

**CAPACIDAD DE CARGA SUPERFICIAL OBTENIDA A PARTIR DE
CORRELACIONES CON ENSAYOS DE CAMPO EN SUELOS DE LA
CIUDAD DE VALLEDUPAR**

EBERTO RAFAEL ORTEGA SINNING

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDERUIS
FACULTAD DE FÍSICOMECÁNICAS
MAESTRÍA EN GEOTECNIA
BUCARAMANGA
2012**

**CAPACIDAD DE CARGA SUPERFICIAL OBTENIDA A PARTIR DE
CORRELACIONES CON ENSAYOS DE CAMPO EN SUELOS DE LA
CIUDAD DE VALLEDUPAR**

EBERTO RAFAEL ORTEGA SINNING

**Trabajo de grado Maestría en Geotecnia para optar
al título de Magister en Geotecnia**

**Director del Proyecto
WILFREDO DEL TORO RODRÍGUEZ
Ingeniero Civil M. Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDERUIS
FACULTAD DE FÍSICOMECÁNICAS
MAESTRÍA EN GEOTECNIA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

*A mis padres, a mi esposa e hijos por estar siempre a mi lado
escalando cada pedacito de la vida.*

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Dios dador de vida y de toda la existencia por ser el nuestro apoyo incondicional y que me dio todos los medios para poder obtener otro logro en mi vida profesional.

A Eberto Ortega Díaz y Aida Sinning Acosta por ser unos padres que siempre me motivaron a salir adelante y a esforzarme a conseguir metas que hoy son realidad.

A Angélica Patricia Vanegas Padilla (el amor todo lo puede), gracias a su amor y apoyo incondicional hoy logro esta meta seguro que se debe a su amor, tolerancia y apoyo incondicional, gracias a su amor gran parte de esta meta es de ella.

A Mateo, Ana María, Lucas Daniel y Sofía Alejandra mis hijos que son los motivadores de mi vida, pues con mi ejemplo ellos podrán ser hombres de bien en un futuro cercano

A mis hermanos Cristian Ortega Sinning y Boris Ortega Sinning mis consejeros día a día, con su apoyo hoy logro esta meta que es la continuación de los consejos de nuestro Padre.

A Emilio Araoz Solano y Ernesto Astahona Suarez ingenieros que han sido ejemplo y profesores de la vida.

A todos los docentes de la Maestría en Geotecnia que nos transmitieron sus conocimientos sin reparos con el objeto de que todos creyéramos en nuestros conocimientos y que seamos un ejemplo de ellos en el campo profesional

RESUMEN

TITULO: **CORRELACIONES CON ENSAYOS DE CAMPO EN SUELOS DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR CORRELACIONES CON ENSAYOS DE CAMPO EN SUELOS DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR”.**

AUTOR: EBERTO RAFAEL ORTEGA SINNING**

PALABRAS CLAVES: Ensayo de Penetración Estándar SPT, Penetrómetro Dinámico de Cono PDC, Correlación, Capacidad Soporte de Suelo CBR, Depósitos Aluviales.

Se reconocieron los suelos del Municipio de Valledupar – Cesar requiriendo otras alternativas para incrementar las posibilidades de estudio y poder así obtener resultados más efectivos a la hora de ser investigados en campo y evaluados en Laboratorio y cálculos de oficina, mediante estos se obtienen datos de capacidad de carga superficial, estos se podrán aplicar para el desarrollo de obras de infraestructura en la región; por lo tanto se realizó esta investigación la cual con la intención de brindar facilidad en la obtención de capacidades de carga con equipos que gozan de mayor practicidad a la hora de efectuar cualquier ensayo de campo. Este análisis también contiene la caracterización y zonificación de los suelos de la ciudad de Valledupar – Cesar. La metodología utilizada es fundamentada en las pautas y directrices que plantean los ENSAYOS DE CAMPO Y LAS POSIBLES CORRELACIONES PARA OBTENCIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA, mediante la realización de treinta (30) **ENSAYOS DE PENETRACIÓN NORMAL (SPT) MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO I.N.V. E – 111 – 07, MÉTODO DE ENSAYO NORMAL PARA EL USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN APLICACIONES DE PAVIMENTOS A POCA PROFUNDIDAD I.N.V. E – 172 – 07 Y RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E – 148 – 07.** Cabe indicar que estos ensayos se realizaron cumpliendo especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras emitidas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) del año 2007 las cuales fueron aplicadas para la elaboración del presente proyecto de tesis con el fin de ajustarnos a una normatividad de Colombia y que estos en algún momento sirvan para futuros proyectos de investigación.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: M.Sc. Wilfredo del Toro Rodríguez

SUMMARY

TITULO: SURFACE LOAD CAPACITY OBTAINED FROM CORRELATIONS WITH FIELD TRIALS FLOORS IN THE CITY VALLEDUPAR.

AUTOR: EBERTO RAFAEL ORTEGA SINNING

PALABRAS CLAVES: SPT Standard Penetration Test, Dynamic Cone Penetrometer PDC, Correlation, Soil Capacity Support CBR, alluvial deposits.

Today the grounds of the municipality of Valledupar - Cesar require alternatives to increase the possibilities of study and to obtain more effective results when being investigated in field tests under laboratory and office calculations, using these data are obtained load surface, these may be applied to the development of infrastructure in the region, so this research was conducted which intended to provide ease in obtaining capacities with computers to enjoy greater convenience when making any field trial. This analysis also includes the characterization and zoning of land in the city of Valledupar - Cesar.

The methodology is based on the standards and guidelines that raise the field trials and any correlation FOR OBTAINING CAPACITY, by conducting thirty (30) NORMAL penetration tests (SPT) SOIL SAMPLING TUBE INV PARTY E - 111 - 07, STANDARD TEST METHOD FOR USING THE Dynamic Cone Penetrometer PAVEMENT IN APPLICATIONS shallow INV E-172 - 07 AND RELATED SUPPORT SOIL IN THE LAB (Laboratory CBR) INV E - 148 - 07. It should be noted that these tests were carried out under general specifications of road construction and testing standards for road materials issued by the National Roads Institute (INVIAS) of 2007 which were applied to the preparation of this thesis in order to adjust to a standardization of Colombia and serve these at some point for future research project.

* Master's Thesis

**Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: M.Sc. Wilfredo Del Toro Rodríguez

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACION	18
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. MARCO REFERENCIAL	21
4.1 MARCO TEORICO	21
4.2 MARCO LEGAL	25
4.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL (SPT) Y MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO - I.N.V. E – 111 – 07	25
4.2.2 RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO Y CAMPO) - I.N.V. E – 148 – 07	27
4.3 MARCO CONCEPTUAL	32
5. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO Y/O ZONA DE ESTUDIO	34
6. METODOLOGIA	41
6.1.1 POBLACIÓN Y MUESTRA	41
6.2 EQUIPOS E INSTALACIONES DE LABORATORIO	42
6.2.1 MATERIALES DE LABORATORIO	42
ENTRE LOS DIFERENTES EQUIPOS UTILIZADOS TENEMOS:	42
6.3.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL	43
6.6.5 INFLUENCIA DE LA PROFUNDIDAD	46
6.6.7 DETERMINACIÓN DEL CBR DE SUELOS REMOLDADOS ASTM D 1883	48
6.6.7.1 EQUIPO PARA LA COMPACTACIÓN	48
6.6.7.2 PARA LA PRUEBA DE PENETRACIÓN	49
6.6.8.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y HUMEDAD	49

6.7 ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO	49
6.7.1 DESCRIPCIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO	50
<u>7. ANTECEDENTES</u>	<u>50</u>
7.1 ANTECEDENTE 01	51
7.2 ANTECEDENTE 02	51
7.3 ANTECEDENTE 03	52
<u>8. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA EN ESTUDIO</u>	<u>53</u>
8.1 EL MUNICIPIO Y LA REGIÓN	54
8.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO	54
8.3 CARACTERISTICAS DEMOGRAFICA	56
8.3.1 COMPORTAMIENTO POBLACIONAL MUNICIPAL	56
8.3.2 GRUPOS INDÍGENAS	59
8.4 GEOMORFOLOGÍA	60
8.4.1 LLANURA ALUVIAL DE PIEDEMONTE Y/O TERRAZAS ALUVIALES EN CLIMA CÁLIDO SECO (VC-D)	60
8.4.2 VALLE ALUVIAL (VC-E)	61
8.5 MARCO GEOLÓGICO GENERAL	62
8.5.1 GEOLOGÍA REGIONAL	63
8.7 CLIMATOLOGÍA	67
<u>9. PARAMETROS CORRELACIONADOS</u>	<u>68</u>
9.1 CORRELACIÓN N ENSAYOS DE PENETRACIÓN NORMAL VS N ENSAYO DE PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO	68
9.2 RELACION N ENSAYO DE PENETRACION NORMAL Y LA CAPACIDAD ADMISIBLE	75
9.2.1 INFORMACIÓN DE AMENAZA SISMICA EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR	75
9.3 RELACIÓN ENSAYO DE PENETROMETRO DINÁMICO DE CONO P.D.C Y LA CAPACIDAD ADMISIBLE	83
9.4 RELACION CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO (CBR) Y CAPACIDAD ADMISIBLE	91
9.4 RELACION ENTRE MILIMETROS POR GOLPE Y EL PORCENTAJE DE CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO OBTENIDO POR MEDIO DE MUESTRAS INALTERADAS.	98
<u>10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	<u>105</u>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cargas Unitarias CBR	48
Tabla 2. Resumen de Resultados obtenidos en el Area de Estudio	69
Tabla 3. Información Amenaza Sísmica del Departamento del Cesar	76
Tabla 4. Capacidad Admisible Vs Ensayo de Penetración Normal.....	77
Tabla 5. Capacidad Admisible Vs Ensayo de Penetración Dinámica de Cono	84
Tabla 6.Capacidad Admisible Vs Capacidad de Soporte del Suelo (CBR).....	91
Tabla 7. Milímetros por Golpe Vs % de Capacidad Soporte del Suelo muestras Inalteradas.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ensayo Penetración Estándar, Barrio San Fernando	21
Figura 2. Ensayo Penetración Dinámica de Cono, Barrio San Fernando	23
Figura 3. Determinación de CBR en Campo	24
Figura 4. Marco Legal INVIAS	25
Figura 5. Esquema Procedimiento Ensayo Penetración Estándar	25
Figura 6. Esquema Equipo para Análisis de CBR de Campo.....	27
Figura 7. Esquema Penetrómetro Dinámico de Cono	31
Figura 8. Ubicación de Valledupar	35
Figura 9. E.G Para Construcción de Viviendas en el Barrio San Fernando, Ciudad de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos).....	36
Figura 10. E.G Para Construcción de Coliseo de Ferias en la Ciudad de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos).....	37
Figura 11. E.G Para Construcción de Edificaciones en el Colegio Milciades Cantillo Costa en el Municipio de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos....	38
Figura 12. E.G Para La Construcción de Bodegas en la Calle 44 en el Municipio de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos).	39
Figura 13. E.G Para La Construcción de Viviendas de 1 y 2 Pisos en el Barrio Don Carmelo en la ciudad de Valledupar, Cesar (Ubicación de Apiques y/o Sondeos).	40
Figura 14. Esquema Toma Muestras SPT	44
Figura 15. Ecuación para Determinación de CBR	48
Figura 16. Localización Geográfica del Departamento y del Municipio de Valledupar - Cesar.....	54
Figura 17. Municipio de VALLEDUPAR - CESAR y Localización de La Zona Urbana del Municipio.....	55
Figura 18. Municipio de Valledupar - Cesar Población y Tasas de Crecimiento Intercensales	57
Figura 19. Estudio de Estratificación Urbana Valledupar - Cesar	58
Figura 20. Anuario Departamental Grupos Indígenas Cesar 1999.....	59
Figura 21. Geomorfología Municipio de Valledupar – Cesar	60
Figura 22. Geomorfología del Municipio de Valledupar-Cesar	61
Figura 23. Marco Geológico General Departamento del Cesar	62
Figura 24. Codificación Unidades Cronoestratigrafías Departamento del Cesar	63
Figura 25. Localización Geológica de Valledupar (Qcal).....	63
Figura 26. Localización Hidrográfica Departamento del Cesar.....	66

Figura 27. Mapa de Riesgos del Departamento del Cesar 75

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. N PDC Vs N SPT.....	70
Gráfica 2. N PDC Vs N SPT	71
Gráfica 3. N PDC Vs N SPT	71
Gráfica 4. N PDC Vs N SPT	72
Gráfica 5. Grafica No 5 – N PDC Vs N SPT	73
Gráfica 6. N PDC Vs N SPT	74
Gráfica 7. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	78
Gráfica 8. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	78
Gráfica 9. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	80
Gráfica 10. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	81
Gráfica 11. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	82
Gráfica 12. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE.....	85
Gráfica 13. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE.....	86
Gráfica 14. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE.....	87
Gráfica 15. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE.....	88
Gráfica 16. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE.....	89
Gráfica 17. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE.....	90
Gráfica 18. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	92
Gráfica 19. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	93
Gráfica 20. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	94
Gráfica 21. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	95
Gráfica 22. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	96
Gráfica 23. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE	97
Gráfica 24. mm/Golpes Vs % CBR	99
Gráfica 25. mm/Golpes Vs % CBR	100
Gráfica 26. mm/Golpes Vs % CBR	101
Gráfica 27mm/Golpes Vs % CBR	102
Gráfica 28. mm/Golpes Vs % CBR	103
Gráfica 29. mm/Golpes Vs % CBR	104

INTRODUCCION

Vencer los paradigmas de la Geotecnia es uno de los retos que los ingenieros poseen con el fin de poder realizar obras que desean realizar, desde un comienzo se ha establecido en la biblia que el hombre debe cimentar sobre una roca como se establece en Mateo 16:13-18, ***sobre esta roca edificaré mi iglesia***, por lo tanto los geotecnistas tenemos la intención de lograr medidas, las más exactas posibles al momento de evaluar las capacidades de carga para una edificación de cualquier índole, por lo tanto se requiere de investigaciones que nos generen medidas eficientes y efectivas que nos proporcionen soluciones al momento de evaluar capacidad portante.

Dentro de esta investigación es vital realizar una serie de ensayos que nos proporcionen medidas de capacidad de carga y que nos faciliten la disminución de los costos al momento de realizar las investigaciones geotécnicas, por ende es fundamental realizar evaluaciones de capacidad superficial de carga por medio del Ensayo de Penetración Normal SPT y a partir de los mismos evaluar la capacidad de carga y relacionar esta con ensayos más económicos y prácticos como el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono PDC, el ensayo de Capacidad de Soporte del suelo C.B.R, con los cuales se podría establecer la capacidad superficial mediante correlaciones con el Ensayo de Penetración Normal (SPT).

Para la realización de esta investigación fueron fundamentales los trabajos de campo que se requirieron para lograr los objetivos trazados, por lo tanto se elaboraron una cantidad considerable de los mismos en la ciudad de Valledupar, posterior a esta fase se dió la ejecución de otros ensayos en los mismos sitios y a las mismas profundidades (ensayos de SPT y CBR) estos se interrelacionaron o correlacionaron para la obtención de unos resultados favorables en aras de ampliar las alternativas geotécnicas en los trabajos de Ingeniería Civil.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la ciudad de Valledupar tiene la dificultad de realizar la investigación del subsuelo por medio de la utilización del Ensayo de Penetración Normal, por la presencia de materiales clastosoportados con bolos de hasta 30 cm, por lo tanto se requiere buscar alternativas que nos permitan determinar establecer el valor de N con el cual se establece la capacidad portante para cimentaciones superficiales con ensayos de campo con los cuales se puedan realizar los estudios para determinar o establecer este número de golpes, por lo tanto se busca correlacionar este ensayo con el ensayo de Relación de soporte del suelo (CBR sobre muestras inalteradas) y con el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono y de esta forma obtener valores de N que sirve para obtener datos de capacidad portante de los suelos.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Causas: En la actualidad solo se utiliza un solo método para obtener Cargas Superficiales, generando este proyecto una inquietud para obtener diversas alternativas y ampliar la gama de opciones para conseguir los mismos resultados.

Consecuencias: Iniciar la caracterización de los suelos en la ciudad de Valledupar y propender a la creación de un banco de datos accesible a la comunidad directamente interesada.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En la actualidad con qué correlaciones relevantes cuentan los Estudios Geotécnicos realizados en la ciudad de Valledupar, para lograr minimizar los costos de investigación en el sub-suelo y así mismo obtener diferentes métodos para poder determinar las capacidades superficiales del mismo?

2. JUSTIFICACION

En la actualidad la investigación geotécnica en la ciudad de Valledupar ha cobrado mucha vigencia, debido a los múltiples ensayos que a diario se realizan para analizar geotécnicamente el comportamiento de los suelos en el Municipio.

Durante el desarrollo del proceso investigativo de se realizaron los ensayos correspondientes con la normatividad colombiana establecida para tal fin, así mismo se efectuó una interrelación entre el número golpes y ensayos de campo, basado en el conocimiento científico para su utilización en proyectos de ingeniería en la ciudad de Valledupar en búsqueda de una alternativa que nos facilite la determinación de la Capacidad de Soporte del suelo para cimentaciones superficiales y poder así contribuir al desarrollo de la investigación en Geotecnia en la región caribe.

Es de vital importancia en el ámbito de la Ingeniería conocer y saber determinar la posible correlación entre el número de golpes N obtenido del Ensayo de Penetración Normal y ensayos de campo como la Relación de Soporte del suelo (CBR inalterado) y el Penetrómetro Dinámico de Cono, debido a que lo anterior permite la consecución de la capacidad de soporte del suelo en la ciudad de Valledupar. El proyecto debe establecer un nuevo conocimiento sobre aspectos puntuales mediante los diferentes ensayos mencionados anteriormente.

De acuerdo a lo descrito, este estudio pretende establecer capacidad de carga superficial obtenida a partir de correlaciones con ensayos de campo. Teniendo en cuenta que el Ensayo de Penetración Estándar SPT se encuentra estandarizado por la ASTM D-1586, se infiere que su objetivo es el de obtener muestras representativas del suelo para fines de identificación y ejecución de ensayos en laboratorio, además de medir la resistencia a la penetración de la cuchara normal de muestreo. Su utilización no se limita a suelos granulares, el ensayo también puede ejecutarse en arcillas y rocas suaves.

Existen una serie de correlaciones con el número de penetración estándar que se refiere al número de golpes necesarios para la penetración de los últimos dos tramos de 6 pulgadas de la cuchara, gracias a esto se puede obtener de forma rápida los parámetros de los suelos estudiados. Por esta razón es una de las pruebas de campo más realizadas, como un indicador del comportamiento del suelo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer el valor del número de golpes N para determinar la capacidad portante a partir de las posibles correlaciones con ensayos de campo como la Relación de Soporte del suelo y el Penetrómetro dinámico de cono para cimentaciones superficiales.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar 30 ENSAYOS DE PENETRACIÓN NORMAL SPT, de acuerdo a la norma I.N.V.E.-111-07, en el municipio de Valledupar - Cesar.
- Efectuar 30 ensayos de RELACION DE SOPORTE DEL SUELO (CBR sobre muestras inalteradas) C.B.R de acuerdo a la norma I.N.V.E.-148-07, en el municipio de Valledupar - Cesar. En los mismos puntos de los Ensayos de Penetración Normal
- Desarrollar 30 ensayos de PENETROMETRO DINAMICO DE CONO, en el municipio de Valledupar - Cesar. En los mismos puntos de los Ensayos de Penetración Normal
- Realizar la caracterización de los materiales obtenidos en el trabajo de campo
- Identificar los diferentes tipos de suelos en el plano de la ciudad de Valledupar en los lugares donde se realizaran los ensayos de Ensayo de Penetración Normal, Capacidad de Soporte del Suelo y Penetrómetro Dinámico de Cono.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEORICO

El **Ensayo de Penetración Estándar** o **SPT**, es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico. Constituye el ensayo o prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación.

Figura 1. Ensayo Penetración Estándar, Barrio San Fernando



Fuente. Consultor

Consiste en medir el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que permite tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior. El peso de la masa está normalizado, así como la altura de caída libre, siendo de 63'5 kilopondios y 76 centímetros respectivamente.

Una ventaja adicional es que al ser la cuchara SPT una toma muestras, permite visualizar el terreno donde se ha realizado la prueba y realizar ensayos de

identificación, y en el caso de terreno arcilloso, de obtención de la humedad natural. El ensayo SPT tiene su principal utilidad en la caracterización de suelos granulares (arenas o gravas arenosas), en las que es muy difícil obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio.

