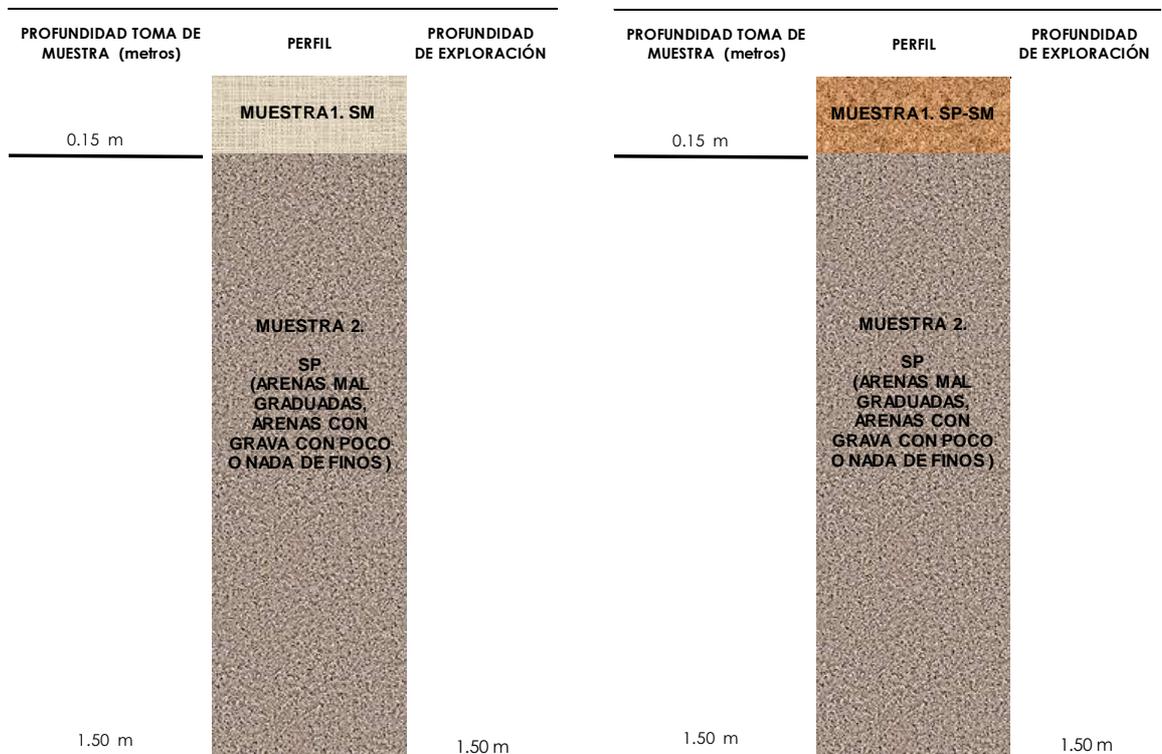
Lectura dial	Esf. Lb/pg2
2	5,3
4	12,1
5	19,7
6	22,9
9	31,4
10	38,4
11	47,6
13	57,9
<b>2,29</b>	
<b>2,56</b>	



## 9.17 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Un perfil estratigráfico es una descripción de la variación del suelo con relación a la profundidad a medida que cambia las capas de los suelos del terreno sondeado, y se conforma de acuerdo a los estratos que se identifican en los Sondeos realizados. Con base en los resultados del programa de exploración del subsuelo, de las pruebas de campo y de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados por el laboratorio es posible establecer el siguiente perfil estratigráfico típico de los Sondeos en análisis.

**Figura 34:** perfil estratigráfico del AP1 Y AP2



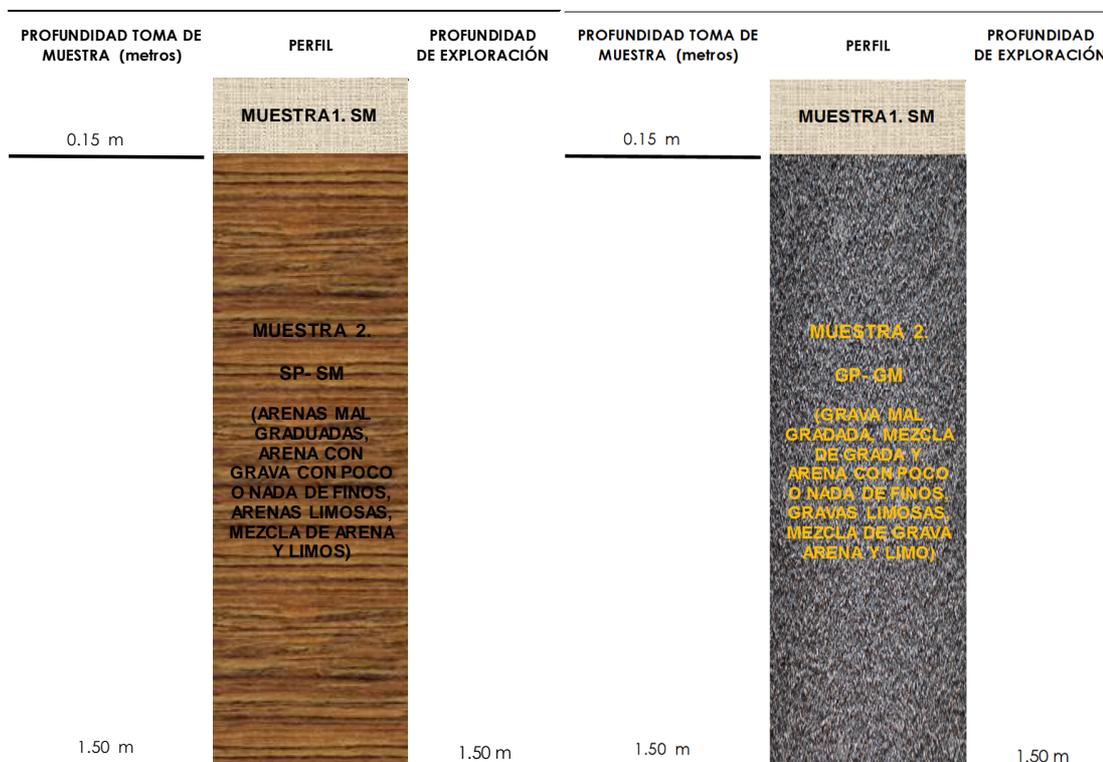
**Figura 35:** perfil estratigráfico del AP3 y AP4