Al estar su uso muy extendido y dispone de una gran experiencia geotécnica en estas pruebas, se han planteado correlaciones entre el golpeo SPT y las características de los suelos arenosos, así como con diversos aspectos de cálculo y diseño geotécnico. También existen correlaciones en el caso de que el terreno sea cohesivo, pero al ser un ensayo prácticamente instantáneo, no se produce la disipación de los incrementos de presiones intersticiales generados en estos suelos arcillosos por efecto del golpeo, lo que claramente debe influir en el resultado de la prueba.

Por ello, tradicionalmente se ha considerado que los resultados del ensayo SPT (y por extensión, los de todos los penetrómetros dinámicos) en ensayos cohesivos no resultan excesivamente fiables para la aplicación de correlaciones. En la actualidad, este criterio está cuestionado, siendo cada vez más aceptado que las pruebas penetrométricas pueden dar resultados igualmente válidos en todo tipo de suelo. En cualquier caso, al margen de la validez o existencia de correlaciones, el valor del golpeo obtenido en un ensayo de penetración simple es un dato indicativo de la consistencia de un terreno susceptible de su utilización para la caracterización o el diseño geotécnicos.

El Penetrómetro Dinámico de Cono (P.D.C) es una herramienta simple y sencilla que permite realizar de una manera expeditiva, una auscultación situ de las capas de suelo, granulares y levemente cementadas componentes de un pavimento durante su construcción en su etapa de servicio.

Figura 2. Ensayo Penetración Dinámica de Cono, Barrio San Fernando



Fuente. Autor

El principio de funcionamiento es muy simple: una sonda con su extremo en forma de cono penetra a través de las capas en forma continua bajo la acción dinámica de una masa M que cae libremente desde una altura H , ambas fijas y preestablecidas.

La penetración medida es una función de la resistencia al corte “in situ” de los materiales y el perfil de resistencia en profundidad, da una indicación de las propiedades de los materiales de todas las capas de la estructura hasta una profundidad de auscultación determinada. El equipo es liviano, fácilmente transportable por una persona y su operación es totalmente manual, no requiriendo para la ejecución de la prueba de ningún otro dispositivo auxiliar.

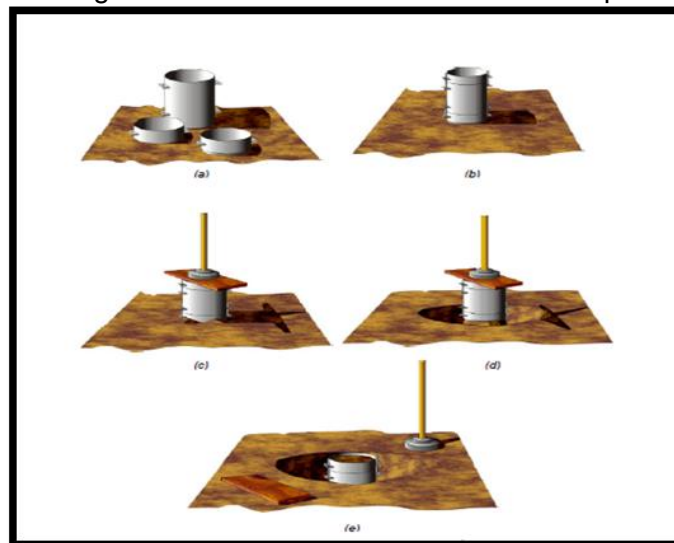
Las correlaciones más usuales que proporcionan tanto una caracterización geotécnica del terreno como definiciones estructurales, son las que utilizan los resultados del ensayo SPT. Por lo tanto, resulta interesante establecer una relación entre los golpes de pruebas con Penetrómetro continuo, y los que se hubieran obtenido si se hubieran ejecutado ensayos SPT.

Al contrario que en el caso de comparación entre distintos penetrómetros dinámicos continuos, no es fácil obtener una relación. SPT - Penetrómetro dinámico continuo. Y esto se debe a que tanto el útil de penetración (cuchara

frente a punta cónica), como la forma de ejecución (fondo de sondeo frente a penetración con varillaje desde superficie), son radicalmente distintos.

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de Soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73.

Figura 3. Determinación de CBR en Campo



Fuente. Autor

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%. Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida

para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada.

4.2 MARCO LEGAL

Figura 4. Marco Legal INVIAS

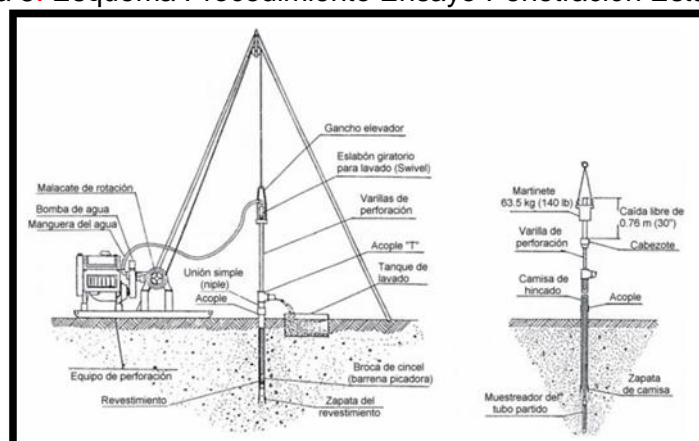


Fuente. Autor

El INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS – INVÍAS, en uso de sus facultades ha establecido dentro de su normativa una serie de procedimientos y ensayos para llevar a cabo los proyectos de Ingeniería en el territorio nacional, cabe indicar que para efectos de este proyecto se utilizaron los siguientes artículos:

4.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL (SPT) Y MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO - I.N.V. E – 111 – 07

Figura 5. Esquema Procedimiento Ensayo Penetración Estándar



Fuente. Autor

Este método describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standard Penetration Test - SPT), para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador. Los valores establecidos en unidades SI deben considerarse como la norma.

Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicación de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso.

Este método proporciona una muestra de suelo para investigación y ensayos de laboratorio a partir de un muestreador, el cual puede producir gran alteración en la muestra debido a deformación por corte. El método es ampliamente usado en la gran mayoría de proyectos de exploración geotécnica y, por lo tanto, pueden existir correlaciones locales de la cuenta de golpes **N**, con el comportamiento en ingeniería de obras de tierra y fundaciones.

La perforación se deberá avanzar por incrementos, de manera que permita una toma de muestras intermitente o continua. Generalmente, los intervalos y profundidades de ensayos se encuentran estipulados. Típicamente, el intervalo escogido es de 1.5 m (5 pies) o menos en estratos homogéneos, con su respectivo muestreo a cada cambio de estrato.

Se podrá aceptar cualquier procedimiento de perforación que proporcione un agujero limpio y estable, antes de insertar el muestreador, y que garantice que el ensayo de penetración se efectúa sobre suelos esencialmente inalterados.

Se deberán considerar las condiciones subterráneas esperadas, cuando se escoge el método de perforación. Los procedimientos siguientes se pueden considerar aceptables:

Método de perforación de orificio abierto.

Método de empleo de broca de espiral continua con vástago vacío.

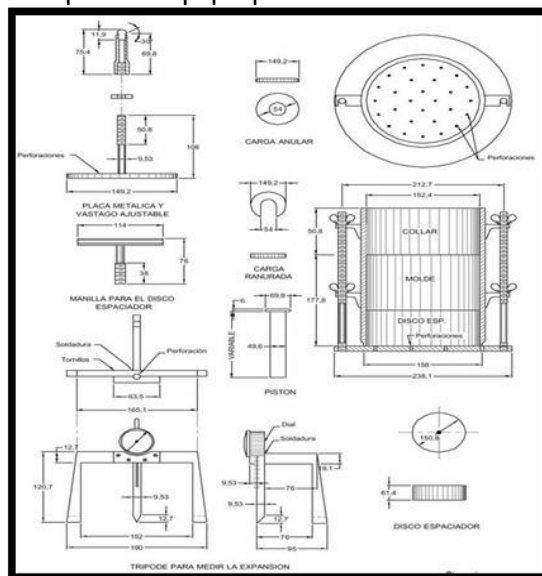
Método de perforación con lavado.

Método de empleo de broca de espiral continua con vástago sólido.

Algunos métodos de perforación producen orificios inaceptables. El proceso de inyección por medio de un muestreador de tubo abierto para luego sacar la muestra al llegar a la profundidad deseada no está permitido. El método con broca sólida de espiral continuo no debe usarse para el avance de la perforación por debajo del nivel del agua freática ni por debajo del lecho confinador superior de un estrato confinado no cohesivo que recibe presión de aguas artesianas. El entubado no debe llegar por debajo de la profundidad del muestreo, antes de realizarse el muestreo. No se permite la perforación con brocas de descarga hacia abajo. Tampoco se permite adelantar la perforación para futura introducción del muestreador sólo por medio de muestreos previos con el muestreador SPT.

4.2.2 RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO Y CAMPO) - I.N.V. E – 148 – 07

Figura 6. Esquema Equipo para Análisis de CBR de Campo



Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado relación de soporte de California, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). Este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (3/4"). Cuando se van a ensayar materiales con contenidos máximos de tamaños de partículas mayores de 19 mm (3/4"), este método de ensayo provee la forma de modificar la gradación del material, de manera que el usado para las pruebas pase todo por el tamiz de 19.0 mm (3/4") a la vez que mantiene constante la fracción del total de la grava entre 75 mm (3") y 4.75 mm (No.4). Aunque tradicionalmente éste método de preparación de especímenes ha sido empleado para evitar el error inherente en la prueba de materiales que contienen partículas gruesas en el equipo de prueba de CBR, el material modificado puede tener propiedades de resistencia significativamente diferentes a las del material original. Sin embargo, una gran base de experiencia se ha desarrollado usando este método para materiales en los cuales la gradación ha sido modificada y están en uso métodos satisfactorios de diseño, basados en los resultados de pruebas usando este procedimiento.

La experiencia han demostrado que los resultados del CBR para aquellos materiales que contienen porcentajes sustanciales de partículas retenidas en el tamiz 4.75 mm (No.4), son más variables que los de materiales más finos. En consecuencia, se puede requerir más pruebas para estos materiales con el fin de establecer un CBR confiable.

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad. Las masas unitarias secas de los especímenes corresponden generalmente a un porcentaje de la masa unitaria seca máxima del ensayo normal (INV E – 141), o del modificado (INV E – 142); pero también se puede operar en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso.

Este método de prueba se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, sub - base y base, incluyendo materiales reciclados para empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR es bajo, tales como materiales de grano grueso sin cohesión, o cuando se permita una tolerancia en relación con el efecto de diferentes contenidos de agua de compactación en el procedimiento del diseño, el CBR se puede determinar al contenido óptimo de agua de un esfuerzo de compactación especificado. La masa unitaria seca especificada corresponde, generalmente, al porcentaje mínimo de compactación permitido al usar las especificaciones para compactación en el campo.

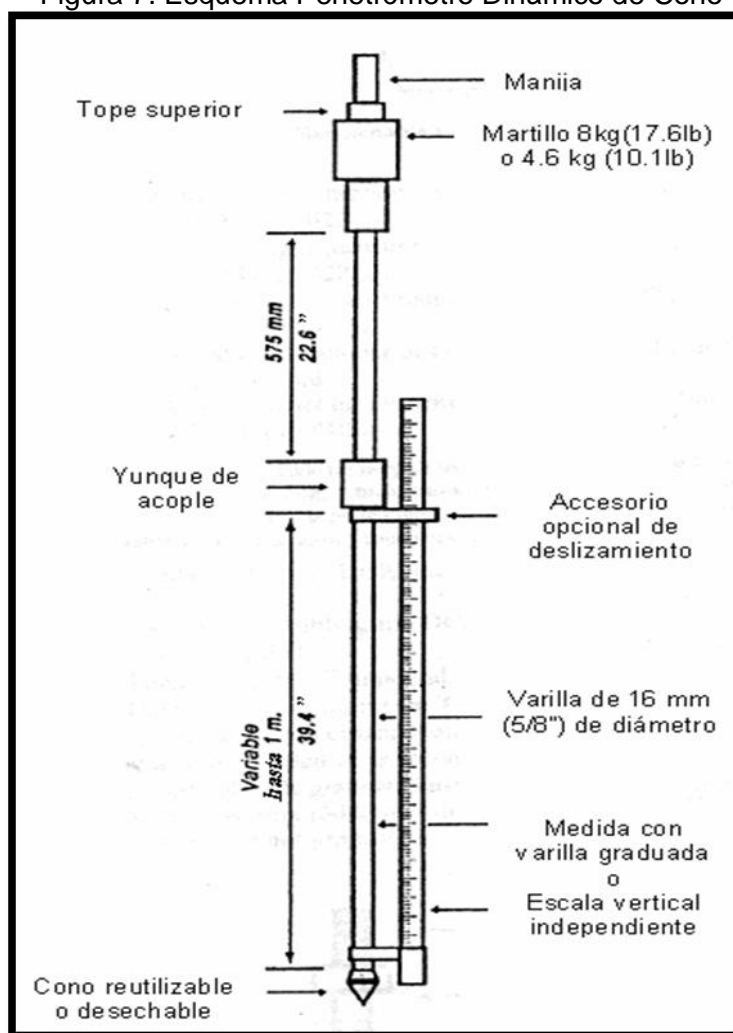
Para aplicaciones en las cuales el efecto del contenido de agua de compactación sobre el CBR se desconoce, o en las cuales se desea tener en cuenta su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, usualmente el permitido para compactación en el campo empleando las especificaciones existentes para tal fin.

El criterio para la preparación de especímenes de prueba de materiales autocementantes (y otros), los cuales ganan resistencia con el tiempo, se debe basar en una evaluación de ingeniería geotécnica. Los materiales de autocementantes, deben curarse apropiadamente hasta que se pueda medir relaciones de soporte representativas de las condiciones de servicio a largo plazo, de acuerdo con el criterio del Ingeniero.

4.2.3 MÉTODO DE ENSAYO NORMAL PARA EL USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN APLICACIONES DE PAVIMENTOS A POCA PROFUNDIDAD - I.N.V. E- 172 – 07

Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del Penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio). La masa unitaria del suelo también puede ser estimada (Nota 1) si se conocen el tipo de suelo y su contenido de agua. El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos. Este método de ensayo permite el uso opcional de un martillo deslizante de 4.6 kilogramos en lugar del de 8 kilogramos, si este último produce una penetración excesiva en suelos muy blandos. Esta norma no pretende referirse a todos los aspectos relacionados con la seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer prácticas apropiadas de seguridad y de salud y determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones regulatorias antes de utilizarla.

Figura 7. Esquema Penetrómetro Dinámico de Cono



Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados y/o materiales compactados. La rata de penetración del PDC puede ser utilizada para estimar el CBR in-situ; para identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen. Existen otros métodos de ensayo para penetrómetros con diferentes masas de martillo y tipos de puntas cónicas, los cuales tienen correlaciones que son aplicables únicamente a esos instrumentos específicos.

El PDC debe ser sostenido verticalmente durante su empleo y, por lo tanto, es utilizado fundamentalmente en aplicaciones de construcciones horizontales, tales como pavimentos y losas de piso. El instrumento es típicamente empleado

para evaluar propiedades de los materiales a una profundidad hasta de 1.000 milímetros bajo la superficie. La profundidad de penetración puede ser incrementada utilizando extensiones en la varilla inferior; sin embargo, si se emplean extensiones en la varilla inferior, se debe tener cuidado cuando se empleen las correlaciones para estimar otros parámetros, puesto que dichas correlaciones son solamente apropiadas para una configuración específica del PDC. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá inevitablemente una resistencia adicional a la fricción a lo largo de las extensiones de la varilla.

El PCD puede ser utilizado para estimar las características de resistencia de suelos de grano fino y grueso, materiales de construcción y materiales débiles modificados o estabilizados. El dispositivo no se puede emplear en materiales altamente estabilizados o cementados o en materiales granulares que contengan un gran porcentaje de agregados pétreos cuyas partículas tengan partículas con tamaños superiores a 50 milímetros (2”).

El PDC puede ser utilizado para estimar la resistencia in-situ de materiales que se encuentren por debajo de una capa altamente estabilizada, previo el barrenado de la misma para permitir un orificio de acceso.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Cabezote - La pieza cilíndrica que el martillo o pesa golpea y a través del cual se transmite la energía a las varillas o tubos de perforación.

Malacate de rotación – El cilindro o tambor de rotación o torno, alrededor del cual el operador enrolla un cable para subir y dejar caer el martillo, halando y aflojando sucesivamente el cable envuelto alrededor del cilindro.

Varillas o tubos de perforación – Varillas o tubos empleados para transmitir hasta abajo, la fuerza y el giro a la broca de perforación, mientras se

perfora el hueco. También se emplean para avanzar por simple percusión y lavado.

Martinete – Conjunto de equipos consistente en un martillo o pesa, guía para la caída de éste, cabezote, y cualquier sistema que haga caer el martillo.

Martillo o pesa – Es la parte del martinete consistente en una pesa que produce el impacto, la cual se levanta y suelta sucesivamente para que al caer, proporcione la energía necesaria para efectuar el muestreo y la penetración.

Sistema de caída del martillo o pesa – La parte del martinete mediante la cual el operador logra el levantamiento y la caída del martillo o pesa para producir el golpe.

Guía para la caída del martillo o pesa – Aquella parte del martinete empleada para dirigir la caída del martillo.

Valor de N – Cuenta del número de golpes que representa la resistencia a la penetración del tubo partido en el suelo. El valor de N, relacionado como golpes por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar la toma de muestras en el intervalo de profundidad de 150 a 450 mm (6 a 18") **DN** El número de golpes obtenidos en cada uno de los intervalos de 150 mm (6") de la penetración del muestreador.

Número de vueltas del cable – El ángulo de contacto total entre el cable y el malacate de rotación, desde el comienzo del aflojamiento del cable por el operador, hasta la caída del martillo, dividido por 360°

Varillas o tubos de muestreo – Varillas o tubos que conectan el dispositivo de martinete con el muestreador.

S.P.T – Abreviatura para el ensayo de penetración normal, con la cual se puede hacer referencia a este método.

Penetrómetro Dinámico de cono (PDC) - Es un dispositivo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.

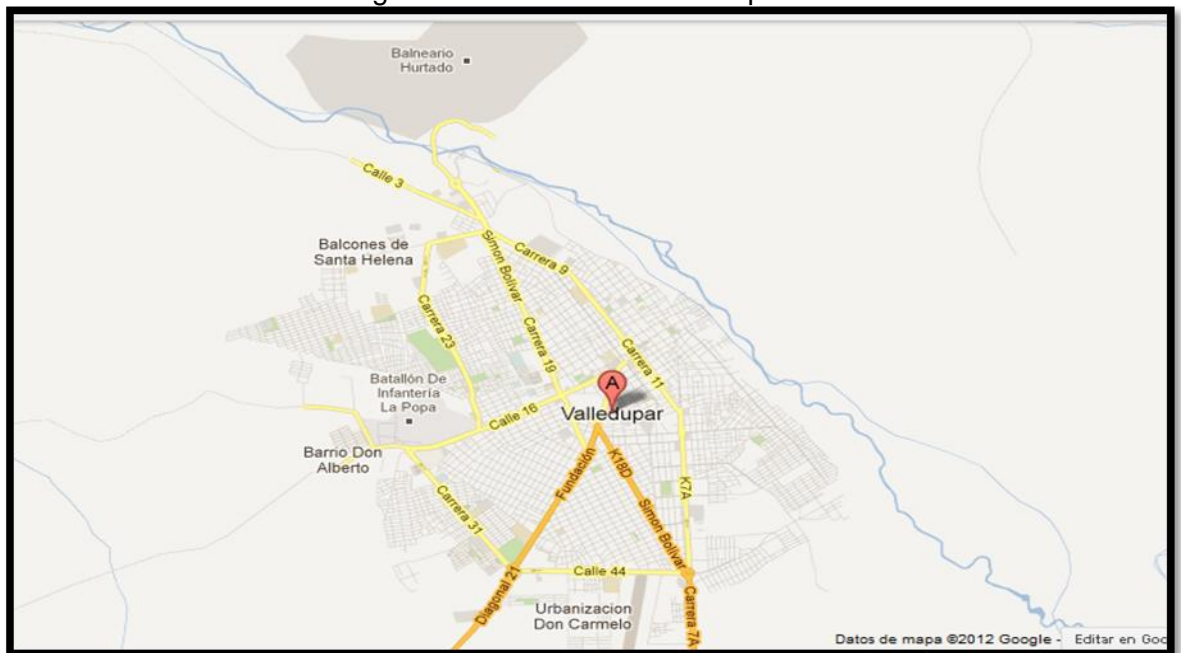
Accesorio de deslizamiento –Un dispositivo opcional que facilita la lectura de la distancia que la punta del Penetrómetro dinámico de cono (PDC) penetra dentro del suelo. Generalmente va asegurado al yunque del aparato o a la varilla inferior y se sostiene y se desliza sobre una escala independiente o puede estar sostenido por una varilla externa y deslizar a lo largo de la varilla inferior del Penetrómetro.

5. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO Y/O ZONA DE ESTUDIO

Valledupar, es una ciudad colombiana, capital del departamento del Cesar. Es la cabecera del municipio homónimo, el cual tiene una extensión de 4 493 km², 423 260 habitantes, y está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas.

Está ubicada al nororiente de la Costa Caribe colombiana, a orillas del río Guatapurí, en el valle del río Cesar formado por la Sierra Nevada de Santa Marta al Oeste y la serranía del Perijá al Este.

Figura 8. Ubicación de Valledupar



Fuente. Datos de mapa 2012 google

La ciudad es un importante centro para la producción agrícola, agroindustrial y ganadera en la región comprendida entre el norte del departamento del Cesar y el sur del departamento de La Guajira. También es uno de los principales epicentros musicales, culturales y folclóricos de Colombia por ser la cuna del vallenato, género musical de mayor popularidad en el país y actualmente símbolo de la música colombiana.

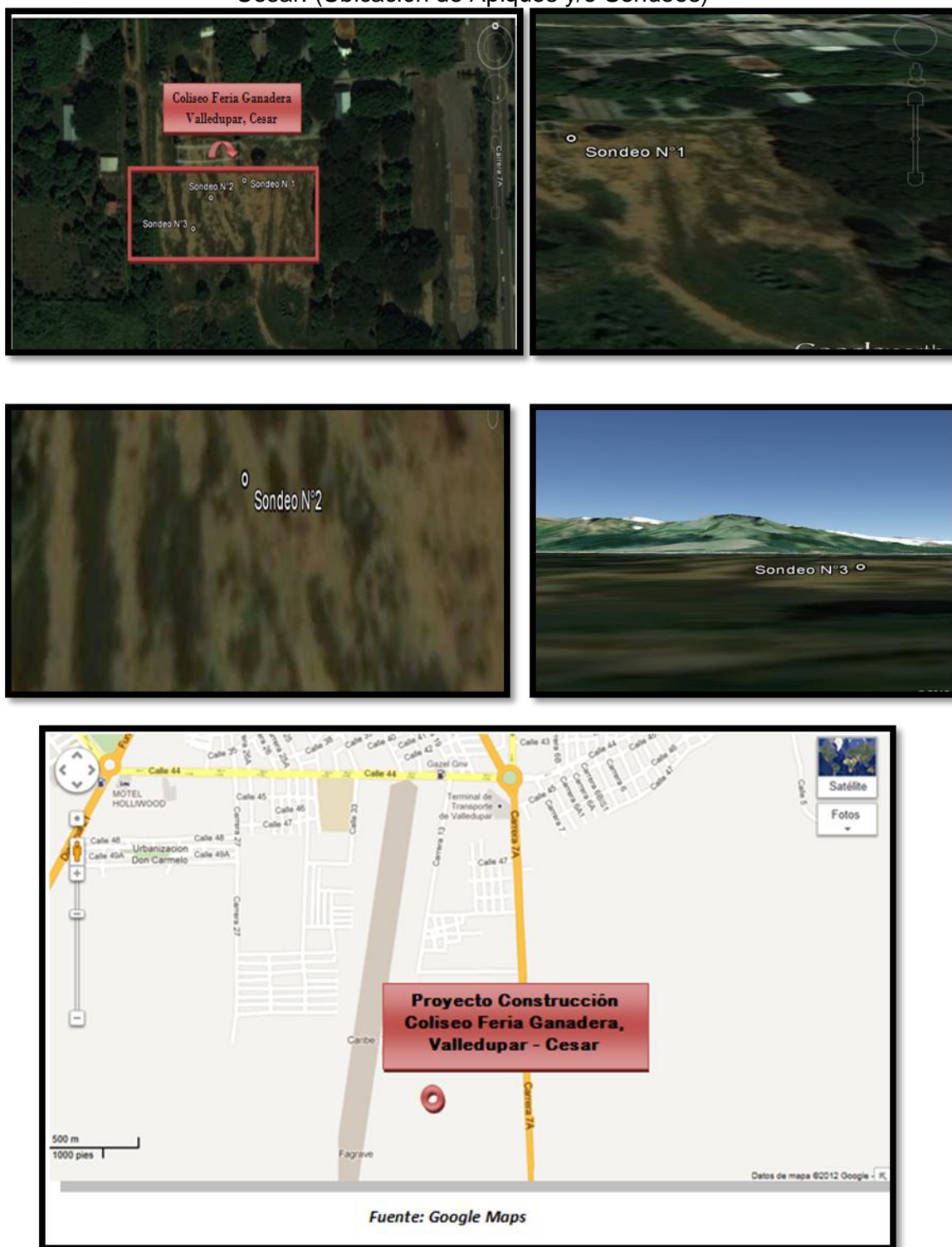
Para obtener los valores de ensayos de campo con el SPT, PDC y CBR; se tomaron los siguientes Estudios Geotécnicos realizados en el municipio de Valledupar – Cesar.

Figura 9. E.G Para Construcción de Viviendas en el Barrio San Fernando, Ciudad de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos)



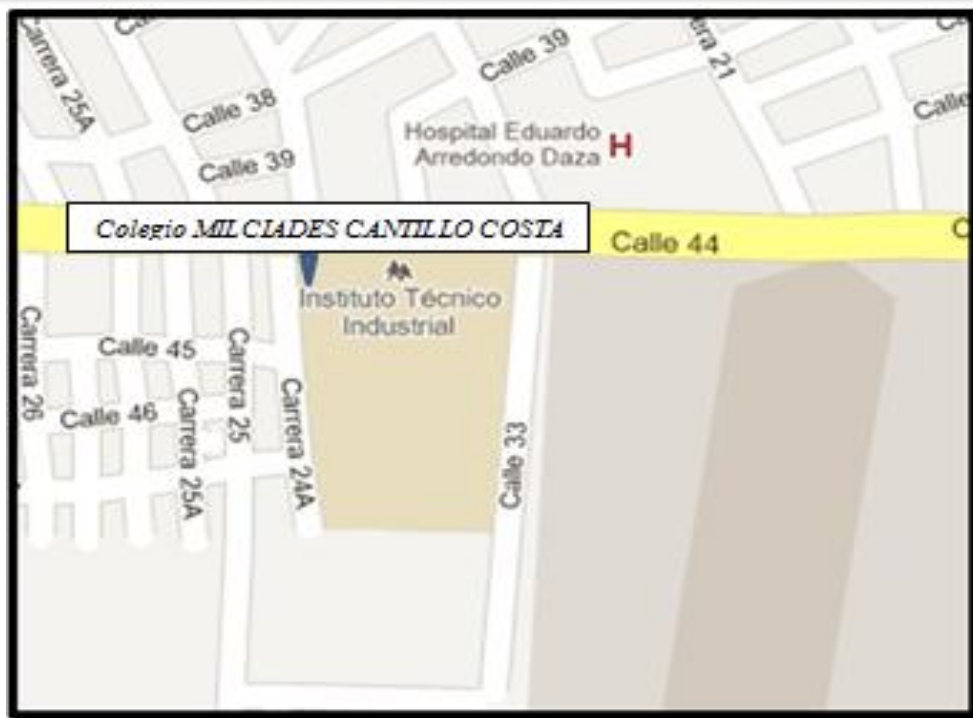
Fuente: Google Earth

Figura 10. E.G Para Construcción de Coliseo de Ferias en la Ciudad de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos)



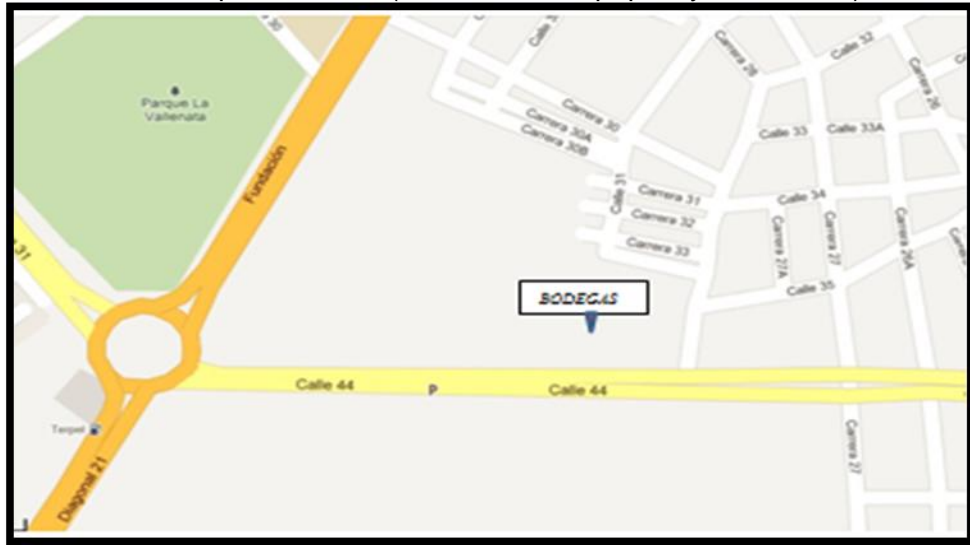
Fuente: Google Earth

Figura 11. E.G Para Construcción de Edificaciones en el Colegio Milciades Cantillo Costa en el Municipio de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos.

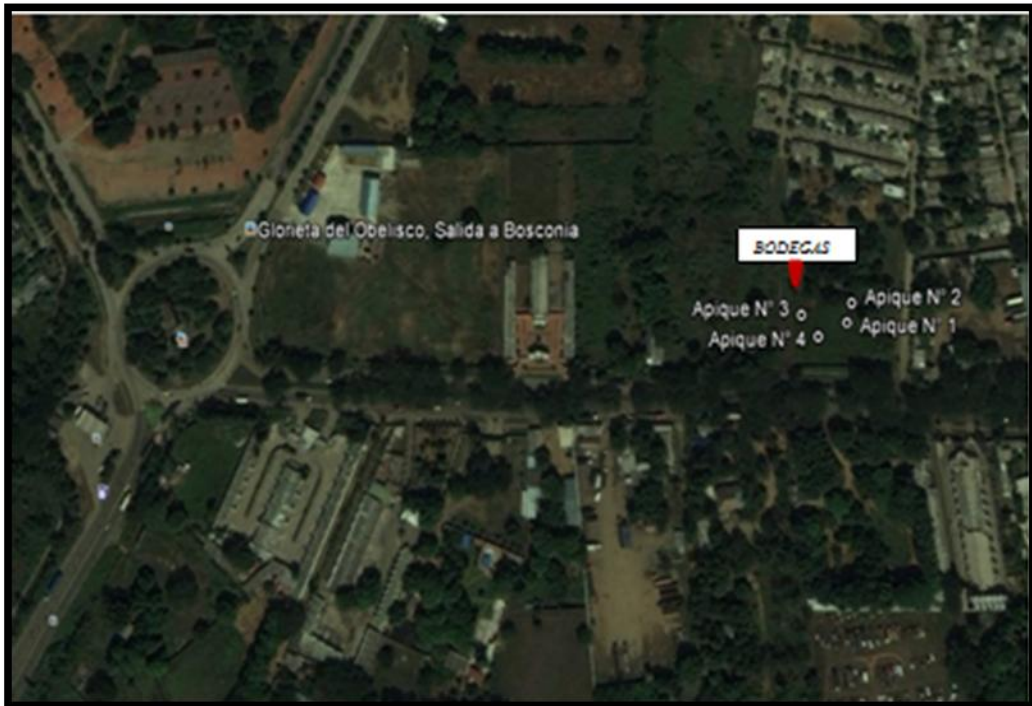


Fuente: Google Earth

Figura 12. E.G Para La Construcción de Bodegas en la Calle 44 en el Municipio de Valledupar – Cesar. (Ubicación de Apiques y/o Sondeos).



Fuente: Google Maps



Fuente: Google Earth

Figura 13. E.G Para La Construcción de Viviendas de 1 y 2 Pisos en el Barrio Don Carmelo en la ciudad de Valledupar, Cesar (Ubicación de Apiques y/o Sondeos).



Fuente: Google Earth

5.1 NATURALEZA DEL PROYECTO

La realización del mencionado proyecto de investigación surge con la necesidad de evaluar a fondo las posibles correlaciones para establecer la capacidad de carga teniendo en cuenta ensayos de campo como lo es el de Penetración Estándar SPT, Capacidad de Soporte del Suelo C.B.R y el Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C. para utilizarlos como capacidad de carga de los suelos.

6. METODOLOGIA

La elección del método o técnica específica a desarrollar resulta de una aproximación particular de la problemática y del proceso más adecuado a la solución de la misma. Una de las primeras actividades desarrolladas para la ejecución de este proyecto fue la revisión bibliográfica de temas relacionados con las Correlaciones de N de golpes entre SPT, CBR y PDC, consultados en textos, revistas, enciclopedias y páginas de Internet, posteriormente se hicieron consultas a expertos en diseños, caracterizaciones geotécnicas y elaboración de estudios de suelos y por último se escogió el director del proyecto.

Para este proyecto, esencialmente se realizarán ensayos de Penetración Estándar, Penetrómetro Dinámico de Cono y CBR en número suficientes para realizar el respectivo análisis y caracterización el Laboratorio. Posteriormente se desarrollaron las siguientes actividades:

6.1 DISEÑO Y TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Los procesos utilizados para la recolección de información serán como primera medida a través de una inspección al lugar (Barrio San Fernando, Valledupar), y luego por medio del análisis que se le practicará a cada muestra obtenida en campo, se establecerá la posible correlación existente entre PDC, SPT y CBR.

6.1.1 Población y muestra

Es importante tener claro las características de la población y de la muestra para que esta sea representativa, en este caso la información necesaria se obtuvo del personal técnico, administrativo y operativo del **LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTOS EBERTO ORTEGA SINNING** y de la comunidad respectivamente, lo que podríamos denominar como nuestra población.

6.2 EQUIPOS E INSTALACIONES DE LABORATORIO

La empresa utilizada para la realización de las diferentes pruebas geotécnicas, fue el **LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y ASFALTOS EBERTO ORTEGA SINNING**.

6.2.1 Materiales de Laboratorio

Entre los diferentes equipos utilizados tenemos:

- Balanzas Mecánicas y Digitales
- Cazuela Casa Grande
- Tamices
- Juego de Taras
- Horno Eléctrico
- Estufa

6.2.2 Materiales de Campo

- Equipo Completo de Penetración Estándar
- Penetrómetro Dinámico de Cono
- Moldes para CBR de Campo
- Palas
- Picos
- Palín
- Sogas
- GPS
- Cámara Fotográfica
- Flexómetro

6.3 ESTADO DEL ARTE

Se hace menester señalar que para conocer los lineamientos geotécnicos de los ensayos de penetración normal (SPT), la Relación de soporte del suelo

(CBR) y el Penetrómetro Dinámico de Cono es fundamental conocer históricamente cuales fueron los inicios de estos procedimientos. Por lo tanto en este proyecto se considera la alternativa de explicar detenidamente los ensayos a ser correlacionados en la investigación en referencia.

La conveniencia de la propuesta radica en que se tendrán herramientas con bases científicas y técnicas para planear las medidas a ejecutar en la ciudad de Valledupar con respecto a la búsqueda e implementación de nuevas alternativas en las zonas donde se requiere con mayor prioridad análisis geotécnicos exhaustivos, dependiendo la envergadura del problema, es decir; la proyección va enfocada a minimizar las medidas correctivas que podrían emplearse en caso de alguna inconsistencia en el comportamiento del suelo.

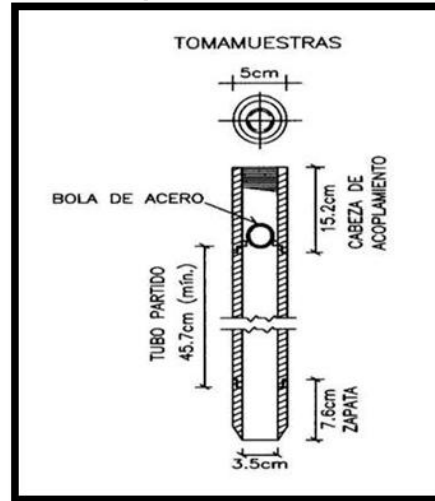
A continuación se describen los diferentes ensayos que serán objeto de correlación para lograr el objetivo final del proyecto de investigación:

6.3.1 Ensayo de Penetración Normal

El ensayo SPT en la historia de la geomecánica de suelos tiene su principal utilidad en la caracterización de suelos granulares (arenas o gravas arenosas), en las que es muy difícil obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio.

Este ensayo se realiza mediante la hincada de un sacamuestras (permite sacar muestras alteradas para su identificación) que determina la resistencia con N número de golpes para penetrar un suelo no alterado con energía (pesa de 69kg y caída Standard Terzaghi de 75cm) para hincar la punta cada 33cm. A **mayor número de golpes** los suelos serán compactos, duros, muy duros, etc.

Figura 14. Esquema Toma Muestras SPT



Al estar su uso muy extendido dispone de una gran experiencia geotécnica en estas pruebas, se han planteado correlaciones entre el golpeo SPT y las características de los suelos arenosos, así como con diversos aspectos de cálculo y diseño geotécnico.

También existen correlaciones en el caso de que el terreno sea cohesivo, pero al ser un ensayo prácticamente instantáneo, no se produce la disipación de los incrementos de presiones intersticiales generados en estos suelos arcillosos por efecto del golpeo, lo que claramente debe influir en el resultado de la prueba.

Por ello, tradicionalmente se ha considerado que los resultados del ensayo SPT (y por extensión, los de todos los penetrómetros dinámicos) en ensayos cohesivos no resultan excesivamente fiables para la aplicación de correlaciones. En la actualidad, este criterio está cuestionado, siendo cada vez más aceptado que las pruebas penetrométricas pueden dar resultados igualmente válidos en todo tipo de suelo. En cualquier caso, al margen de la validez o existencia de correlaciones, el valor del golpeo obtenido en un ensayo de penetración simple es un dato indicativo de la consistencia de un terreno susceptible de su utilización para la caracterización o el diseño geotécnicos.

Cuando el terreno atravesado es grava, la cuchara normal no puede hincarse, pues su zapata se dobla. Con frecuencia se sustituye por una puntaza maciza de la misma sección (no normalizada). El ensayo SPT no proporciona entonces muestra.

6.6.2 Recuperación de muestras representativas del suelo

Se identifica y acondiciona en recipientes herméticos para conservar inalteradas sus condiciones naturales de estructura y humedad. Delimitación de la secuencia y espesor de los diferentes estratos por reconocimiento tacto-visual de los suelos extraídos.

6.6.3 Determinación del nivel freático o agua libre subterránea }

Es el límite superior de las aguas acumuladas en el subsuelo sobre una capa impermeable, que permite también efectuar el análisis químico de las mismas para verificar su grado de agresividad a los hormigones. (Sulfatos, cloruros, PH). Como 'subsuelo' suele definirse a la capa inerte entre el suelo superficial y el lecho rocoso. AASHTO T193-63, ASTM D1883-73. El objetivo esencial para realizar éste ensayo es el de determinar la resistencia de un suelo que está sometido a esfuerzos cortantes, además evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, sub-base y base de pavimentos.

6.6.4 Correlación entre el golpeo SPT y la consistencia del suelo atravesado

Existen diversas correlaciones entre el resultado del ensayo SPT y las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), e incluso con dimensiones de la cimentación requerida para un valor del asiento que se considera admisible.

Sin embargo, las principales correlaciones que ligan el golpeo SPT con las características del terreno, lo hacen respecto a los parámetros ángulo de rozamiento interno e índice de densidad en las arenas (siendo el índice de densidad $ID = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min})$). En los terrenos cohesivos, aun

cuando no son tan aceptadas, existen correlaciones respecto a la resistencia al corte sin drenaje.