**Figura 36:** perfil estratigráfico del AP5 Y AP6



**Figura 37:** perfil estratigráfico del AP7 Y AP8



Teniendo en cuenta los perfiles estratigráficos se puede analizar que el suelo de esta zona está compuesto por un material uniforme en la primera capa de suelo, observado en los primeros 20 cm de muestra donde todas fueron clasificadas como arenas limosas, mezclas de arenas y limos (Sm).

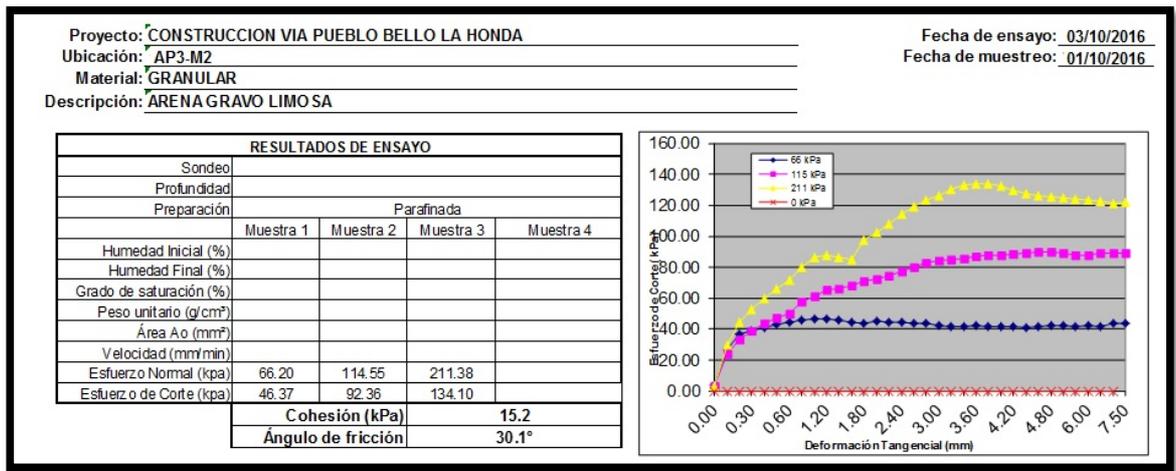
El segundo estrato que va de los 0.20 metros a los 1.50 metros corresponden desde el apique 1 hasta el apique 3 a arenas mal gradadas, arenas con grava con poco o nada de finos (Sp) con una pequeña variación en el ap3 el cual presenta una doble nomenclatura gracias un enriquecimiento en limos Sp-Sm.

El estrato infrayacente de los apiques 5, 6,8 corresponde a grava mal gradada, mezcla de gravas y arena con poco o nada de finos, con un enriquecimiento en limos suficiente como para darles una doble nomenclatura: grava mal gradada, mezcla de gravas y arena con poco o nada de finos y gravas limosas, mezcla de gravas, arena y limo.

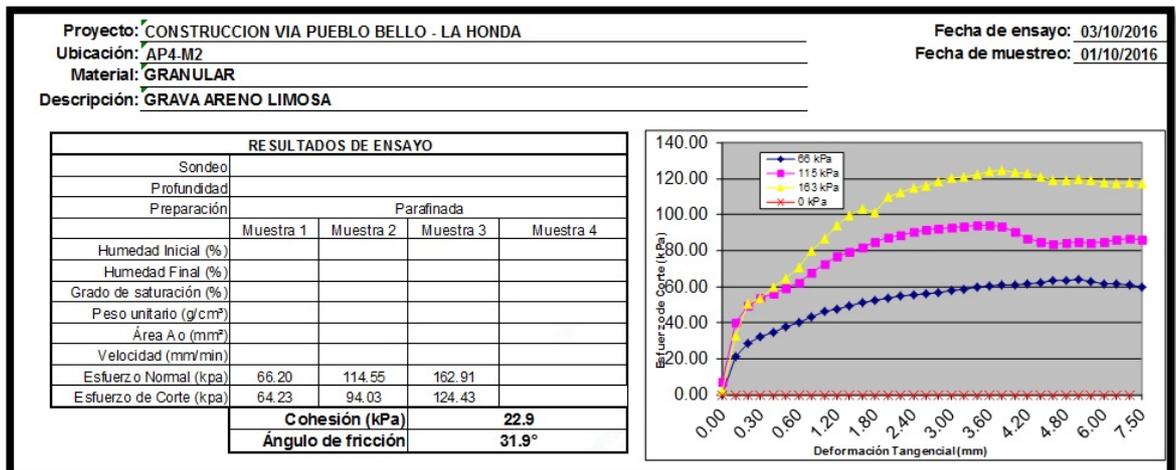
## 9.18 CAPACIDAD DE CARGA

Para determinar la capacidad admisible se realizó el ensayo de penetración normal y ensayo de corte directo a dos de las muestras presentes en el área de estudio, con el fin de obtener datos representativos del área estudiada.

**Tabla 100:** corte directo de la muestra AP3-M2.



**Tabla 101:** corte directo de la muestra AP4-M2



Fuente: VYO INGENIERIA

A partir de los resultados de cortes directo se obtuvo el valor del ángulo de fricción del suelo, con el cual será posible realizar el cálculo de la capacidad portante u admisible mediante la hoja de cálculo de Excel “determinar la capacidad de carga de un suelo por el método de Terzaghi” creada por Oscar Eliud Castillo Martínez.

Con el fin brindar la máxima información posible, se realizó el cálculo de las capacidades de carga con las profundidades de desplante de 0.5 m, 1 m, 1,5 m y 2 m utilizando la siguiente ecuación.

**Tabla 102:** Ecuación de la capacidad de carga ultima y admisible.

<b>Capacidad de carga última, qc:</b>
$q_c = c' \cdot N' c + G_m \cdot D_f \cdot N' q + 0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N' g$
<b>Capacidad de carga admisible; qa:</b>
$q_a = q_c / FS$

### 9.18.1 Calculo de la capacidad de carga a 0,5 metros de profundidad.

**Tabla 103:** datos para el cálculo de la capacidad de carga a 0.5 m.

Profundidad de desplante, $D_f$ ; (mts):	<b>0,5</b>
Peso Volumétrico del suelo; $G_m$ (Ton/m <sup>3</sup> ):	<b>1,5</b>
Cohesión del suelo, $c$ ; (Ton/m <sup>2</sup> ):	<b>1,6</b>
Ángulo de fricción interna del suelo, $F_i$ (grados):	<b>30</b>
Ancho o Radio del cimiento; $B$ ó $R$ (mts):	<b>1,0</b>
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	<b>3</b>
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	<b>3,0</b>

**Tabla 104:** capacidad de carga admisible del suelo a 0.5 m.

$c' \cdot N' c =$	25,5991111
$g \cdot D_f \cdot N' q$	22,46
$0.5 \cdot g \cdot B \cdot N' g =$	9,565
$q_c$ , (Ton/m <sup>2</sup> ) =	57,6241111
$q_a$ , (Ton/m <sup>2</sup> ) =	19,208037

Se obtuvo como capacidad de carga admisible 19,2 ton/m<sup>2</sup>, suponiendo una cimentación de 1x1 metros de área, un peso volumétrico de 1,5 Ton/m<sup>3</sup> y usando un factor de seguridad de 3.

### 9.18.2 Calculo de la capacidad de carga a 1.0 metros de profundidad.

**Tabla 105:** datos para el cálculo de la capacidad de carga a 1.0 m.

Profundidad de desplante, Df; (mts):	<b>1,0</b>
Peso Volumétrico del suelo; Gm (Ton/m3):	<b>1,5</b>
Cohesión del suelo, c; (Ton/m2):	<b>1,6</b>
Ángulo de fricción interna del suelo, Fi (grados):	<b>30</b>
Ancho o Radio del cimient; B ó R (mts):	<b>1,0</b>
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	<b>3</b>
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	<b>3,0</b>

**Tabla 106:** capacidad de carga admisible del suelo a 1.0 m.

$c' * N' c =$	26,4248889
$g * Df * N' q$	22,46
$0.5 * g * B * N' g =$	9,565
$q_c, (Ton/m^2) =$	58,4498889
$q_a, (Ton/m^2) =$	19,4832963

Se obtuvo como capacidad de carga admisible 19,5 ton/m<sup>2</sup>, suponiendo una cimentación de 1x1 metros de área, un peso volumétrico de 1,5 Ton/m<sup>3</sup> y usando un factor de seguridad de 3.