En algunas ocasiones, el valor del golpeo SPT debe ser afectado por unos factores correctores para tener en cuenta la profundidad a la que se realiza el ensayo, y la influencia de la ubicación de dicho ensayo sobre la capa freática. Hay que tener cuidado, ya que en terrenos por ejemplo con gravas o bolos o en arcillosos duros, podemos tener mayorado nuestro SPT, no siendo éste ensayo entonces representativo de las características del terreno.

6.6.5 Influencia de la profundidad

La penetración en las arenas depende de la resistencia del terreno, que a su vez es función del ángulo de rozamiento, o del índice de densidad, y del estado tensional en el que se encuentre el terreno haciendo de antemano los anteriores ensayos.

6.6.6 Relación de Soporte de Suelo C.B.R.

Inicialmente del ensayo de capacidad portante del suelo (CBR) se conoce que fue un método propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del departamento de carreteras de California. Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de establecer la capacidad de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en la construcción de carreteras.

En la actualidad la definición de CBR de un suelo se ha establecido como la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

El método CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

El comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración (inalterado o alterado) y a sus características físicas (Granulometría, plasticidad y densidad). De acuerdo a esto, El método a seguir para determinar el CBR será diferente en cada caso.

Se considera que existen diferentes tipos de C.B.R. como son: *C.B.R. suelos remoldeados*, *C.B.R. suelos inalterados*, *C.B.R. suelos gravosos y arenosos* *C.B.R. suelos cohesivos poco o nada plásticos*, *C.B.R. suelos cohesivos plásticos*. El experimento de suelos gravosos y arenosos se realiza inmediatamente en cambio en suelos cohesivos poco o nada plásticos y suelos cohesivos plásticos se realiza mediante expansión se efectuará con agua en 4 días saturación más desfavorable y la medida de expansión se realizar cada 24 horas.

El C.B.R. varía de acuerdo a la compactación del suelo su contenido de humedad al compactar y cuando se realiza el ensayo. Los ensayos del C.B.R. pueden ser realizados "In Sito" usando el equipo correspondiente al laboratorio tanto en muestras inalteradas como en compactadas. Los ensayos "In sito" se realizan solamente en el suelo con el contenido de humedad existente. Han sido pensados procedimientos para preparar la muestra de laboratorio de diferentes clases de suelos con el fin de reproducir las condiciones que verdaderamente se producirán durante y después de la construcción. Estos procedimientos se aplican cuando le contenido de humedad durante la construcción va a ser el óptimo para tener la máxima densidad, además el suelo va a ser compactado al menos al 95%. Si se utilizarían otros medios para

controlar la compactación, los procedimientos deberían ser modificados de acuerdo a ellos. En forma de ecuación esto es:

Figura 15. Ecuación para Determinación de CBR

$$CBR = \frac{CARGA UNITARIA DEL ENSAYO}{CARGA UNITARIA PATRON} \times 100$$

De ésta ecuación se puede ver que el CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son los siguientes:

Tabla 1. Cargas Unitarias CBR

PENETRACIÓN PATRÓN		CARGA UNITARIA	
mm.	in.	Mpa	psi
2.5	0.10	6.9	1.000
5.0	0.20	10.3	1.500
7.5	0.30	13.0	1.900
10.0	0.40	16.0	2.300
12.7	0.50	18.0	2.600

El CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.5 mm. Sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5.0 mm es mayor el ensayo debería repetirse. Si un segundo ensayo, produce nuevamente un valor de CBR mayor de 5.0 mm de penetración, dicho valor debe aceptarse como valor final del ensayo. Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptima para el suelo específico determinado utilizando el ensayo de compactación.

6.6.7 Determinación del CBR de Suelos Remoldados ASTM D 1883

6.6.7.1 Equipo Para la Compactación

- Molde de diámetro= 6", altura de 7" a 8" y un collarín de 2".
- Disco espaciador de acero diámetro 5 15/16" y alt. 2.5"
- Pisón Peso 10 lb. y altura de caída 18".
- Trípode y extensómetro con aprox. 0.001".

- Pesas de plomo anular de 5 lbs c/u (2 pesas).

6.6.7.2 Para la Prueba de Penetración

- Pistón sección circular Diámetro = 2 pulg.
- Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica. $V= 0.05$ pulg/min. Con anillo calibrado.
- Equipo misceláneo: balanza, horno, tamices, papel filtro, tanques para inmersión de muestra a saturar, cronómetro, extensómetros, etc.

6.6.8.3 Determinación de la densidad y humedad

Preparar una muestra que tenga la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento. Procedimiento:

- a) En el molde cilíndrico se coloca el disco espaciador y papel filtro grueso 6”.
- b) La muestra se humedece añadiendo una cantidad de agua calculada. Se mezcla uniformemente. La humedad entre dos muestras debe variar en 2%.
- c) La muestra se divide en 5 partes. Se compacta en 5 capas con 10, 25 y 56 golpes / capa. La briqueta compactada deberá tener un espesor de 5”
- d) Se quita el collarín, se enrasa la parte superior del molde, se volteará el molde y se quitará la base del molde perforada y el disco espaciador.
- e) Se pesará el molde con la muestra, se determinará la densidad y la humedad de la muestra.

6.7 ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO

6.7.1 Descripción Del Penetrómetro Dinámico De Cono

El modelo consta de una varilla de acero de penetración de 16mm de diámetro. En su extremo inferior un cono de acero temperado de 60 grados y 20mm de diámetro. El PDC es introducido en el suelo por un martillo deslizante de 8Kg que cae desde una altura de 575mm.

Para realizar las lecturas posee una regla de medición sujeta al instrumento por dos soportes, un soporte superior unido al yunque que sirve de referencia para las lecturas y un soporte inferior fijo a la regla y unido a la barra de penetración.

6.7.2 Procedimiento del Ensayo

Una vez ubicado el lugar de ensayo, se ubica el equipo PDC verticalmente sobre un nivel de terreno donde no se encuentre directamente con piedras que obstaculicen el ensayo. El ensayo de PDC necesita de tres operarios, uno se encarga de mantener la verticalidad y el soporte del equipo, un segundo se encarga del golpe con el martillo y el tercero observa y apunta las medidas.

Al iniciar el ensayo con el Penetrómetro se introduce el cono asentándolo 2" en el fondo para garantizar que se encuentre completamente confinado. El proceso de golpe con el martillo es levantarlo hasta la parte superior del eje de recorrido.

7. ANTECEDENTES

Para la realización de esta propuesta, fue necesario considerar la pertinencia de algunas investigaciones que han sido realizadas en aras de brindar claridad en las posibles correlaciones que se requieren para obtener resultados veraces y con un alto grado de confiabilidad en cuanto al análisis geotécnico real que requieren los suelos de municipio de Valledupar. Por lo tanto, a continuación se citan algunos ejemplos:

7.1 ANTECEDENTE 01

ESTIMATIVOS DE PARAMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT

Autor: ALVARO J. GONZALEZ G.

- Ingeniero Civil U.N., M.Sc., DIC
- Socio Director- Análisis Geotécnicos Colombianos AGC Ltda.
- Profesor Asociado-Facultad de Ingeniería- Universidad Nacional - Bogotá
- Ingeniero Asesor en Geotecnia

Se presenta un método aproximado de evaluación de los parámetros efectivos de resistencia c' y ϕ' , mediante el empleo de los datos de SPT (N en golpes/pie). Aunque el método provee valores estimados, se obtienen resultados razonables útiles iniciales, especialmente para materiales granulares o intermedios, siendo menos aproximados para materiales cohesivos.

7.2 ANTECEDENTE 02

**XI CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO Del 12 al 16 de
Noviembre 2001 EVALUACION DE LAS CAPACIDAD DE SOPORTE DEL
TERRENO POR MEDIO DE UN EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA**

Autores: Ing. CARLOS A. TUPIA CORDOVA y Ing. JORGE ALVA HURTADO

En esta investigación se recopiló información de las condiciones reales en la que se encuentra el terreno de cimentación de un pavimento y establecieron en forma estadística; los resultados que se obtendrían en laboratorio por medio de un equipo dinámico. Esta investigación se ha realizado con suelos existentes en las carreteras del Perú, siguiendo los modelos matemáticos existentes proporcionando relaciones aplicadas al Perú para determinar valores de C.B.R. En base a los ensayos de PDC in situ.

7.3 ANTECEDENTE 03

MODELOS DE CORRELACIÓN ENTRE EL PDC Y EL CBR INALTERADO PARA SUELOS COHESIVOS.

GONZALO PEREZ BUITRAGO

Ing. Transporte y Vías UPTC. Esp. y Mag. Vías terrestres UNICAUCA

Profesor Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías

Director Proyecto

DANIEL EDUARDO ALVAREZ CASTILLO

GERMÁN ANDRÉS FUERTES CHAPARRO

Jóvenes Investigadores - Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías – UPTC

Este artículo presenta los resultados del análisis y la obtención de modelos de correlación entre el CBR inalterado, el índice de penetración (DN) del Penetrómetro Dinámico de Cono (modelo sudafricano) y la humedad para suelos cohesivos (CL y CH), los cuales pretenden mejorar la confiabilidad en la utilización del DCP en la evaluación estructural de un suelo que conforme la capa de un pavimento. Se incluyen además, correlaciones entre el DN y la

humedad natural por medio de los límites de plasticidad de Atterberg para el control de un suelo cohesivo determinado.

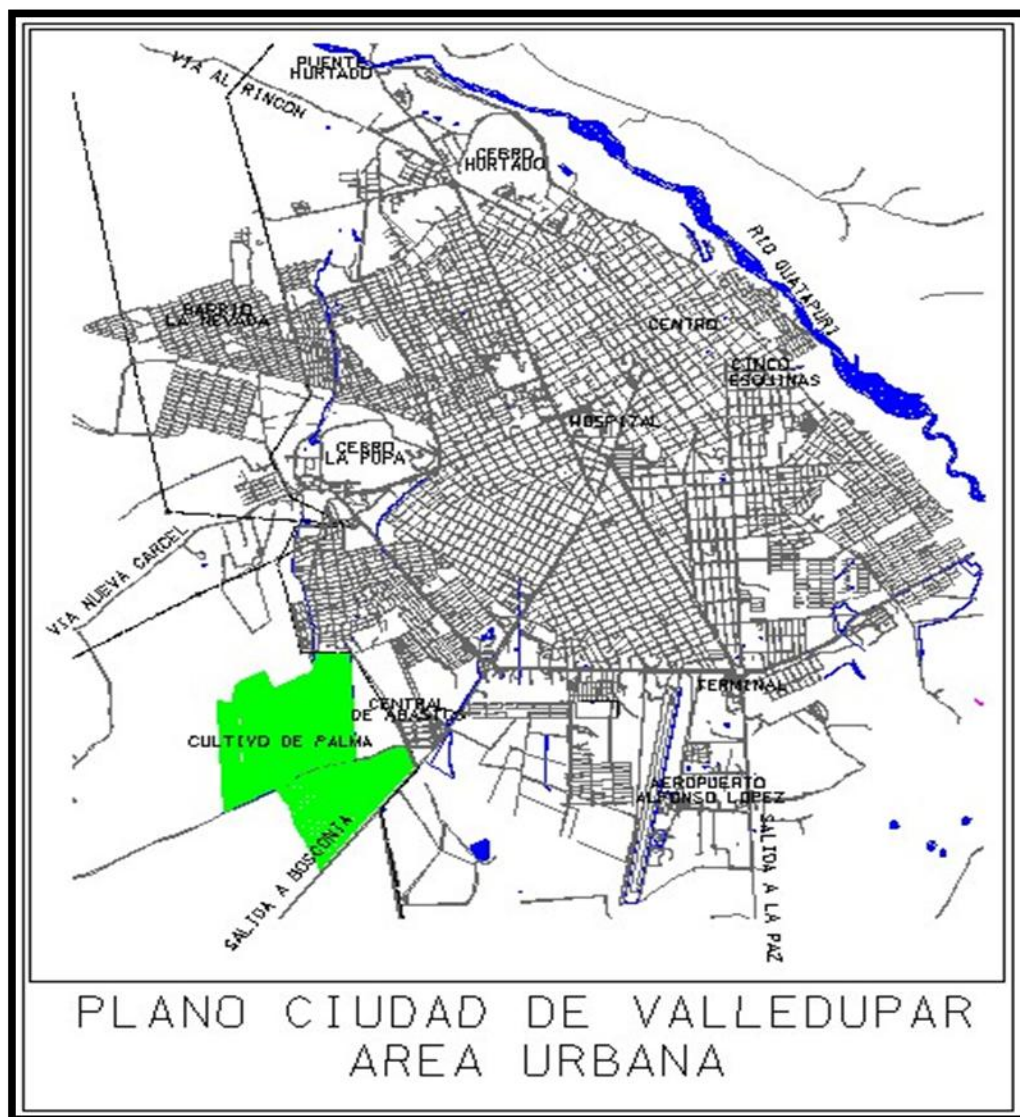
El objetivo principal de esta investigación, es explorar algunas de las aplicaciones de un equipo tan sencillo, práctico y económico como es el DCP. Entre estas aplicaciones se tienen la correlación con parámetros de resistencia como el CBR, el Módulo de Resiliencia, el control de la calidad de compactación, el seguimiento de la sensibilidad de un suelo ante la humedad, la evaluación de estructuras de pavimento, entre otras.

Se siguió un diseño experimental convencional en las etapas de recolección, análisis y modelación de la información. Se seleccionaron los modelos con mayor bondad de ajuste junto con algunas aplicaciones prácticas de los mismos. En cuanto al análisis estadístico de la información, se evalúa la colinealidad entre variables y su incidencia en los resultados obtenidos aplicando modelos múltiples.

8. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA EN ESTUDIO

El área municipal es de 5.084 km² y limita por el Norte con el departamento de La Guajira, por el Este con los municipios de La Paz y San Diego, por el Sur con San Diego, La Paz, El Paso y Bosconia y por el Oeste con Bosconia, El Copey y el departamento del Magdalena.

Figura 17. Municipio de VALLEDUPAR - CESAR y Localización de La Zona Urbana del Municipio.



Fuente. POT Cesar, 2009

8.2 INFORMACIÓN SOBRE EL DEPARTAMENTO DEL CESAR.

El Departamento está situado en el norte del país, en la llanura del Caribe; localizado entre los 07° 41' 16" y 10° 52' 14" de latitud norte y los 72° 53' 27" y 74° 08' 28" de longitud oeste. Este Departamento cuenta con una extensión de 22.213 Km², que corresponde al 2 % del total nacional y al 15.1% de la Región Caribe y limita por el Norte con los departamentos de Magdalena y La Guajira (con los cuales tiene una franja de territorio en litigio), por el Este con la República de Venezuela y el departamento de Norte de Santander, por el Sur con los departamentos de Norte de Santander y Santander (con los cuales tiene una franja de territorio en litigio), y por el Oeste con los departamentos de Bolívar y Magdalena.

El Departamento del Cesar está dividido en 25 municipios: Valledupar, ciudad capital, Aguachica, Agustín Codazzi, Astrea, Becerril, Bosconia, Curumaní, Chimichagua, Chiriguaná, El Copey, El Paso, Gamarra, González, La Gloria, La Jagua de Ibirico, La Paz, Manaure Balcón del Cesar, Pailitas, Pelaya, Pueblo Bello, Río de Oro, San Alberto, San Diego, San Martín y Tamalameque; 164 corregimientos, 3 inspecciones de policía, numerosos caseríos y sitios poblados. Los municipios están agrupados en 21 círculos notariales con un total de 23 notarías, un círculo principal de registro con sede en Valledupar; un distrito judicial, Valledupar, con 3 cabeceras de circuito judicial en Valledupar, Aguachica y en Chimichagua.

8.3 CARACTERISTICAS DEMOGRAFICA

8.3.1 Comportamiento poblacional municipal

Valledupar como municipio capital del Cesar y nodo de la subregión norte; concentra el mayor volumen de población del departamento (305.973 habitantes aproximadamente, 34%); considerando, además, que se encuentra ubicado sobre uno de los principales ejes viales y es el centro comercial y de servicios donde se concentran las operaciones económicas de la subregión.

Urbana 61%, 37.658 personas.

Rural 39%, 28.225 personas

Tasa crecimiento 93-2000, 2.3%

Población desplazada en 1998, 2.802 habitantes

Población indígena 3.216 habitantes

Porcentaje de la población en edad escolar- PEE (5-20) 45%

Porcentaje de la población en edad de Trabajar - PET (10-60), 72%

Porcentaje de la población económicamente activa - PEA 33%,

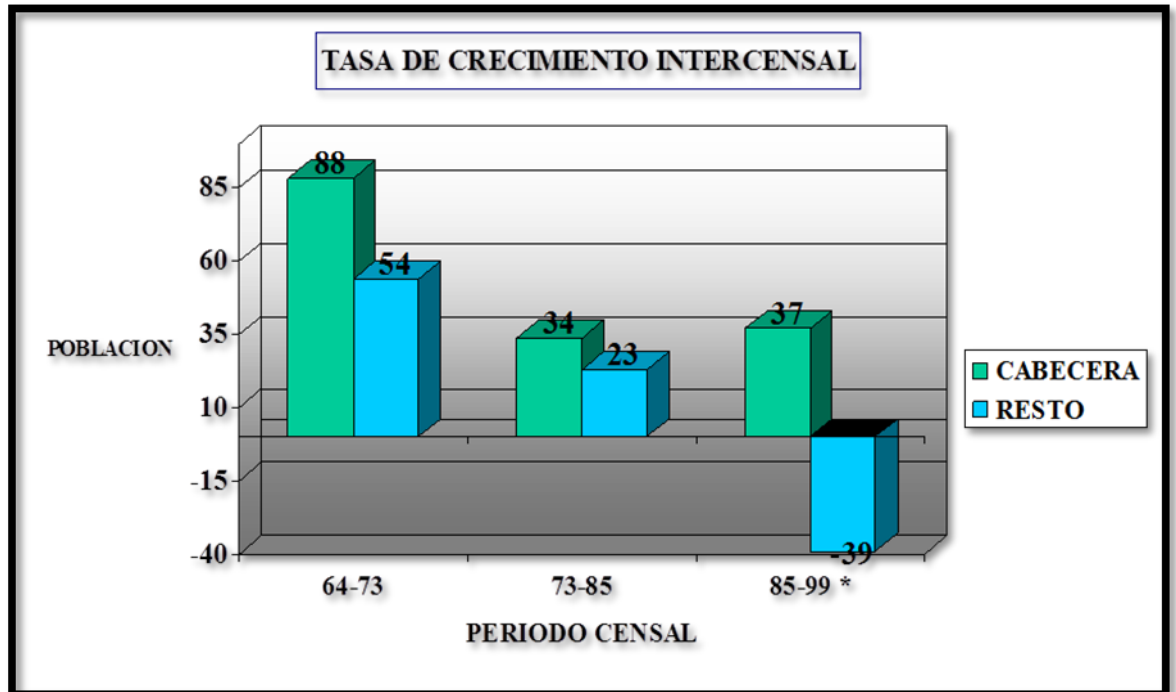
Porcentaje de la población económicamente inactiva - PEI 38%

Porcentaje de la población de Ocupados 17%

Porcentaje de la población de Desocupados 15%

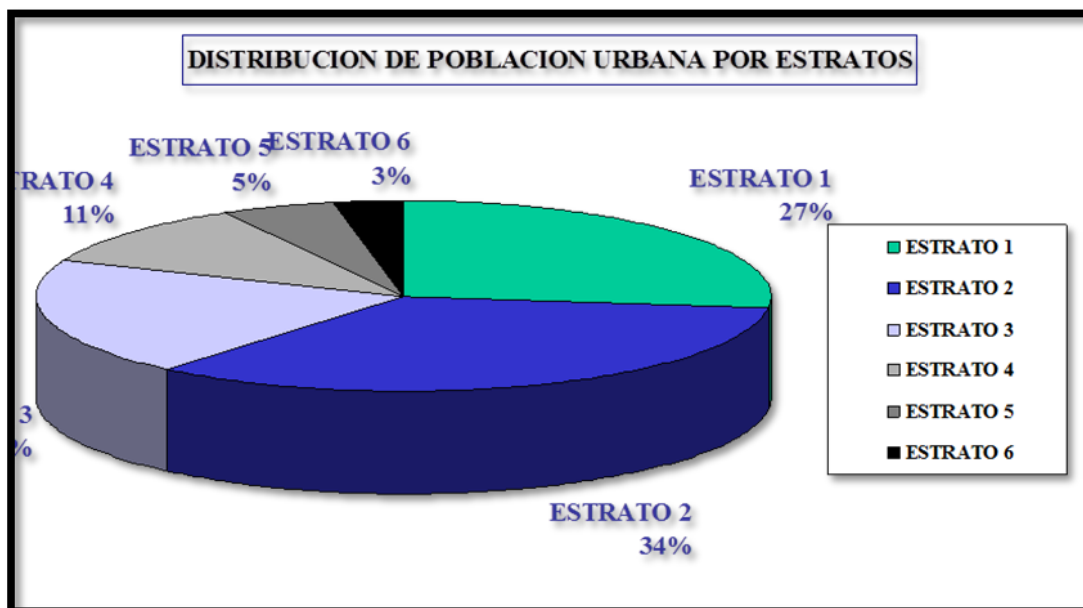
La distribución por áreas de residencia señala un alto grado de urbanización y de concentración poblacional y se piensa que puede inducir a un mayor dinamismo económico de la localidad y a una más fácil prestación de los servicios públicos.