### 9.18.3 Calculo de la capacidad de carga a 1.5 metros de profundidad.

**Tabla 107:** datos para el cálculo de la capacidad de carga a 1.5 m.

Profundidad de desplante, Df; (mts):	<b>1,5</b>
Peso Volumétrico del suelo; Gm (Ton/m3):	<b>1,5</b>
Cohesión del suelo, c; (Ton/m2):	<b>1,6</b>
Ángulo de fricción interna del suelo, Fi (grados):	<b>30</b>
Ancho o Radio del cimient; B ó R (mts):	<b>1,0</b>
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	<b>3</b>
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	<b>3,0</b>

**Tabla 108:** capacidad de carga admisible del suelo a 1.5 m.

$c' * N' c =$	26,4248889
$g * Df * N' q$	33,69
$0.5 * g * B * N' g =$	9,565
$q_c, (Ton/m^2) =$	69,6798889
$q_a, (Ton/m^2) =$	23,2266296

Se obtuvo como capacidad de carga admisible 23.2 ton/m<sup>2</sup>, suponiendo una cimentación de 1x1 metros de área, un peso volumétrico de 1,5 Ton/m<sup>3</sup> y usando un factor de seguridad de 3.

#### 9.18.4 Calculo de la capacidad de carga a 2.0 metros de profundidad.

**Tabla 109:** datos para el cálculo de la capacidad de carga a 2.0 m.

Profundidad de desplante, $D_f$ ; (mts):	<b>2,0</b>
Peso Volumétrico del suelo; $G_m$ (Ton/m <sup>3</sup> ):	<b>1,5</b>
Cohesión del suelo, $c$ ; (Ton/m <sup>2</sup> ):	<b>1,6</b>
Ángulo de fricción interna del suelo, $F_i$ (grados):	<b>30</b>
Ancho o Radio del cimiento; $B$ ó $R$ (mts):	<b>1,0</b>
Tipo de suelo: 1-Arcilloso firme / 2-Arcilloso blando / 3-Arenoso	<b>3</b>
Factor de seguridad, F.S.: (3.5 / 3.0 / 2.5)	<b>3,0</b>

**Tabla 110:** capacidad de carga admisible del suelo a 2.0 m.

$c' * N' c =$	26,4248889
$g * Df * N' q$	44,92
$0.5 * g * B * N' g =$	9,565
$q_c, (Ton/m^2) =$	80,9098889
$q_a, (Ton/m^2) =$	26,969963

Se obtuvo como capacidad de carga admisible 26.9 ton/m<sup>2</sup>, suponiendo una cimentación de 1x1 metros de área, un peso volumétrico de 1,5 Ton/m<sup>3</sup> y usando un factor de seguridad de 3.

## 10 ANALISIS DE RESULTADOS

La metodología de diseño planteada en el manual del INVIAS involucra las variables de las condiciones climáticas bajo los parámetros de Temperatura Media Anual Ponderada y la Precipitación Media Anual. A partir de estos datos se clasifica la región donde se desarrollan los trabajos, parámetro que se emplea en el Manual del INVIAS para seleccionar la carta de diseño. En los métodos de diseño se emplea directamente el valor de la TMAP en la determinación de parámetros.

- Precipitación anual = 2192,4 mm
- Temperatura media anual = 22,5 °C

**Tabla 111:** Precipitación y condiciones de humedad para el ensayo CBR.

No	REGIÓN	TEMPERATUR A TMAP(°C)	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)	condiciones de humedad para el ensayo CBR
R1	fría seca	<13	<1000	CON HUMEDAD Y DENSIDAD EN EQUILIBRIO. NORMA INV. E-146
	fría húmeda	<13	1000-2000	SUMERGIDO
R2	Templado seco	13 A 20	<1000	CON HUMEDAD Y DENSIDAD EN EQUILIBRIO. NORMA INV. E-146
	Templado semihúmedo	13 A 20	<2000	SUMERGIDO
R3	cálido seco	20 A 30	< 1000	CON HUMEDAD Y DENSIDAD EN EQUILIBRIO. NORMA INV. E-146
	cálido semihúmedo	20 A 30	<2000	SUMERGIDO
R4	templado seco	13 A 20	2000 - 4000	SUMERGIDO
R5	cálido húmedo	20 A 30	2000 - 4000	SUMERGIDO
R6	cálido muy húmedo	20 A 30	>4000	SUMERGIDO

**Tabla 112:** Regiones climáticas por temperatura y precipitación

No	REGIÓN	TEMPERATURA TMAP(°C)	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)
R1	fría seca y semihúmeda	<13	<2000
R2	templado seco y templado semihúmedo	13 A 20	<2000
R3	cálido seco y cálido semihúmedo	20 A 30	<2000
R4	templado húmedo	13 A 20	2000 - 4000
R5	cálido húmedo	20 A 30	2000 - 4000
R6	cálido muy húmedo	20 A 30	>4000

**Fuente:** manual de diseño de pavimentos con medios y altos volúmenes de tránsito.

## 10.1 SUELO DE SUBRASANTE

La subrasante se evaluó mediante ensayos de CBR en laboratorio, sobre muestras inalteradas previamente seleccionadas. Los resultados del ensayo de CBR se resumen en la siguiente tabla, donde encontramos tanto los CBR sumergidos como secos.

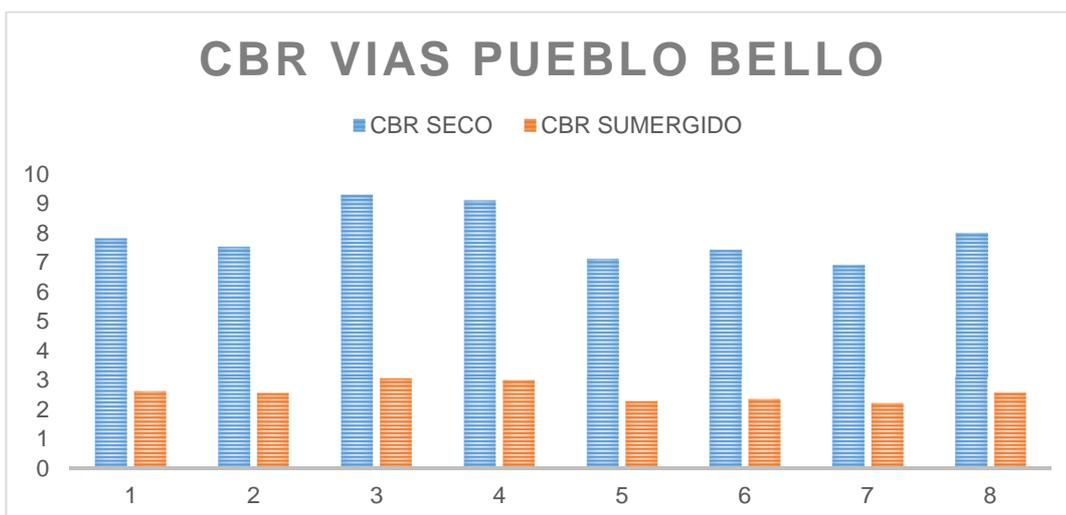
**Tabla 113:** datos del CBR.

N° CBR	CBR (%)	
	SECO	SUMER
CBR No 1	7.31	2.47
CBR No 2	6,84	2.2
CBR No 3	8,42	2.72
CBR No 4	7.53	2.39
CBR No 5	6.74	2.11
CBR No 6	6.40	1.93
CBR No 7	6.11	1.95
CBR No 8	7.56	2.29

**Fuente:** El Autor.

Gráficamente los datos de CBR secos y saturados pueden expresarse de la siguiente forma:

**Grafica 21:** resultados de CBR.



**Fuente:** el autor

Donde el rango de % de CBR de los ensayos secos está comprendido entre los límites de 6,9 a los 9.3, mientras que para los % de CBR saturados se encuentran en límites que van de los 2.2 a los 3.04.

Para el cálculo del CBR de diseño se calcularon los siguientes datos en donde el percentil al 75% equivale a un %CBR de 2.11.

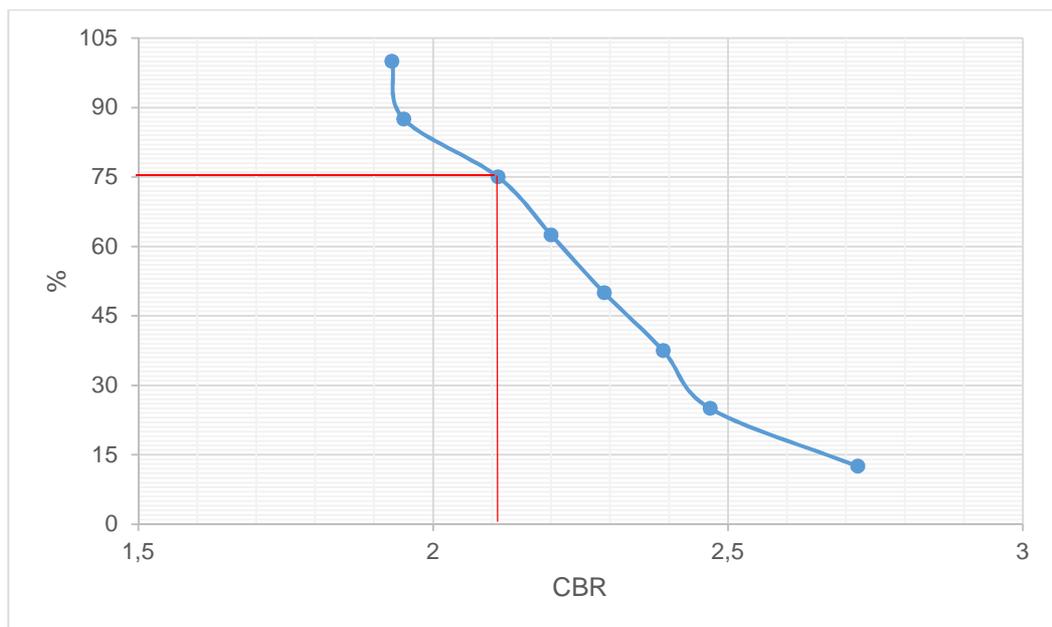
**Tabla 114:** cálculo del CBR de diseño

CBR	%
1,93	100
1,95	87,5
2,11	75
2,2	62,5
2,29	50
2,39	37,5
2,47	25
2,72	12,5

**Fuente:** El Autor.

Calculo grafico del percentil 75 para el CBR de diseño:

**Grafica 22:** CBR de diseño, percentil 75% es de 2,11.



A partir del CBR de diseño obtenido se procede a clasificar el tipo de subrasante según el manual de diseño de pavimento vigente.