Figura 18. Municipio de Valledupar - Cesar Población y Tasas de Crecimiento Intercensales



El indicador de línea de pobreza municipal indica que el 48.6% de los hogares presentan necesidades básicas insatisfechas, y el 23.3% se encuentra en miseria. Esta concentración del indicador de pobreza permite condiciones favorables para la mortalidad infantil, así como su composición negativa en el coeficiente de dependencia económica y de participación en la tasa de fuerza de trabajo. La estructura de la Estratificación Urbana de Agustín Codazzi, indica que en conjunto la población se concentra en estratos 1,2, y 3, lo cual indica que en las tarifas de los servicios públicos y déficit de vivienda se deben prever subsidios. Además en el registro del SISBEN se deben cubrir a los beneficiarios de los estratos 1 y 2. En el cuadro No.2 siguiente se presenta la estructura de viviendas por estrato.

Figura 19. Estudio de Estratificación Urbana Valledupar - Cesar



8.3.2 Grupos Indígenas

Figura 20. Anuario Departamental Grupos Indígenas Cesar 1999

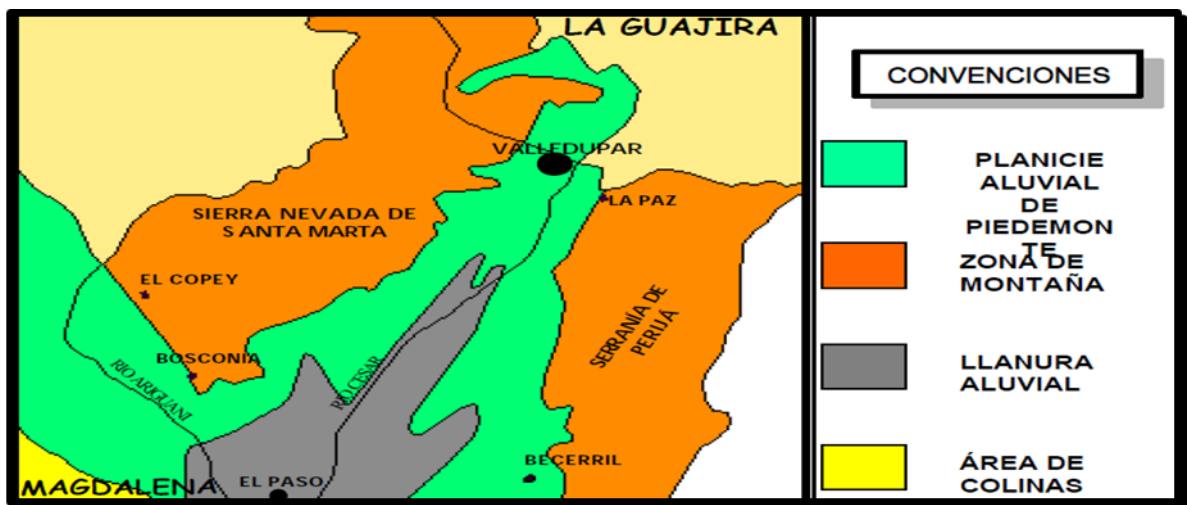
Resguardo		No. Comunidad	No familias	T. población
Arhuaco.	Total	28	1720	11.900
	Pueblo Nuevo	5	522	3429
	Sábana	8	477	3747
	Crespo	6	245	1694
	La Caja	9	476	3030
Kogui -Malayo	Total	17	309	2369
	Guatapurí	7	121	1045
	Atánquez	10	188	1324
Total Valledupar		45	2029	14269
Total Cesar		74	2362	16396
	% Vall/Cesar	60%	85%	87%

8.4 GEOMORFOLOGÍA

8.4.1 Llanura aluvial de Piedemonte y/o Terrazas aluviales en clima cálido seco (Vc-d)

Son terrazas remanentes a los niveles de sedimentación de los ríos que nacen en la serranía y llevan sus aguas al río Cesar (VC-d). Se localizan en relieve plano y plano cóncavo - convexo, afectado por escurrimiento difuso y erosión laminar.

Figura 21. Geomorfología Municipio de Valledupar – Cesar



Fuente: Atlas Ambiental Departamento del Cesar

Se han originado del rejuvenecimiento del paisaje, por el incisado de las corrientes en materiales del Cuaternario tipo arena y arcilla. Cuando los aluviones del río próximo a la forma, se disponen en un sólo sitio o plano, se forman vegas inundables o una terraza, como en el caso actual del departamento. Si la corriente es encajonada el área no se inunda, excepto en las grandes crecidas de los ríos.

En el sector comprendido entre el río Sicarare y Calenturas, municipios de Becerril y Agustín Codazzi, las terrazas están afectadas por erosión laminar y en cárcavas en grado ligero, especialmente donde existe poca vegetación o la cobertura es pasto natural. En la parte norte del valle del Sicarare las terrazas no muestran procesos degradacionales evidentes; en épocas de vientos fuertes

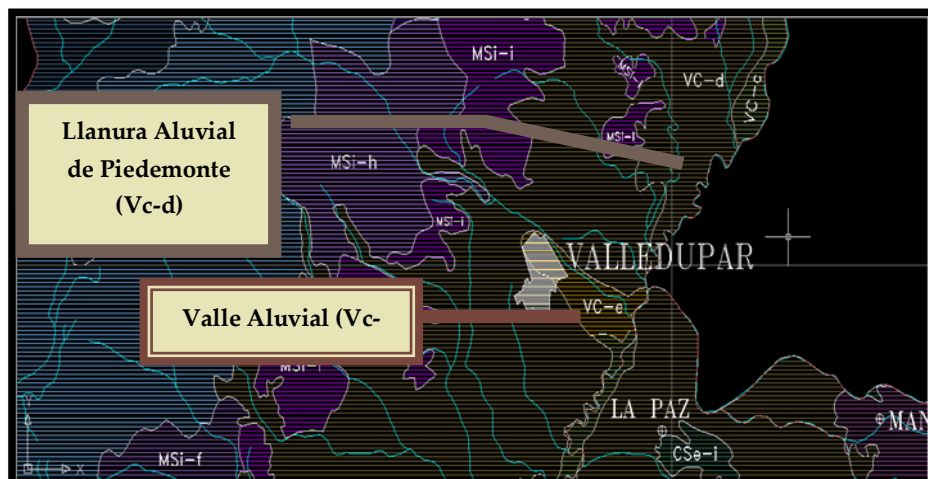
se presenta erosión eólica por el arrastre de las partículas del suelo por acción del viento y la baja cohesión de las arcillas y arenas, que constituyen los suelos y materiales parentales.

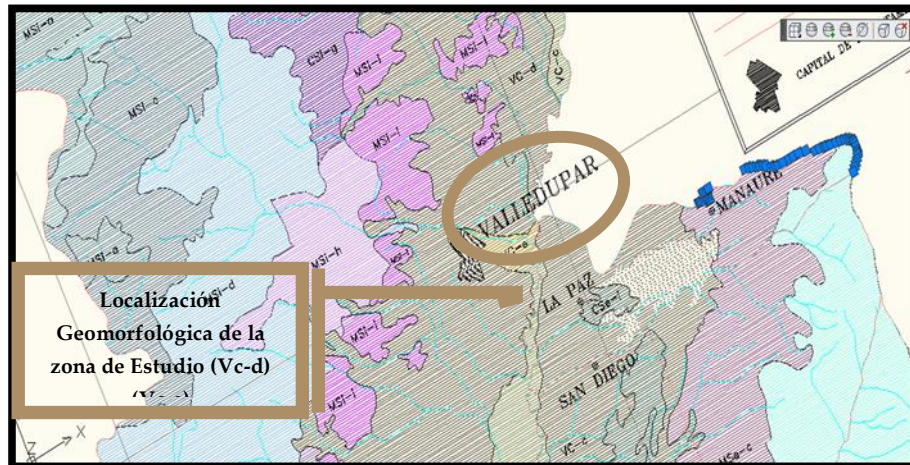
8.4.2 Valle aluvial (VC-e)

Son franjas de espacio alargado, relativamente planas y estrechas, intercaladas entre dos áreas de relieve más alto y que tienen como eje un río o quebrada en clima cálido seco (VC-e). El relieve encajante está constituido por piedemontes, a través de los cuales puede recortarse sucesivamente un valle deposicional.

El valle aluvial está influenciado por los aportes longitudinales de sedimentos acarreados de los ríos Fernanbuco y Sicarare en el municipio de Becerril y ríos Calenturitas y Tucuy en La Jagua de Ibirico y aportes laterales locales, en pequeña magnitud, traídos por riachuelos y arroyos, por escurrimiento difuso y/o reptación, los cuales se acumulan a lo largo del área de contacto entre el relieve encajante y el fondo del valle, formando pequeños abanicos y glaciares coluviales de pequeña pendiente. Son áreas afectadas específicamente por abrasión eólica y erosión laminar ligera.

Figura 22. Geomorfología del Municipio de Valledupar-Cesar



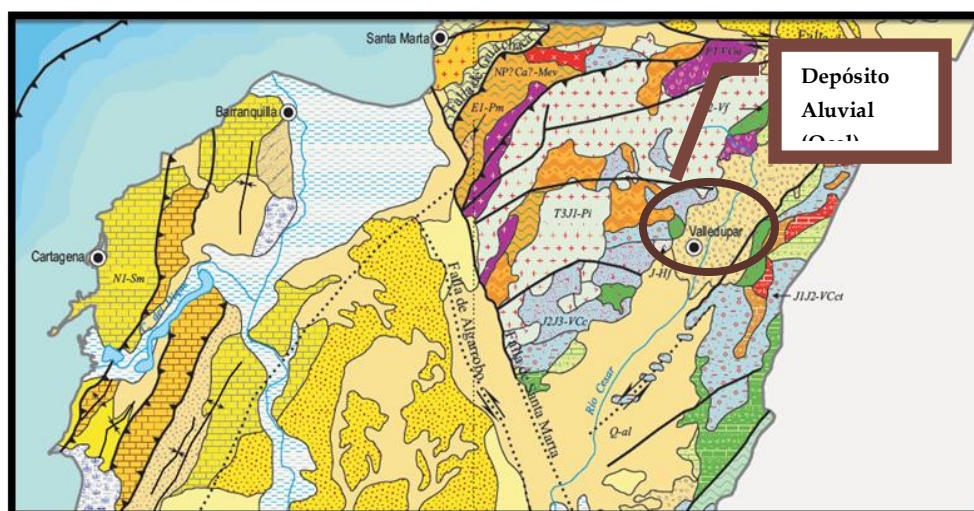


Fuente: Atlas Ambiental Departamento del Cesar

8.5 MARCO GEOLÓGICO GENERAL

El área del Departamento del Cesar se encuentra dividida en cuatro Unidades asociadas a la Geología que las caracteriza: Sierra Nevada de Santa Marta, Valle de los Ríos Cesar y Magdalena, La Serranía del Perijá y la Región Norte de la Cordillera Oriental; cada una con sus propios rasgos distintivos y diferente concepción.

Figura 23. Marco Geológico General Departamento del Cesar



Fuente: Geominas

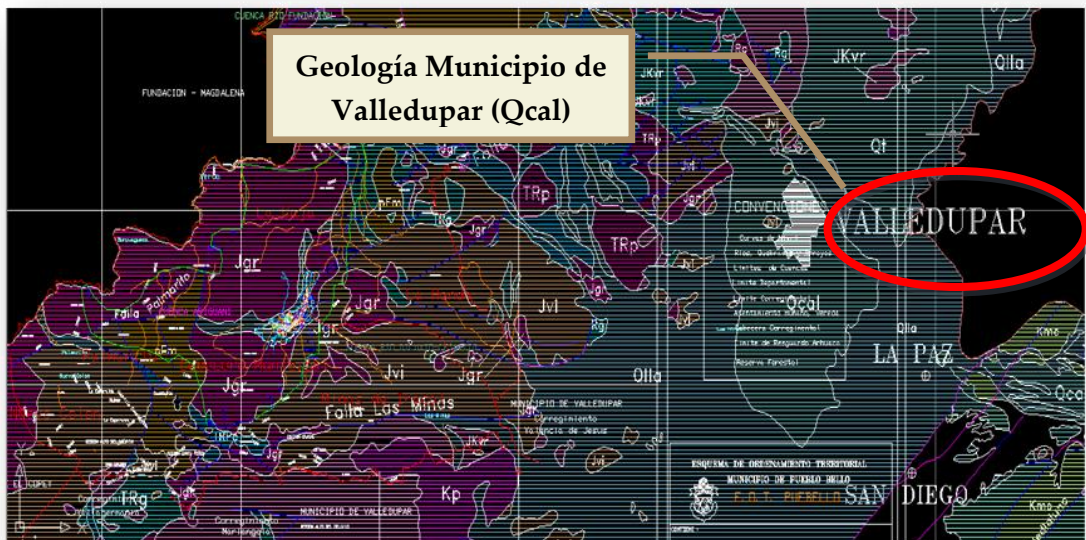
Figura 24. Codificación Unidades Cronoestratigráficas Departamento del Cesar

CODIFICACIÓN UNIDADES CRONOESTRATIGRÁFICAS						DEPÓSITOS												
MP3NPI-Mg			Meoproterozoico-Neoproterozoico			Metamórfica en facies anfibolitas			DEPÓSITOS									
EDAD ¹			LITOLOGÍA			Tipo de depósito												
Eón	Era	Periodo	Época	Edad	Ma	Aluvial (al)	Terraza (t)	De abanico (ca)	Paludal (p)	Morrenico (m)	De caída de cenizas (c)	De dunas (d)	De costas (co)	Volcanoclastico (vc)				
		CUATERNARIO Q		HOLOCENO Q ²		Q-al	Q-t	Q-ca	Q-l	Q-g	Q-p	Q-d	Q-co	Q-vc				
				PLEISTOCENO Q ¹					Q-l					Q-vc				

Fuente: Ingeominas

8.5.1 Geología Regional

Figura 25. Localización Geológica de Valledupar (Qcal)



Fuente Atlas Departamento del Cesar

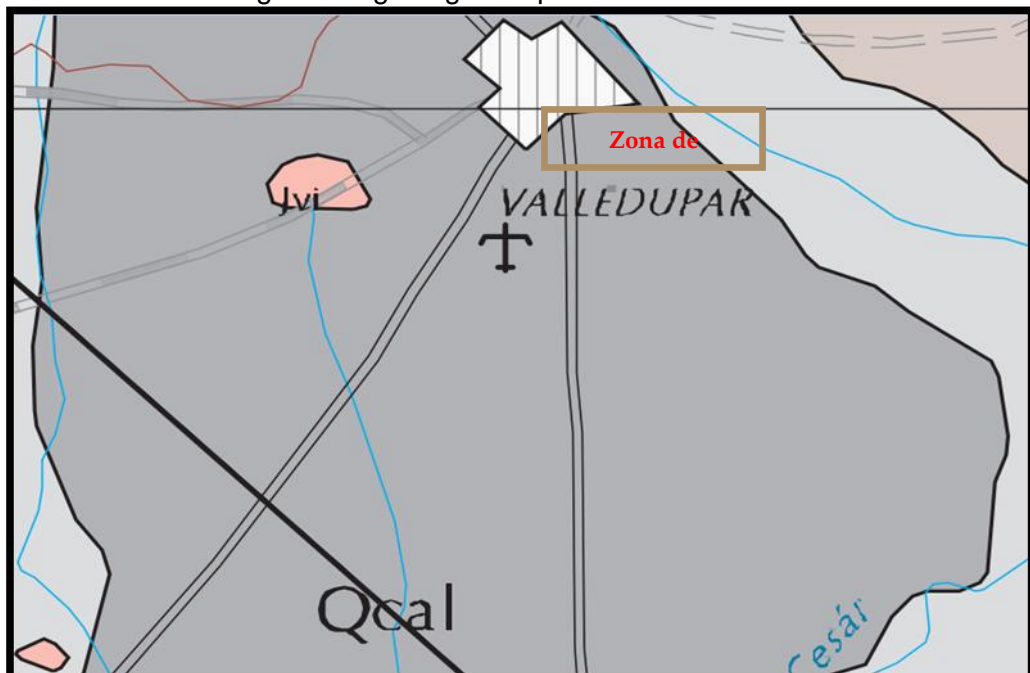
La jurisdicción del Municipio de Valledupar se encuentra geológicamente demarcada por los depósitos de llanura aluvial Qal los cuales son de origen aluvial, que han desarrollado geofomas planas, como terrazas, ligeramente inclinados hacia la dirección de la escorrentía.

Son de poco espesor, generalmente cubiertos por suelo y vegetación; están constituidos por arenas, arcillas y, en menor proporción, gravas depositadas discordantemente sobre las formaciones más antiguas.

- **Depósitos de Abanicos y Terrazas Aluviales (Qcal)**

Los abanicos aluviales se forman en ambientes sedimentarios donde el depósito ocurre por corrientes del sistema montañoso y pierden energía con el cambio de pendiente para seguir transportando la carga formando pilas de sedimento que en planta toman la forma de abanico; la acumulación se realiza por procesos de acreción lateral o flujos en masa del material que traen las corrientes desde las partes altas a las cuencas. Estos depósitos presentan una leve inclinación natural. Las terrazas se producen por acumulación de material aluvial y posterior profundización de las corrientes. En general estos depósitos presentan bloques y cantos subredondeados a redondeados de máximo 15 cm de diámetro. Además localmente se observan niveles de grava en matriz areno-limosa. Estos materiales tienen una composición muy heterogénea (de rocas volcánicas sedimentarias, ígneas y metamórficas) probablemente de Formaciones Jurásicas y precámbricas.

Figura 26. geología Departamento del Cesar



Esta unidad cuaternaria es considerada, como el nivel más antiguo de estos depósitos y resulta de la combinación de dos eventos genéticos; el primero asociado a la llanura de inundación distal del Río Magdalena y el segundo a los abanicos formados en la cercanía del piedemonte de la Cordillera Oriental.

Se diferencian de la llanura de inundación actual (Qfal) por la diferencia topográfica y la presencia de suelos rojos y algunas veces espesos de hasta 1 m. Además presenta una morfología muy ondulada producto de una fuerte erosión progresiva.

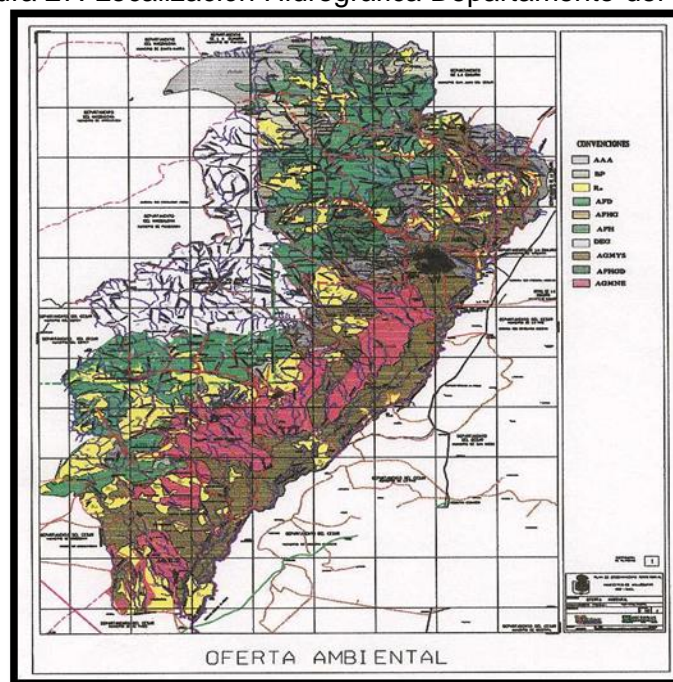
8.6 HIDROLOGÍA

En la región y en el municipio los elementos del sistema hídrico constituyen el drenaje natural del territorio y el desagüe de las zonas urbanizadas. Por ello, en la actualidad los dos sistemas, natural y artificial, se conjugan, conformando la red troncal de drenaje, sistema que debe ser protegido y conservado a fin de lograr que cumpla con su función, cual es la distribución natural del agua para uso humano, para uso rural y para la conservación de la vida silvestre y de la flora, el equilibrio, en esta distribución, originará sostenibilidad del desarrollo.