**Tabla 115:** clase de sub-rasante según el % CBR y módulo resiliente.

CLASE O TIPO DE SUBRASANTE	CBR %	MODULO RESILIENTE(KG/M2)
S1	<2	< 200
S2	2 a 5	200 - 500
S3	5 a 10	500 - 1000
S4	10 a 20	1000 - 2000
S5	> 20	> 2000

**Fuente:** manual de diseño de pavimentos en concreto.

Las características de plasticidad de los suelos se evalúan mediante correlaciones, con base en los ensayos de clasificación, en la siguiente Tabla, se presenta la correlación con respecto al índice de plasticidad del suelo.

**Tabla 116:** Relación aproximada entre el Índice Plástico – Límite Líquido y la Capacidad de Expansión.

INDICE PLASTICO	POTENCIAL DE EXPANSION	LIMITE LIQUIDO
< 25	BAJO	<50
25 - 35	MEDIO	50 - 60
>35	ALTO	>60

**Fuente:** INV-2013

**Figura 38:** característica como suelo de fundación

SUELO	VALOR COMO SUELO DE FUNDACION	CARACTERISTICAS DE COMPACTACION
SM	ACEPTABLE A BUENO	BUENA
SP	ACEPTABLE	BUENA
GP	BUENO EXCELENTE	BUENA
GM	BUENO EXCELENTE	BUENA A ACEPTABLE

**Fuente:** Diseño de Cimientos. Jaime Suarez Díaz.

Con lo anterior se realiza la evaluación de capacidad de potencial de expansión de la componente fina de los suelos registrados.

**Tabla 117:** Capacidad del potencial de expansión suelos en el municipio de Pueblo Bello

ESTRATO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CAPACIDAD DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN – IP	LIMITE LIQUIDO	CAPACIDAD DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN – LL
SM	NP	BAJO	NL	BAJO
SP	NP	BAJO	NL	BAJO
SP-SM	NP	BAJO	NL	BAJO
SP	NP	BAJO	NL	BAJO
SM	NP	BAJO	NL	BAJO
SP-SM	NP	BAJO	NL	BAJO
SM	NP	BAJO	NL	BAJO
GP-GM	NP	BAJO	NL	BAJO
SM	NP	BAJO	NL	BAJO
GP-GM	NP	BAJO	NL	BAJO
SM	NP	BAJO	NL	BAJO
GP	NP	BAJO	NL	BAJO
SM	NP	BAJO	NL	BAJO
SP-SM	NP	BAJO	NL	BAJO
SM	NP	BAJO	NL	BAJO
GP-GM	NP	BAJO	NL	BAJO

**Fuente:** El Autor.

Los suelos registrados en la zona de acuerdo con los límites clasifican con una capacidad del potencial de expansión bajo.

A partir de los análisis granulométricos realizados se construyó la siguiente tabla donde muestra las características fundamentales del material de subrasante presente en la zona del proyecto.

**Tabla 118:** Capacidad del potencial de expansión suelos en el municipio de Pueblo Bello

APIQUE	MUESTRA	PROFUNDIDA D (metros)	CLASIFICACIÓ N	PROPIEDADES (%)			GRANULOMETRI A % PASA	
				LL	LP	IP	N°4	N°200
1	1	0 – 0.15	SM	NP	NP	NL	99.3	15.2
	2	0.15 – 1.5	SP	NP	NP	NL	72.1	3.2
2	1	0 – 0.15	SP-SM	NP	NP	NL	100	11.1
	2	0.15 – 1.5	SP	NP	NP	NL	58.4	4.1
3	1	0 – 0.10	SM	NP	NP	NL	93.4	17.6
	2	0.10 – 1.5	SP-SM	NP	NP	NL	54.8	8.5
4	1	0 – 0.15	SM	NP	NP	NL	94.8	14.4
	2	0.15 – 1.5	GP-GM	NP	NP	NL	52.7	7.9
5	1	0 – 0.20	SM	NP	NP	NL	98.5	14.6
	2	0.20 – 1.5	GP-GM	NP	NP	NL	50.9	10.2
6	1	0 – 0.20	SM	NP	NP	NL	99.1	15.1
	2	0.20 – 1.5	GP	NP	NP	NL	44.6	4.0
7	1	0 – 0.15	SM	NP	NP	NL	98.6	15.2
	2	0.15 – 1.5	SP-SM	NP	NP	NL	54.4	6.9
8	1	0 - 0.15	SM	NP	NP	NL	98.8	16.4
	2	0.15 – 1.5	GP-GM	NP	NP	NL	51.5	5.7

**Fuente:** El Autor.

SUCS estandariza las características geotécnicas de los suelos para así determinar la utilidad de cada uno de estos en una estructura vial.