El sistema natural no es posible deslindarlo entre lo urbano y lo rural, es un conjunto que está constituido por los cauces naturales, de los cuerpos de agua, entre los cuales se encuentran los ríos, quebradas, sistema de primer orden en el espacio público municipal y urbano. Dentro de la estructura del sistema se identifican componentes naturales y artificiales, todos ellos se constituyen en espacio público y se jerarquizan de acuerdo a su importancia en red primaria, secundaria y terciaria. El Departamento Administrativo del Medio Ambiente, debe en todo caso identificar plenamente la red terciaria y la autoridad ambiental regional, delimitar las rondas hidráulicas de todo el conjunto del sistema. Este sistema está constituido por:

- Red primaria, se trata del río Cesar, en toda su longitud, el cual hace límite municipal.
- Red secundaria, además del río Guatapurí, lo constituyen todos los otros cauces tales como: Río Seco, Río Badillo, Río Los Clavos, Río Cesarito y Río Diluvio.
- Red terciaria, en el entorno urbano de Valledupar los principales son el Arroyo Mamón y el Arroyo Ovejas. En todo el conjunto de cuencas se ubican gran cantidad de arroyos importantes que forman parte integral del conjunto del sistema, y que se enumera ampliamente en el Componente Rural.

Figura 27. Localización Hidrográfica Departamento del Cesar



Fuente. IDEAM, 2005

Los indicadores Hídricos de sostenibilidad – realizados por el IDEAM¹ señalan que el municipio tiene una vulnerabilidad media por disponibilidad de agua, Las zonas planas del territorio presentan uno de los mayores índices de déficit de agua en el Departamento, los cuales están presentes en el suelo durante

¹ Fuente: IDEAM: Indicadores Hídricos de sostenibilidad-Condiciones de sostenibilidad proyectados años 2005-2025

más de seis meses al año, Esta situación sumada al acelerado proceso de deforestación, especialmente en las zonas de nacimiento de los ríos coloca al municipio en una posición de riesgo para la disponibilidad hídrica de los próximos años.

8.7 CLIMATOLOGÍA

En el departamento los sitios con mayores índices de aridez están localizados en la parte plana de los municipios de Valledupar, Agustín Codazzi, Becerril y Aguachica, específicamente en las provincias fisiográficas de la Serranía de Perijá y el valle del río Cesar, con índices de aridez anual mayor a 0.3, enmarcándolos como deficitario, con deficiencias de agua en el suelo de más de seis meses al año.

El territorio se ubica a diferentes altitudes, y posee climas variados que van desde el ecuatorial o cálido, subandino o templado, andino o frío hasta el páramo y las temperatura van los 0 hasta 32 grados.

En el municipio, desde el punto de vista de las regiones bioclimáticas de la Sierra Nevada y del Valle del río Cesar, hay provincias con clima húmedo árido y semiárido en las zonas planas y semihúmedo en sectores altos de la Sierra.

9. PARAMETROS CORRELACIONADOS

9.1 CORRELACIÓN N ENSAYOS DE PENETRACIÓN NORMAL VS N ENSAYO DE PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO

El objetivo fundamental en cuanto al desarrollo del proyecto de investigación es interrelacionar ensayos de campo como S.P.T., C.B.R. y P.D.C con los cuales se pretende dar los primeros pasos en cuanto a la investigación geotécnica en la ciudad de Valledupar, por lo tanto fue fundamental realizar un análisis de las condiciones actuales. La primera relación que se realizó fue la de interrelacionar el ensayo del Penetrómetro Dinámico de cono con el Ensayo de Penetración Estándar, con esta se busca siempre determinar o establecer capacidades admisibles.

A continuación se detalla el resumen de los resultados obtenidos en el área de estudio:

Tabla 2. Resumen de Resultados obtenidos en el Area de Estudio

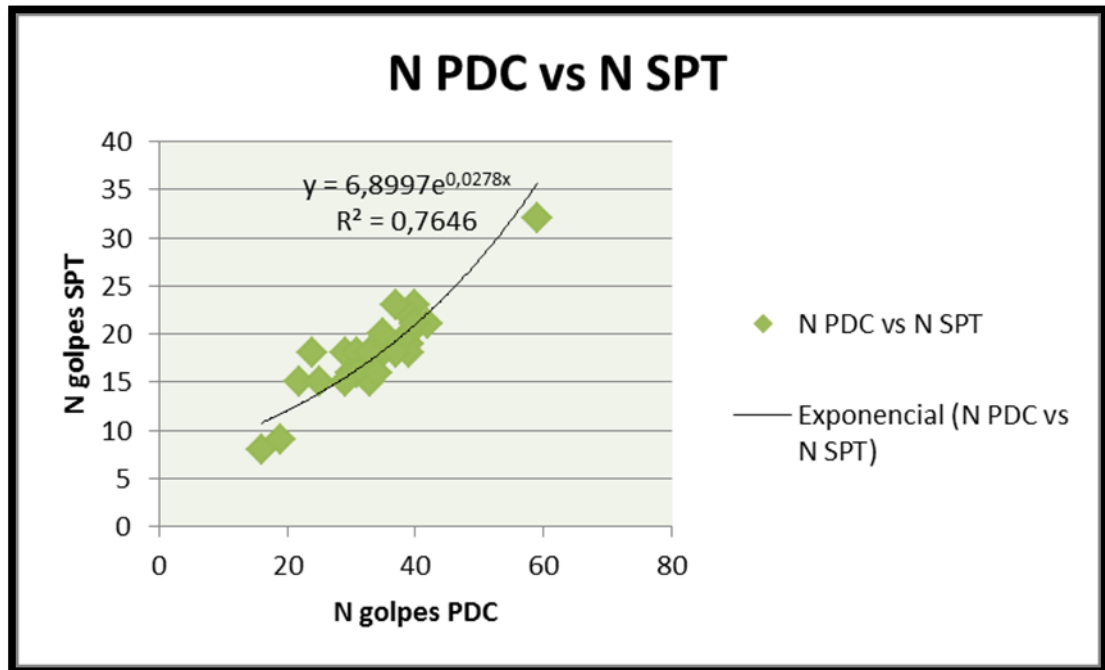
NUMERO	LOCALIZACION	APIQUE	N GOLPES FCC 30CM	N GOLPES SPT 30 CM	CAPACIDAD ADMISIBLE TON M ²	CER.FCC	CER.0,2	mm Golpe	PROFUNDIDAD MERCOS	CLASIFICACION USC
1	FERRONALCERA	AP1	16	8	622	93	83	182	1	SM
2	FERRONALCERA	AP2	19	9	698	105	104	171	2	SM
3	FERRONALCERA	AP3	22	6	982	143	191	181	15	SM
4	FERRONALCERA	AP4	24	8	1137	201	2374	91	1	SM
5	FERRONALCERA	AP5	25	6	982	203	1678	91	2	SM
6	FERRONALCERA	AP6	29	8	1137	198	2644	91	15	SM
7	FERRONALCERA	AP7	29	6	1137	199	2318	91	2	SM
8	FERRONALCERA	AP8	30	6	1082	199	1606	91	2	SM
9	URB SAN FERNANDO	AP1	30	8	1082	198	1289	91	15	SM
10	URB SAN FERNANDO	AP2	31	8	1137	203	1249	91	1	SP
11	URB SAN FERNANDO	AP3	31	8	1082	204	1239	91	15	SM
12	URB SAN FERNANDO	AP4	32	6	1082	203	3159	91	2	SM/SP
13	URB SAN FERNANDO	AP5	33	8	1137	198	3332	91	15	SP
14	URB SAN FERNANDO	AP6	33	6	1082	198	197	98	2	SM
15	MLOQUESANTILLO	AP1	33	8	1137	197	228	92	15	SM
16	MLOQUESANTILLO	AP2	34	8	1137	194	243	97	1	SM
17	MLOQUESANTILLO	AP3	34	6	1082	238	248	91	2	SM
18	MLOQUESANTILLO	AP4	35	8	1137	234	247	98	1	SM
19	MLOQUESANTILLO	AP5	35	20	194	223	24	8	15	SM
20	MLOQUESANTILLO	AP6	35	20	194	201	229	88	05	SM
21	MLOQUESANTILLO	AP7	37	23	1593	201	2345	91	2	SM
22	MLOQUESANTILLO	AP8	37	8	1537	29	2337	89	15	SM
23	7 DE AGOSTO	AP9	39	20	194	301	25	91	2	SM
24	7 DE AGOSTO	AP10	39	22	1489	308	2921	72	25	SM
25	7 DE AGOSTO	AP5	39	8	1264	432	4281	58	1	SM
26	7 DE AGOSTO	AP4	39	8	1264	443	4396	55	15	SM/SP
27	7 DE AGOSTO	AP1	39	20	194	463	4585	52	2	SM
28	DON CARMELO	AP2	40	23	1593	507	516	42	1	SM
29	DON CARMELO	AP3	40	21	1593	526	538	45	2	SM
30	DON CARMELO	AP1	42	21	1429	545	539	48	15	SM

La presente tabla muestra los valores de la capacidad admisible para el número de golpes N obtenidos al momento de realizar el Ensayo de Penetración Normal; cabe indicar que estos fueron necesarios para que con este equipo se penetrara 30 centímetros y de igual forma se determinó ese mismo número de golpes para la penetración de 30 centímetros para el Ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono.

Teniendo en cuenta la recopilación de datos ilustrados en la tabla anterior se procedió a realizar el análisis estadístico con diferentes tipos de correlaciones

tipo exponencial, lineal, logarítmica y polinómica, con el fin de establecer cuál de estas posee una mayor confiabilidad, a continuación se ilustra la relación entre el número de golpes del Ensayo de penetración Normal y los golpes del ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono:

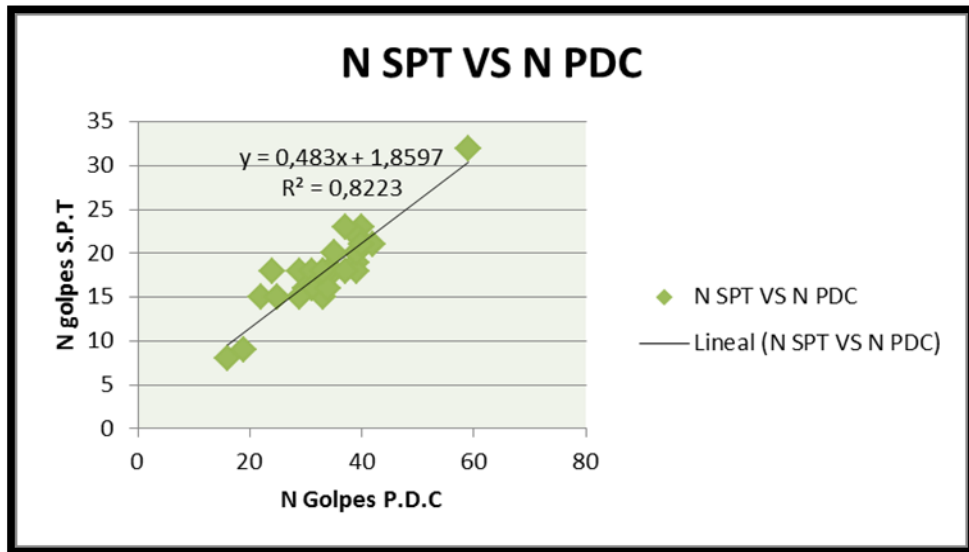
Gráfica 1. N PDC Vs N SPT



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°1** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y el número del Golpes N del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C por medio de una relación exponencial posee un coeficiente de variación $R^2=0.746$, por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **BAJO**.

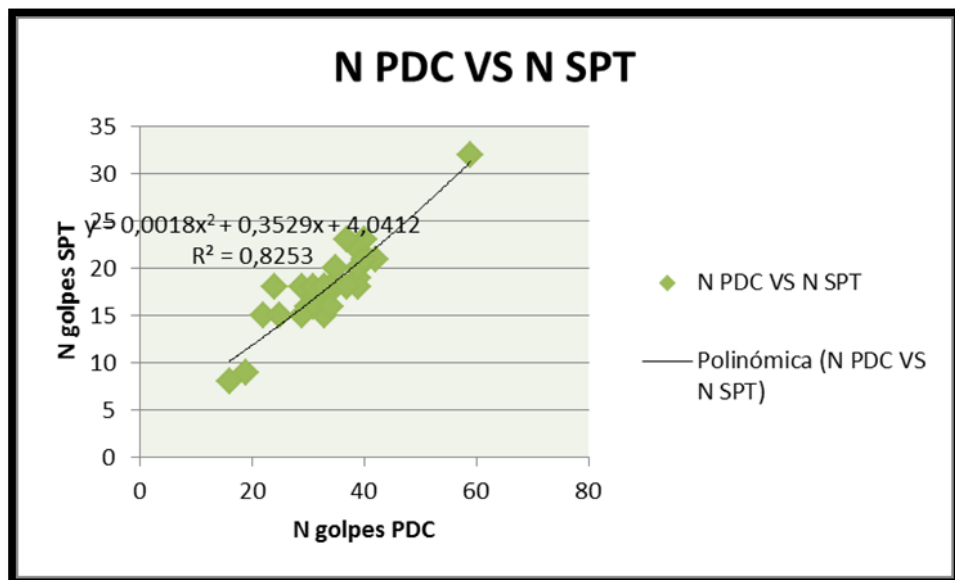
Gráfica 2. N PDC Vs N SPT



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°2** se observa que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y el número del Golpes N del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C. por medio de una relación lineal, por lo tanto posee un coeficiente de variación $R^2=0.8223$, así mismo se puede establecer que este coeficiente es **ACEPTABLE**.

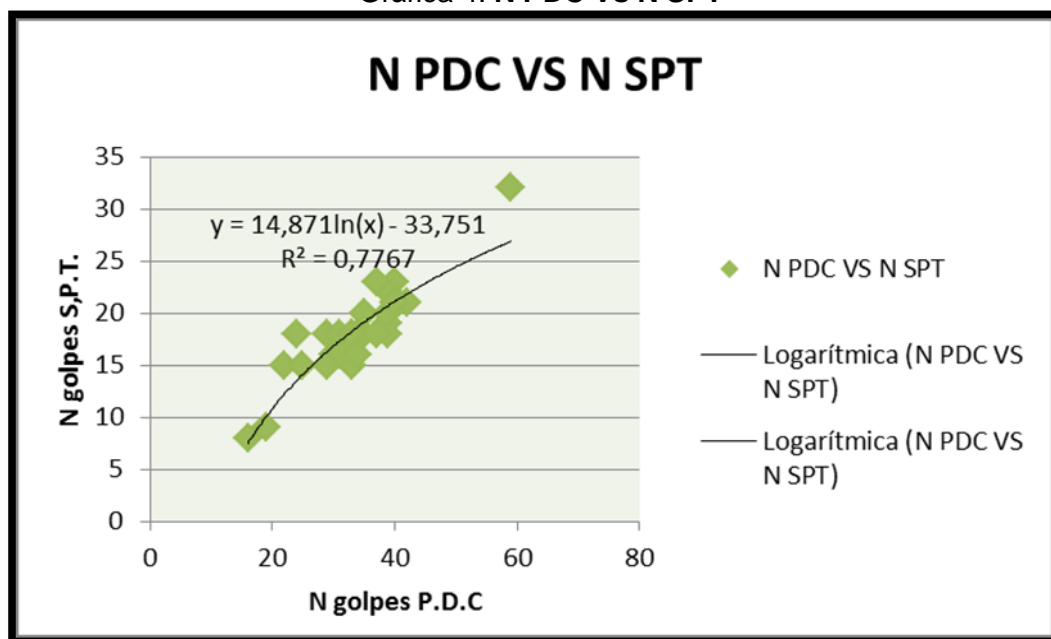
Gráfica 3. N PDC Vs N SPT



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°3** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y el número del Golpes N del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C. Por medio de una relación polinómica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.8253$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **ACEPTABLE**.

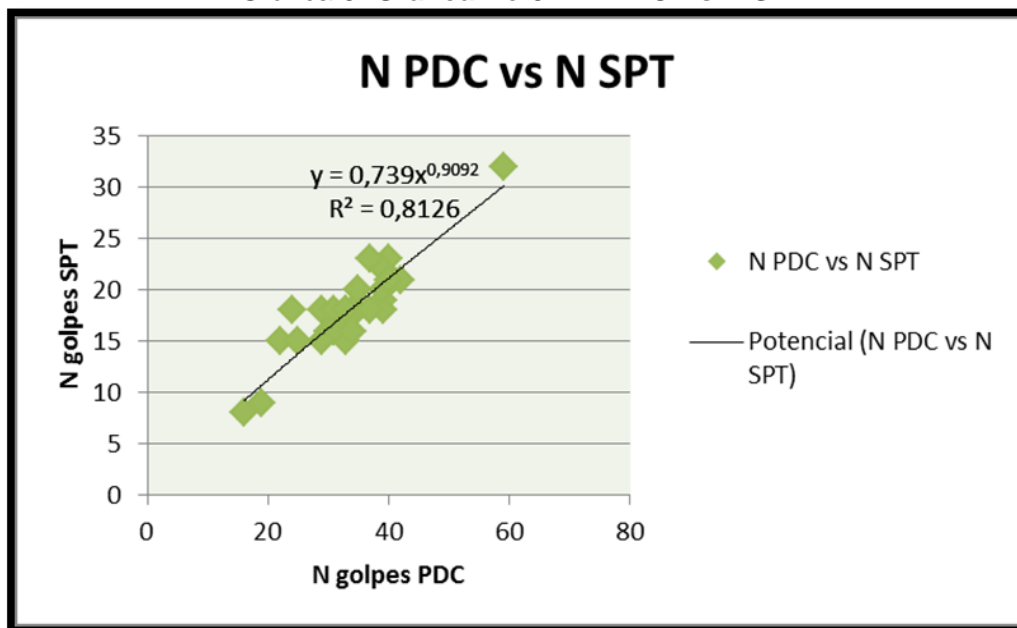
Gráfica 4. N PDC Vs N SPT



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°4** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y el número del Golpes N del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C. Por medio de una relación logarítmica por lo tanto posee un coeficiente de variación $R^2=0.7767$, se puede establecer que este coeficiente es **BAJO**.

Gráfica 5. Grafica No 5 – N PDC Vs N SPT

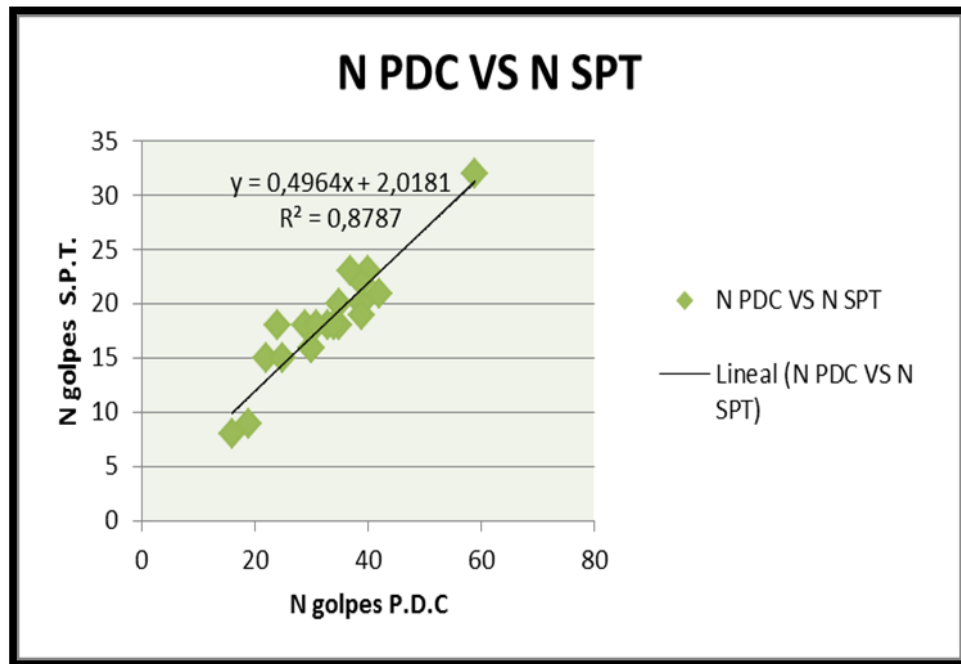


Fuente. Autor

En la **Gráfica N°5** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y el número del Golpes N del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C. Por medio de una relación exponencial por lo tanto posee un coeficiente de variación $R^2=0.8126$, se puede establecer que este coeficiente es **ACEPTABLE**.