**Tabla 119:** características de utilización de los suelos. Según SUCS

SÍMBOLO	PESO VOLUMÉTRICO MÁXIMO TÍPICO (PROCTOR RESTANDAR TON / M3)	COMPRESIBILIDAD Y EXPANSIÓN	PERMEABILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE DRENAJE	CARACTERÍSTICAS COMO TERRAPLÉN	CARACTERÍSTICAS COMO SUBRASANTE	CARACTERÍSTICAS COMO BASE
SM	1.7 a 2.0	ligera	impermeable y mal drenaje	Razonablemente estable en estado compacto	Regular a buena	mala
SP	1.6 a 1.9	Prácticamente nula	Permeable buen drenaje	Razonablemente estable en estado compacto	Regular a buena	mala
GP	1.8 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable muy buenas	estable	Buena a excelente	regular
GM	1.9 a 2.2	ligera	Semipermeable drenaje pobre	estable	Buena a excelente	Regular a mala

**Fuente:** SUCS.

A partir de los resultados obtenidos de las capacidades portantes o cargas admisibles se construyó esta tabla en donde se aprecian las capacidades admisibles en diferentes unidades de medida.

**Tabla 120:** capacidades admisibles.

prof de desplante (mts)	$q_{adm}$	$q_{adm}$	$q_{adm}$
	(ton/m <sup>2</sup> ) B=1.0 metros	(Kg/cm <sup>2</sup> ) B=1,0 metros	(KN/m <sup>2</sup> ) B=1.0 metros
0.5	19,20	1,92	188,28
1.0	19,50	1,95	191,22
1.5	23,20	2,32	227,50
2.0	27,00	2,70	264,76

Teniendo en cuenta los tipos de suelo presentes en el área de estudio, (suelos granulares) y la maquinaria para el proceso de compactación, con base a lo propuesto por Dujisin y Rutland en 1974 en donde clasifican la eficacia del rodillo con respecto al tipo de suelo clasificado según ASSTHO.

**Tabla 121:** comportamiento del rodillo de compactación según el tipo de suelo.

	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
RODILLO LISO	1	2	2	1	1	1	2	2	3	3	4
RODILLO NEUMATICO	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	3
RODILLO PATA DE CABRA	5	5	5	4	4	3	2	2	1	1	1
RODILLO VIBRATORIO	1	1	1	1	1	3	4	3	3	5	5

1-excelente	2-bueno	3-regular	4-deficiente	5-inadecuado
-------------	---------	-----------	--------------	--------------

**Fuente:** Dujisin y Rutland, 1974

Según lo propuesto por Dujisin y Rutland en 1974 el rodillo mas eficaz para los tipos de suelos A-1-a y A-1-B son los rodillos lisos vibratorios.

## 11 CONCLUSIONES.

- ✓ A través de los datos del IDEAM se obtuvo que para el municipio de pueblo bello la región es cálido húmedo con un régimen de temperatura entre los 20 y 30 grados centígrados y está dentro del intervalo de precipitaciones que va desde los 2000 hasta los 4000 mm anuales.
- ✓ De acuerdo con los resultados del Análisis Granulométrico realizado a cada una de las muestras del material que compone la zona de exploración se puede decir que los suelos están conformados por SM, SP, GM y GP de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación U.S.C.
- ✓ De acuerdo con las condiciones de temperatura y precipitación, las condiciones de humedad para el ensayo de CBR tendrá que ser sumergido.
- ✓ El CBR de diseño a utilizar será 2.11.
- ✓ Teniendo en cuenta el manual de diseño de pavimentos del 2007 podemos clasificar esta sub rasante a partir de los datos de CBR sumergido como de tipo: S2 con un módulo resiliente entre 200-500 Kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ Los resultados muestran que los suelos presentes en el tramo vial no tienen plasticidad, no son cohesivos por ende los límites plásticos, líquido y el índice de plasticidad no fueron tomados como referencia y se catalogan suelos NP.
- ✓ Teniendo en cuenta como parámetro las granulometrías realizadas y los estipulado en inciso H.2.5 del NSR-10 se puede concluir que los suelos son NO cohesivos hasta la profundidad de exploración de 1.5 metros que es material donde se debe cimentar.
- ✓ SUCS indica que los suelos presentan características muy favorables como material de sub-rasante, limitadas en tanto a características de terraplén, consideradas estables y regulares a malas como material para bases.
- ✓ A partir del análisis de las capacidades admisibles se observa que a la profundidad calculada el suelo presenta un intervalo de capacidades que va de los 19 ton/m<sup>2</sup> a los 0,5 m hasta las 27 ton/m<sup>2</sup> que se presenta a la máxima profundidad calculada (2m).
- ✓ como suelos de fundación se consideran buenos a excelentes los suelos de tipo GP y GM los cuales predominan el área de estudio.

- ✓ las características de compactación de los suelos SM, SP, GM y GP van de buenas a excelentes.