Posterior a los análisis efectuados a los métodos anteriormente establecidos, se infiere que la correlación **LINEAL** es la que más se ajusta a una relación entre los datos del número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T., el número de Golpes N del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C por lo tanto se procede a depurar los datos y establecer otra correlación a partir de los datos obtenidos utilizando solo algunos de los valores obtenidos los cuales se ilustran en la siguiente gráfica:

Gráfica 6. N PDC Vs N SPT

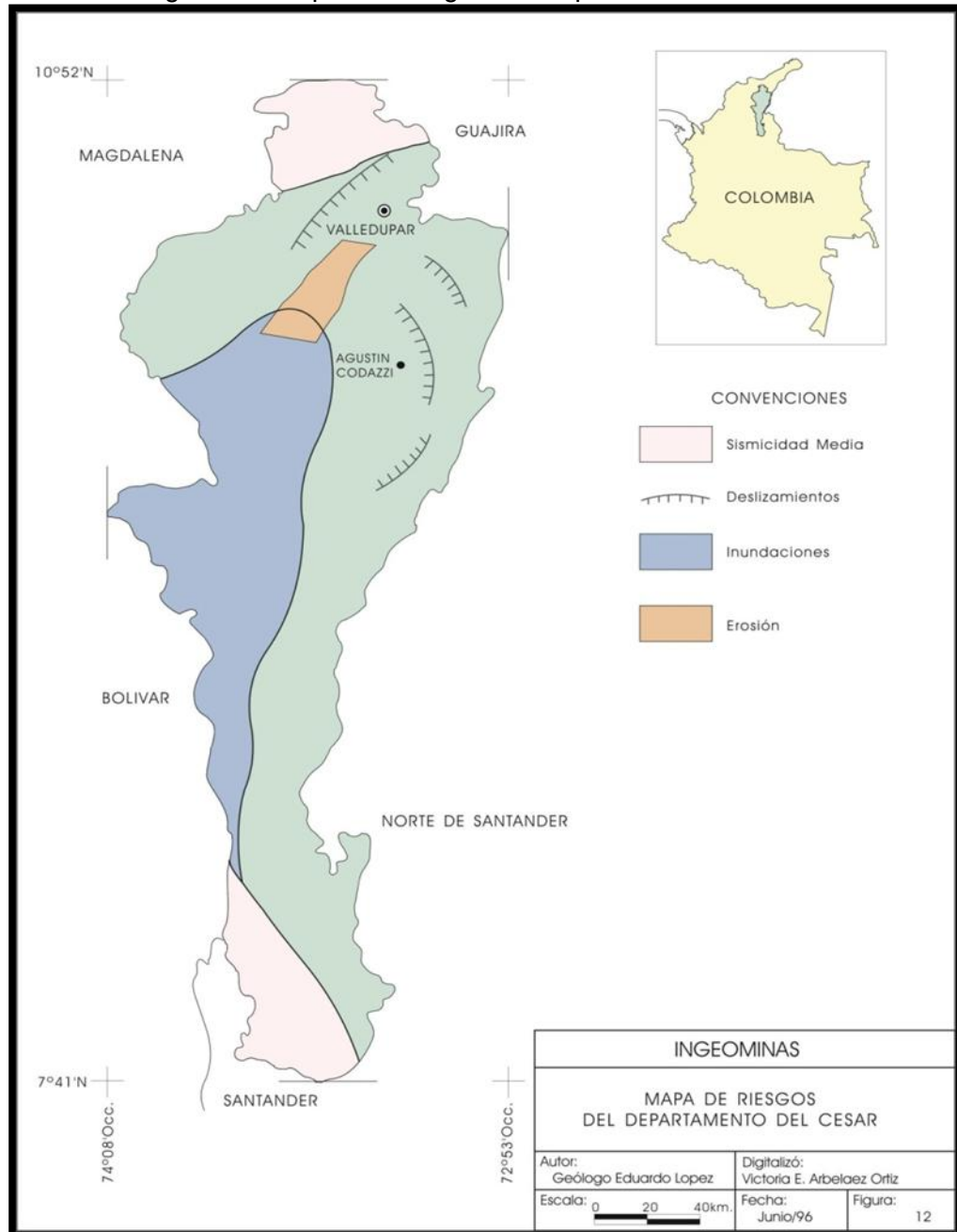


Fuente. Autor

En la **Gráfica N°6** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y el número del Golpes N del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono P.D.C. Por medio de una relación lineal para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.8787$ con lo cual se puede establecer que este coeficiente es la más confiable de todas las correlaciones analizadas. De lo anterior se puede extrapolar que existe una relación entre el número de golpes del Ensayo de Penetración Normal y el número de golpes del Ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono, debido a que estos son ensayos que en cuanto a ejecución son muy similares lo cambiante es el proceso de ejecución, las dimensiones y el peso de los equipos.

9.2 RELACION N ENSAYO DE PENETRACION NORMAL Y LA CAPACIDAD ADMISIBLE

Figura 28. Mapa de Riesgos del Departamento del Cesar



Fuente. POT Valledupar, 2009

9.2.1 Información de Amenaza Sismica en el Departamento del Cesar

Tabla 3. Información Amenaza Sísmica del Departamento del Cesar

DEPARTAMENTO DE CESAR							
MUNICIPIO	A _s	A _d	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	A _s	A _d	ZONA DE AMENAZA SISMICA
VALLEDUPAR	0.10	0.02	BAJA	GONZALEZ	0.15	0.03	INTERMEDIA
AGUACHICA	0.10	0.03	BAJA	LA GLORIA	0.10	0.02	BAJA
AGUSTIN CODAZZI	0.10	0.02	BAJA	LA JAGUA DE IBIRICO	0.10	0.02	BAJA
ASTREA	0.10	0.02	BAJA	MANAURE BALCON DEL CESAR	0.10	0.02	BAJA
BECERRIL	0.10	0.02	BAJA	PAILITAS	0.10	0.02	BAJA
BOSCONIA	0.10	0.02	BAJA	PELAYA	0.10	0.02	BAJA
CHIMICHAGUA	0.10	0.02	BAJA	RIO DE ORO	0.15	0.03	INTERMEDIA
CHIRIGUANA	0.10	0.02	BAJA	LA PAZ (ROBLES)	0.10	0.02	BAJA
CURUMANI	0.10	0.02	BAJA	SAN ALBERTO	0.20	0.03	INTERMEDIA
EL COPEY	0.10	0.02	BAJA	SAN DIEGO	0.10	0.02	BAJA
EL PASO	0.10	0.02	BAJA	SAN MARTIN	0.15	0.03	INTERMEDIA
GAMARRA	0.10	0.02	BAJA	TAMALAMEQUE	0.10	0.02	BAJA

En cuanto a esta relación se busca primordialmente establecer una correlación que nos sirva para determinar la capacidad admisible teniendo en cuenta solamente en número de golpes N y la capacidad admisible teniendo en cuenta la fórmula de que se detalla a continuación:

La fórmula utilizada para determinar la capacidad de carga es la siguiente:

$$q_u = 1.3C_{nc} + q_{Nq} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Dónde:

γ = Peso Unitario de los suelos.

ϕ = Coeficiente de fricción.

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensionales.

C = Cohesión de los suelos finos.

q_u = Capacidad de carga para cimentaciones cuadradas.

q_{adm} = Capacidad admisible, con un factor de seguridad=2.5.

La anterior es una fórmula es muy conservadora y nos garantiza la tranquilidad en los resultados al momento de poder utilizar esta fórmula a momento de emplearla en los trabajos que se desarrollan en la zona de la investigación por lo tanto a continuación se resumen lo resultados obtenidos en la tabla N°2 que se presenta; cabe precisar que es fundamental establecer la realización de una la evaluación

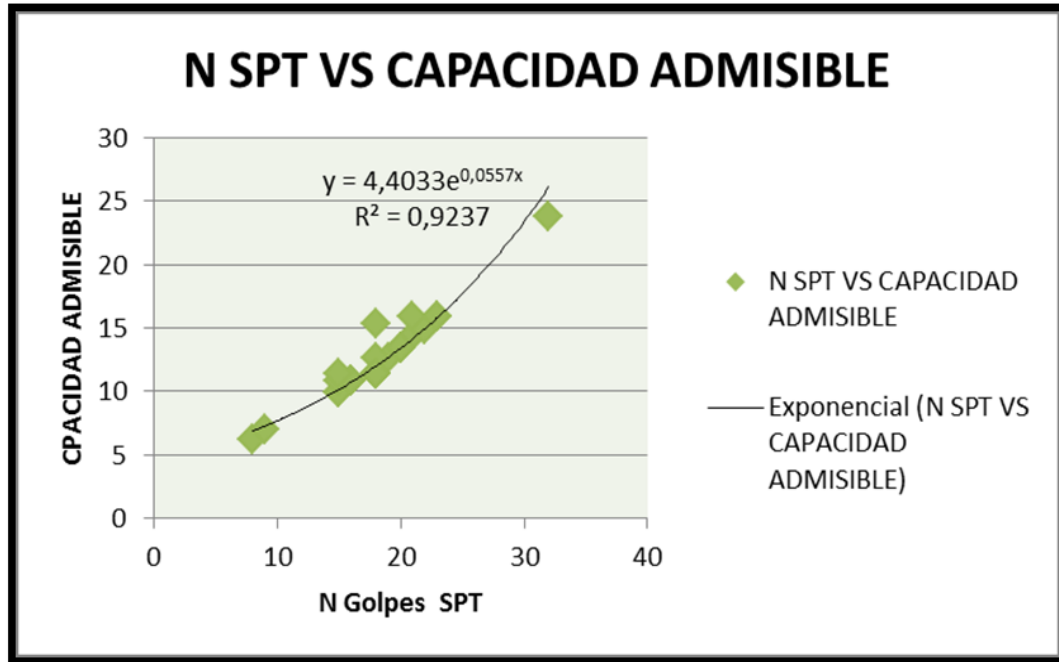
posterior con otra fórmula y determinar cuál es la más conveniente para la zona de influencia directa del proyecto.

Tabla 4. Capacidad Admisible Vs Ensayo de Penetración Normal

NUMERO	LOCALIZACION	APICLE	N GOLPES PDC 30 CM	N GOLPES SPT 30 CM	CAPACIDAD ADMISIBLE TON M ²	CER-PDC	CER-2	mm Golpe	PROFUNDIDAD EN METROS	CLASIFICACION USC
1	FERAGNADERA	AP1	6	8	622	93	83	82	1	SM
2	FERAGNADERA	AP2	9	9	698	05	004	7,1	2	SM
3	FERAGNADERA	AP3	22	6	992	113	181	13,1	15	SM
4	FERAGNADERA	AP4	24	8	1137	20,1	2374	9,1	1	SM
5	FERAGNADERA	AP5	25	6	992	203	578	9,1	2	SM
6	FERAGNADERA	AP6	29	8	1137	98	2644	9,1	15	SM
7	FERAGNADERA	AP7	29	6	1137	99	26,8	9,1	2	SM
8	FERAGNADERA	AP8	30	6	082	89	506	9,1	2	SM
9	URB SAN FERNANDO	AP1	30	6	082	86	259	9,1	15	SM
10	URB SAN FERNANDO	AP2	31	8	1137	203	249	9,1	1	SP
11	URB SAN FERNANDO	AP3	31	6	082	204	239	9,1	15	SM
12	URB SAN FERNANDO	AP4	32	6	082	203	3159	9,1	2	SM/SP
13	URB SAN FERNANDO	AP5	33	8	1137	98	3332	9,1	15	SP
14	URB SAN FERNANDO	AP6	33	6	082	98	97	98	2	SM
15	MILQUIESCANTILLO	AP1	33	8	1137	97	228	92	15	SM
16	MILQUIESCANTILLO	AP2	34	8	1137	94	243	97	1	SM
17	MILQUIESCANTILLO	AP3	34	6	082	238	248	9,1	2	SM
18	MILQUIESCANTILLO	AP4	35	8	1137	234	247	98	1	SM
19	MILQUIESCANTILLO	AP5	35	20	184	223	24	8	15	SM
20	MILQUIESCANTILLO	AP6	35	20	184	20,1	229	86	05	SM
21	MILQUIESCANTILLO	AP7	37	23	698	20,1	2345	9,1	2	SM
22	MILQUIESCANTILLO	AP8	37	8	637	23	2337	85	15	SM
23	7 DE AGOSTO	AP9	39	20	184	30,1	25	9,1	2	SM
24	7 DE AGOSTO	AP10	39	22	168	308	232	72	25	SM
25	7 DE AGOSTO	AP5	39	9	264	432	428	56	1	SM
26	7 DE AGOSTO	AP4	39	8	264	443	4396	55	15	SM/SP
27	7 DE AGOSTO	AP1	39	20	184	463	4585	52	2	SM
28	DDO CARNELO	AP2	40	23	698	507	516	42	1	SM
29	DDO CARNELO	AP3	40	21	698	526	538	45	2	SM
30	DDO CARNELO	AP1	42	21	129	545	539	48	15	SM

Teniendo en cuenta los datos antes mencionados procedimos a realizar las correlaciones las cuales arrojan los siguientes resultados:

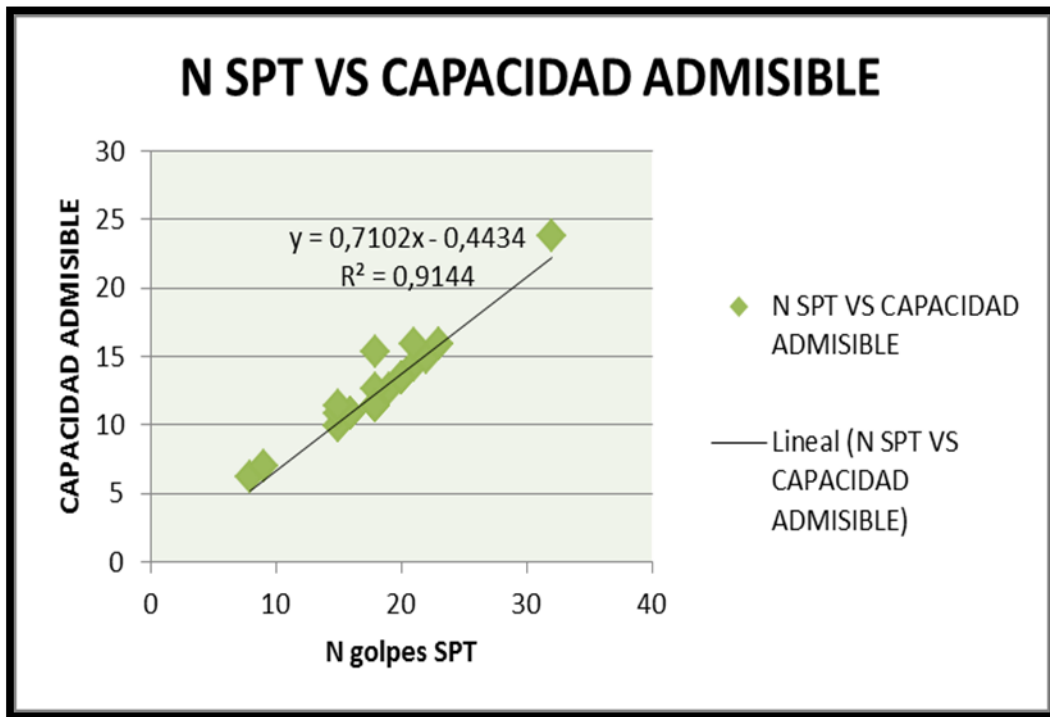
Gráfica 7. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°7** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y la capacidad admisible del suelo, mediante una relación exponencial la cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.92237$ con lo cual se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada.

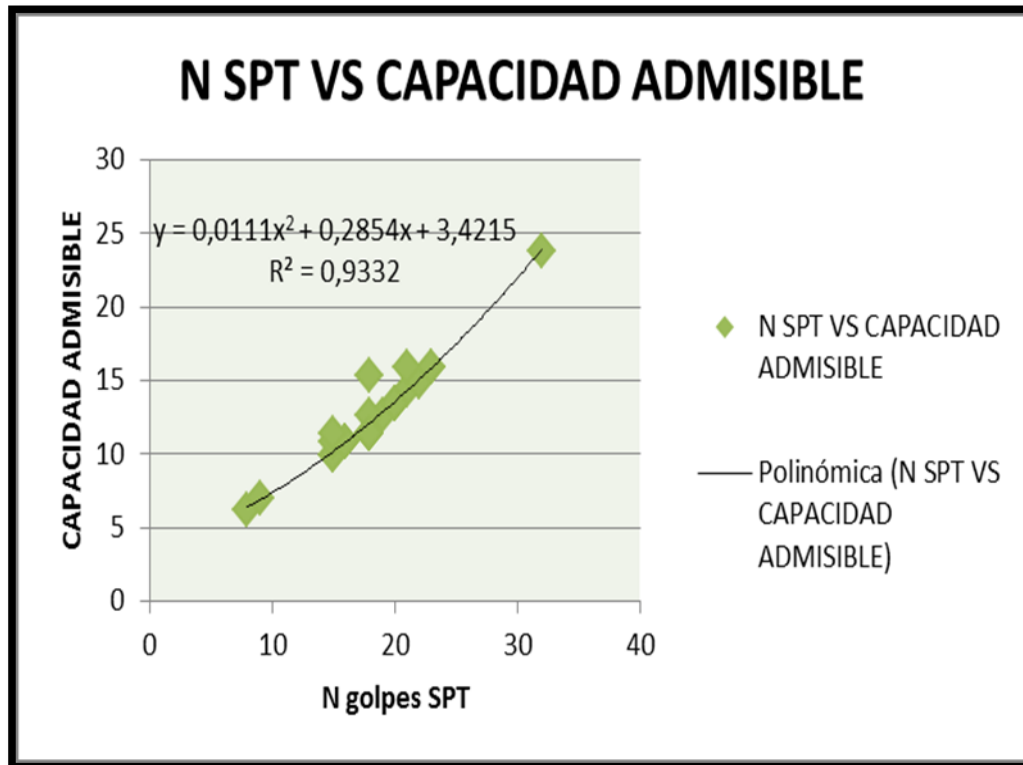
Gráfica 8. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°8** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y la capacidad admisible del suelo mediante una relación lineal posee un coeficiente de variación $R^2=0.9144$, por tanto se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada.

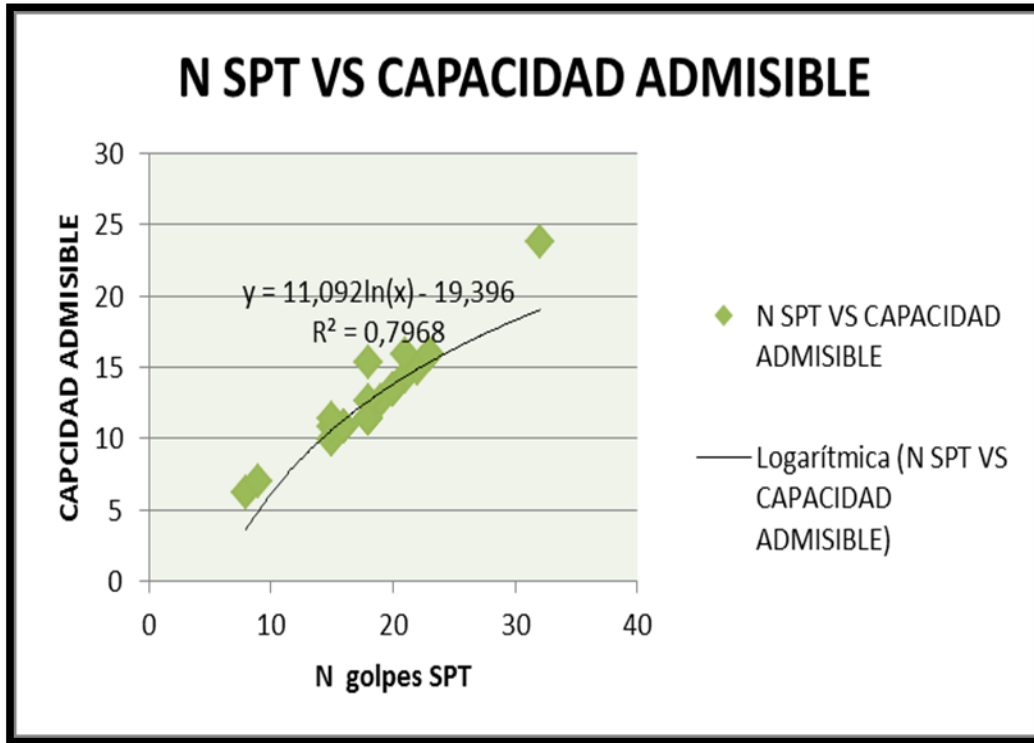
Gráfica 9. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°9** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y la capacidad admisible del suelo. Por medio de una relación polinómica lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.9332$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada.