## 12 RECOMENDACIONES

- ✓ Con el fin de garantizar homogeneidad de la subrasante se debe retirar todo suelo inadecuado de las zonas que contiene material orgánico plástico u otros materiales extraños que tengan una calidad inferior a la predominante y sustituirlos por otros adecuados.
- ✓ Es necesario compactar el terreno para así asegurar la vida útil de la obra, se recomienda el rodillo liso vibratorio, ya que es el más adecuado para el tipo de suelo presente en el área.
- ✓ Construir todas las obras hidráulicas requeridas en el estudio hidrológico e hidráulico de la vía con lo cual se evite la erosión de los materiales que conforma la estructura de pavimento.
- ✓ Se recomienda especial cuidado en la colocación de las tuberías por donde circulen aguas (negras y blancas), principalmente en lo referente a juntas, a fin de prevenir filtraciones.
- ✓ Al remover la capa vegetal y el relleno de materiales sobrantes de construcción existente, si es indispensable utilizar material de relleno estructural o terraplén estos deben cumplir con las siguientes condiciones:

<b><u>Granulometría</u></b>	
TAMIZ	Porcentaje que Pasa
3"	100
No. 10	20 → 70
No. 40	10 → 50
No. 200	5 → 25

**Límites en Fracción Tamiz # 40**

Límite Líquido	< 35%
Índice de Plasticidad	< 10%

**Compactación**

Capas sueltas	≤ 0.20 m
Densidad Máxima	γ máx. 95 %

PROCTOR Modificado

La calidad del material colocado se controlará realizando ensayos de densidad in-situ, a razón de un ensayo por cada 200 m<sup>2</sup> de área compactada en todo caso cumplir con los parámetros del artículo 220-13 referente al material de Terraplén de las especificaciones de Instituto Nacional de Vías.

### 13 CRONOGRAMA

<b>NOMBRE DE LA TAREA</b>	<b>DURACION (días)</b>	<b>DESDE</b>	<b>HASTA</b>
<i>recopilación de información previa el muestra.</i>	1	10/04/2016	11/04/2016
<i>Toma de muestras de suelos en campo.</i>	1	11/04/2016	12/04/2016
<i>Realización de los ensayos necesarios en laboratorio.</i>	1	12/04/2016	13/04/2016
<i>Recopilación de datos los datos básicos del sitio.</i>	30	13/04/2016	13/05/2016
<i>Cartografía geológica del tramo vial.</i>	30	13/04/2016	13/05/2016
<i>Análisis de los datos tomados tanto en campo como en laboratorio.</i>	61	13/05/2016	13/07/2016
<i>Elaboración de mapas geológicos y amenaza por remoción en masa con base a los datos recogidos en campo.</i>	31	13/07/2016	13/08/2016
<i>Elaboración del informe geotécnico y entrega del proyecto.</i>	62	13/07/2016	13/09/2016

## 14 LOGROS ALCANZADOS

Objetivos fijados	% de cumplimiento del objetivo
Detectar las alteraciones que puedan existir en cuanto a la cimentación relacionada a la geología, los materiales que componen el suelo y la topografía del terreno.	100 %
Elaborar el Análisis Granulométrico (Límites Líquido – Plástico e índice de Plasticidad) de las muestras obtenidas en campo.	100 %
Determinar las amenazas y movimientos sísmicos, así como los efectos locales para el diseño resistente de la estructura.	100%
Realizar apiques para la determinación de los perfiles del suelo y su respectivo diseño de cimentaciones	100%
Efectuar las recomendaciones indicadas en cuanto a la profundidad y el sistema de cimentación más adecuado de acuerdo a las características de la estructura, de la geología y de los suelos de la zona escogida para la construcción del proyecto.	100%
Calcular la correspondiente capacidad de soporte del terreno para la cimentación	100 %
Recomendar los procesos geotécnicos necesarias para mitigar los efectos de los problemas geotécnicos identificados	100 %

## 15 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BRAJA M DAS. Fundamentos de ingeniería geotécnica, México: Thompson Learning.2001.
- CBR (california bearing ratio)- Universidad Nacional de Ingeniería (FIC – CISMID)- ING. LUIS CHANG CHANG.
- Diseño y conservación de pavimentos rígidos universidad nacional autónoma de México.
- HIGUERA SANDOVAL CARLOS HERNANDO, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras, Colombia: U.p.t.c.2010.
- Ingeniería de pavimentos -Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de placa huella-universidad militar nueva granada- ING. JAVIER FERNANDO CAMACHO.
- I.N.V E- 101-13 investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería.
- I.N.V E-102-13 descripción e identificación de suelos.
- I.N.V E- 123-13 análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- I.N.V E- 126-13 límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- I.N.V E- 142-13 relaciones de humedad – masa unitaria seca en los suelos.
- I.N.V E- 148-13 relación de soporte del suelo en el laboratorio.
- JUÁREZ B. E. & RICO R. A. 2001. Mecánica de Suelos. Tomo II: teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos.
- Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito- MINISTERIO DE TRANSPORTE • INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.
- RICO RODRIGUEZ, DEL CASTILLO HERMILO. La ingeniería de suelos en las vías terrestres vol. 2.
- SÁNCHEZ SABOGAL FERNANDO. Pavimentos, INVIAS, Colombia, 1980.

## 16 ANEXOS

### 16.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO

**Ilustración 5:** muestreo de suelos 1.



**Ilustración 6:** muestreo de suelos 2.



**Ilustración 7:** muestras de suelo



**Ilustración 8:** toma de muestras de CBR.



**Ilustración 9:** muestreo de CBR.



**Ilustración 10:** muestreo de suelo 3



## 16.2 GRANULOMETRÍAS

### **16.3 RESULTADOS CBR**