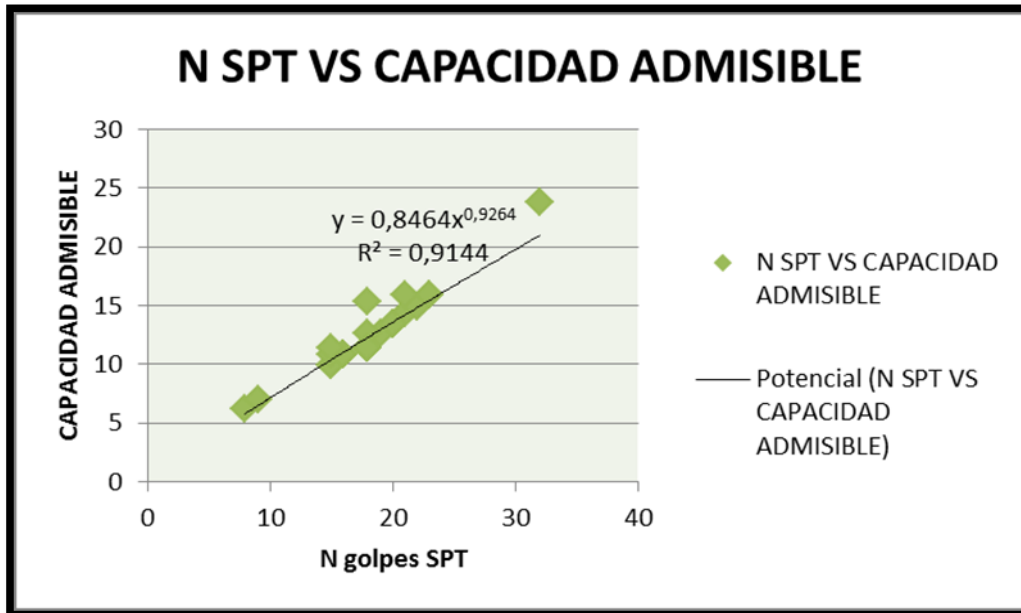
Gráfica 10. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°10** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y la capacidad admisible del suelos. Por medio de una relación logarítmica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.7968$ con lo cual se puede establecer que este coeficiente es poco confiable para la investigación realizada.

Gráfica 11. N SPT Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°11** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo de Penetración Normal S.P.T. y la capacidad admisible de los suelos. Por medio de una relación logarítmica por lo tanto posee un coeficiente de variación $R^2=0.9144$, mediante lo siguiente se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada

Teniendo en cuenta todas las correlaciones analizadas entre el Ensayo de Penetración Estándar y la capacidad admisible de los suelos establecidos por la ecuación:

$$q_u = 1.3C_{Nc} + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Se puede deducir que la ecuación que más correlación posee es la ecuación polinómica con la cual se podría establecer capacidades admisibles a través del número de Golpes N que se necesitan para penetrar los 30 centímetros del Ensayo de penetración normal es de aclarar que con esta correlación estaríamos

siendo conservadores al momento de establecer una capacidad admisible de los suelos de la zona de investigación.

9.3 RELACIÓN ENSAYO DE PENETROMETRO DINÁMICO DE CONO P.D.C Y LA CAPACIDAD ADMISIBLE

Teniendo en cuenta que el Ensayo de Penetración Estándar y el Ensayo de Penetrómetro Dinámico de cono son muy similares en cuanto a su ejecución, solo difieren en las dimensiones y los pesos de los equipos; para afianzar la investigación se planteó realizar ensayo de Penetrómetro Dinámico de cono en los mismos sitios donde se realizó el Ensayo de penetración Estándar y a las mismas profundidades, realizando excavaciones de hasta dos (2) metros que tuvieran la capacidad de que el operario tuviera la opción de realizar el Ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono, y con base a estos datos confrontados con los obtenidos en la capacidad admisible se procedió a establecer la relación que existe entre el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible.

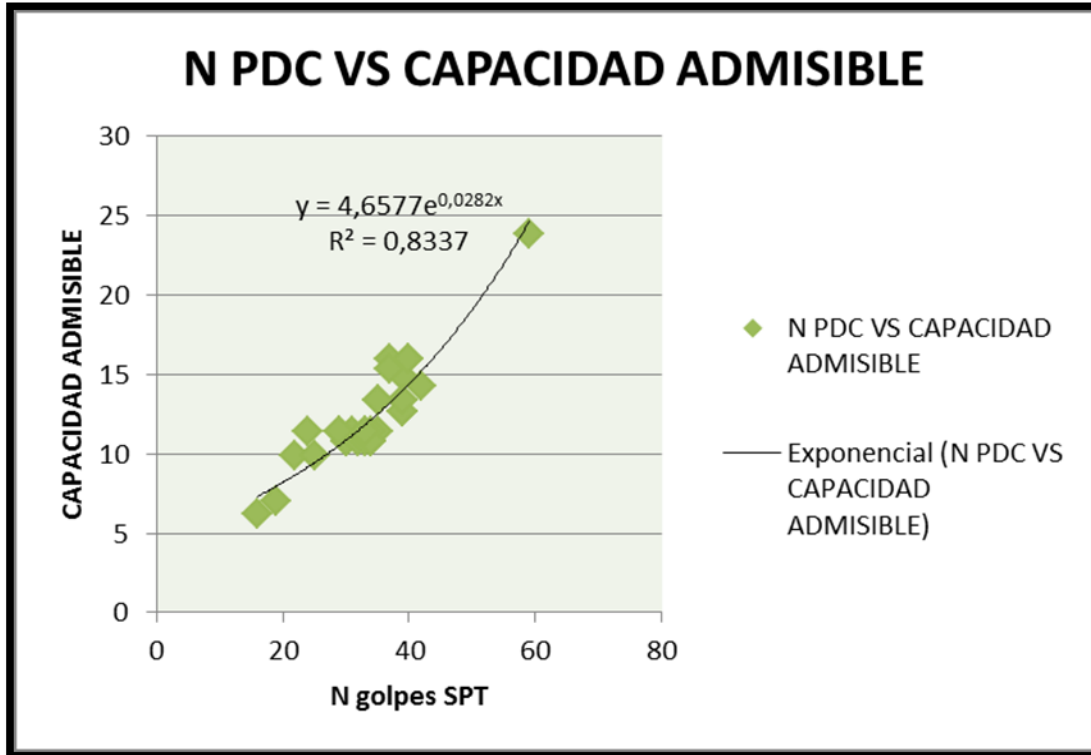
Los datos y los resultados se describen a continuación mediante la siguiente tabla:

Tabla 5. Capacidad Admisible Vs Ensayo de Penetración Dinámica de Cono

NUMRO	LOCALIZACION	ARQUE	NGQ/PES/FDC 30CM	NGQ/PES/SPT 30 CM	CAPACIDAD ADMISIBLE TON M2				FONDODEN METROS	CLASIFICACION U.S.C
						CFR-FDC	CFR.0.2	mm/Golpe		
1	FEPAQUADERA	AP1	6	8	622	9,3	83	182	1	SM
2	FEPAQUADERA	AP2	8	9	698	0,5	1004	171	2	SM
3	FEPAQUADERA	AP3	22	15	992	14,3	1191	131	15	SM
4	FEPAQUADERA	AP4	24	18	1137	201	2374	91	1	SM
5	FEPAQUADERA	AP5	25	15	992	20,3	1578	91	2	SM
6	FEPAQUADERA	AP6	29	18	1137	9,8	2644	91	15	SM
7	FEPAQUADERA	AP7	29	15	1137	9,9	2619	91	2	SM
8	FEPAQUADERA	AP8	30	16	1082	9,9	1506	91	2	SM
9	URB SAN FERNANDO	AP1	30	16	1082	9,6	1299	91	15	SM
10	URB SAN FERNANDO	AP2	31	18	1137	20,3	1249	91	1	SP
11	URB SAN FERNANDO	AP3	31	16	1082	20,4	1239	91	15	SM
12	URB SAN FERNANDO	AP4	32	16	1082	20,3	3159	91	2	SM/SP
13	URB SAN FERNANDO	AP5	33	18	1137	9,8	3332	91	15	SP
14	URB SAN FERNANDO	AP6	33	15	1082	9,8	1917	9,8	2	SM
15	MLOPACESCANTILLO	AP1	33	18	1137	9,7	228	9,2	15	SM
16	MLOPACESCANTILLO	AP2	34	18	1137	9,4	243	9,7	1	SM
17	MLOPACESCANTILLO	AP3	34	16	1082	23,8	248	91	2	SM
18	MLOPACESCANTILLO	AP4	35	18	1137	23,4	247	9,8	1	SM
19	MLOPACESCANTILLO	AP5	35	20	134	22,3	24	8	15	SM
20	MLOPACESCANTILLO	AP6	35	20	134	201	229	9,6	0,5	SM
21	MLOPACESCANTILLO	AP7	37	23	1593	201	2345	91	2	SM
22	MLOPACESCANTILLO	AP8	37	18	1537	23	2337	9,9	15	SM
23	7 DE AGOSTO	AP9	39	20	134	301	25	91	2	SM
24	7 DE AGOSTO	AP10	39	22	1489	30,8	2921	7,2	25	SM
25	7 DE AGOSTO	AP5	39	19	1264	43,2	4281	5,8	1	SM
26	7 DE AGOSTO	AP4	39	18	1264	44,3	4396	5,9	15	SM/SP
27	7 DE AGOSTO	AP1	39	20	134	46,3	4585	5,2	2	SM
28	CONCHRIELO	AP2	40	23	1593	50,7	515	4,2	1	SM
29	CONCHRIELO	AP3	40	21	1593	52,6	538	4,5	2	SM
30	CONCHRIELO	AP1	42	21	1429	54,5	539	4,8	15	SM

Realizando el análisis procedemos a establecer las siguientes relaciones de diversos tipos.

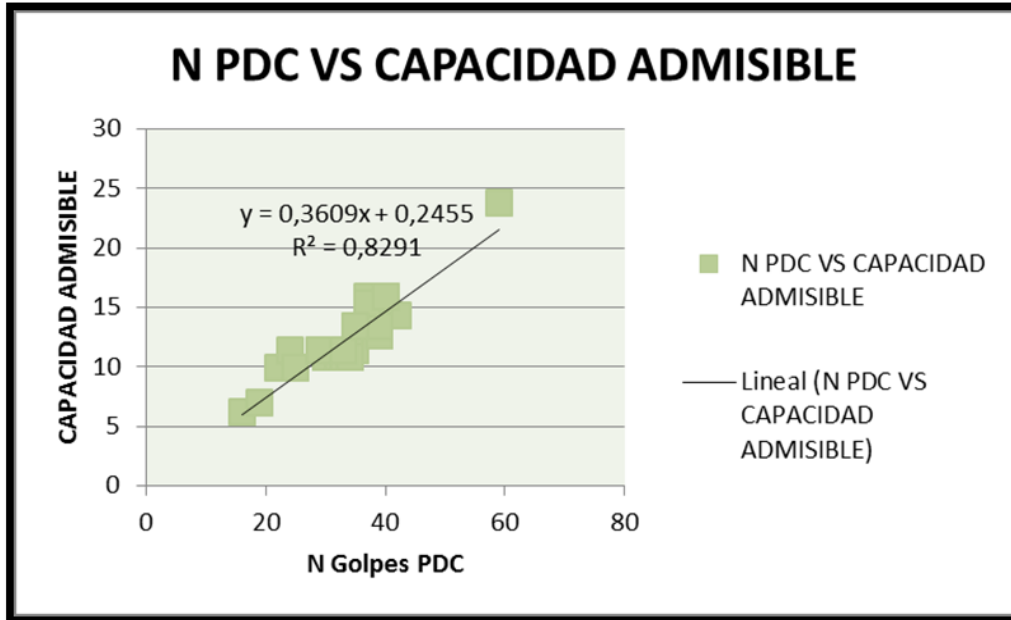
Gráfica 12. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°12** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible del suelo. Por medio de una relación exponencial posee un coeficiente de variación $R^2=0.8337$ con lo cual se puede establecer que este coeficiente es **REGULAR** para la investigación realizada.

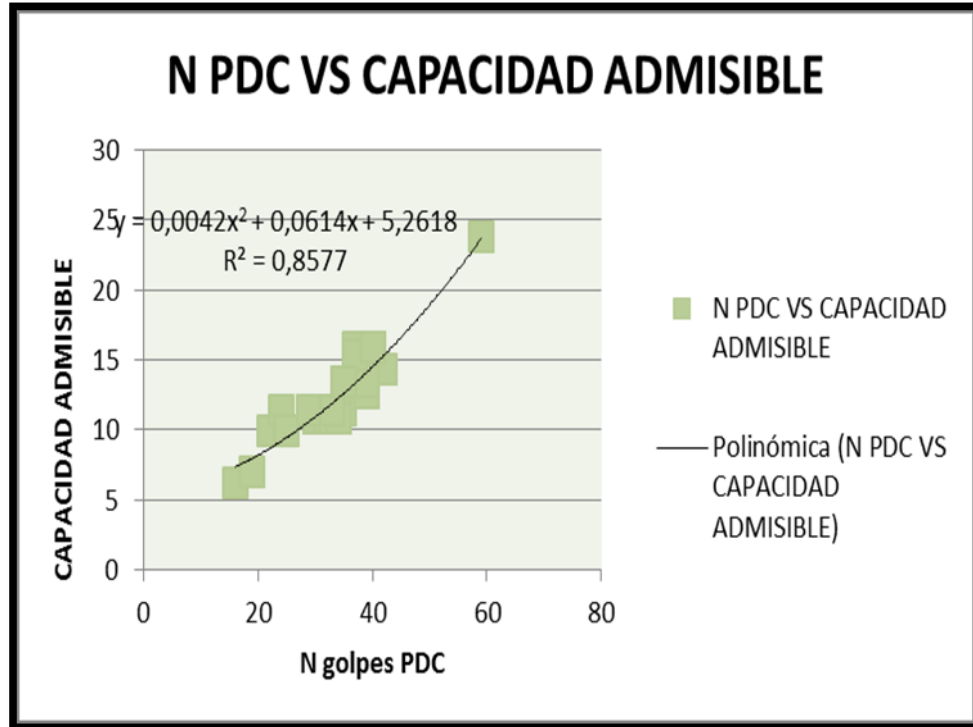
Gráfica 13. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°13** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible del suelo. Por medio de una relación lineal posee un coeficiente de variación $R^2=0.8337$ con lo cual se puede establecer que este coeficiente es **REGULAR** para la investigación realizada.

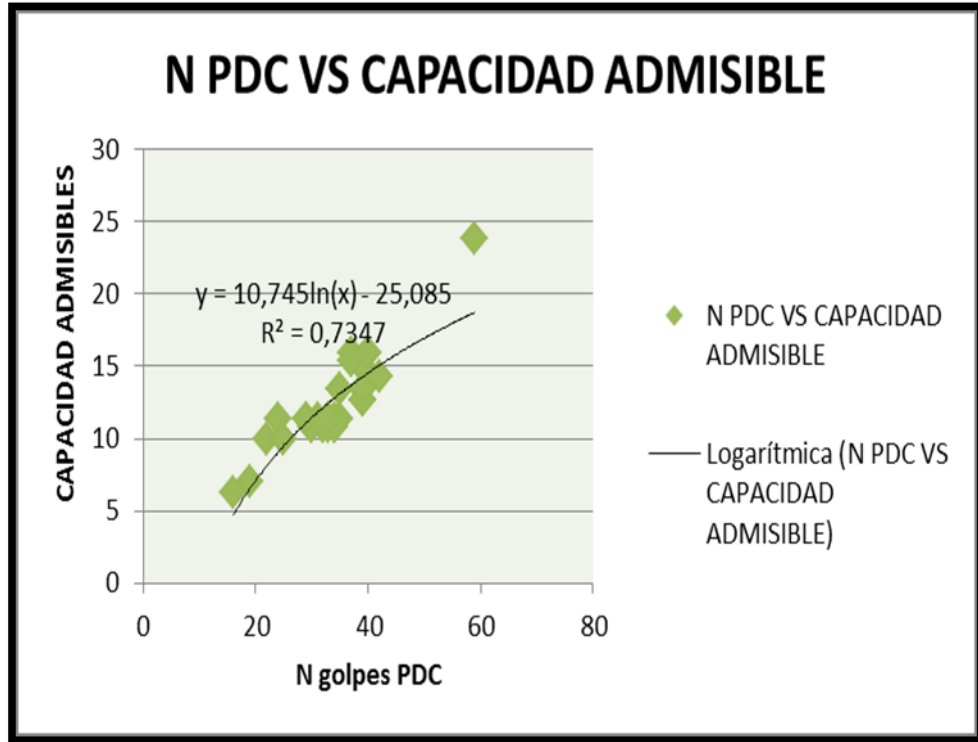
Gráfica 14. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°14** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible del suelo. Por medio de una relación polinómica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.8577$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada.

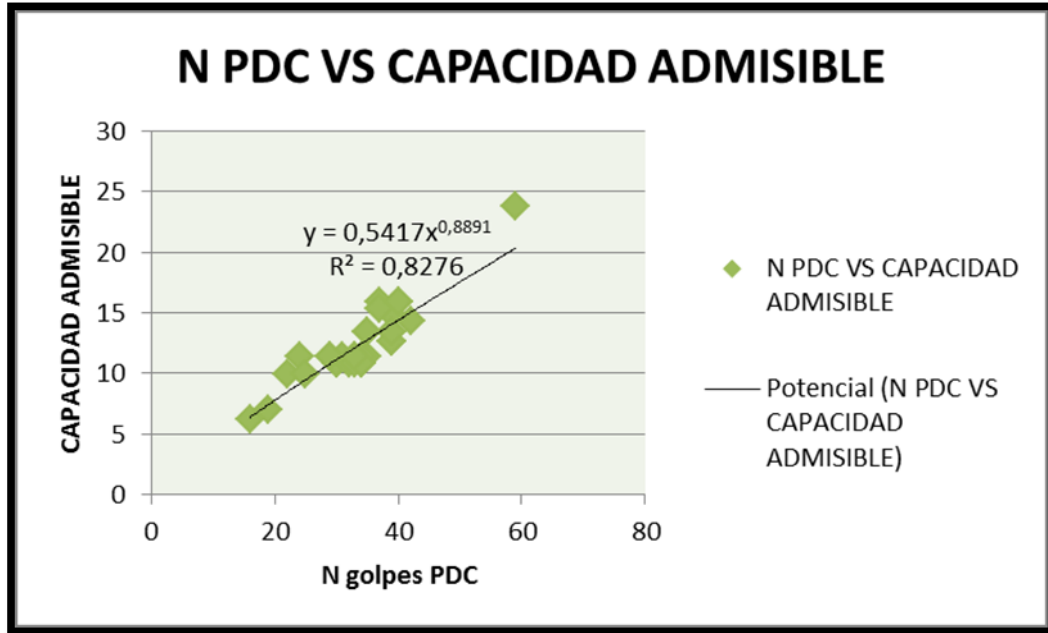
Gráfica 15. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°15** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible del suelo. Por medio de una relación logarítmica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.7347$ con lo cual se puede establecer que este coeficiente es poco **CONFIABLE** para la investigación realizada.

Gráfica 16. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE

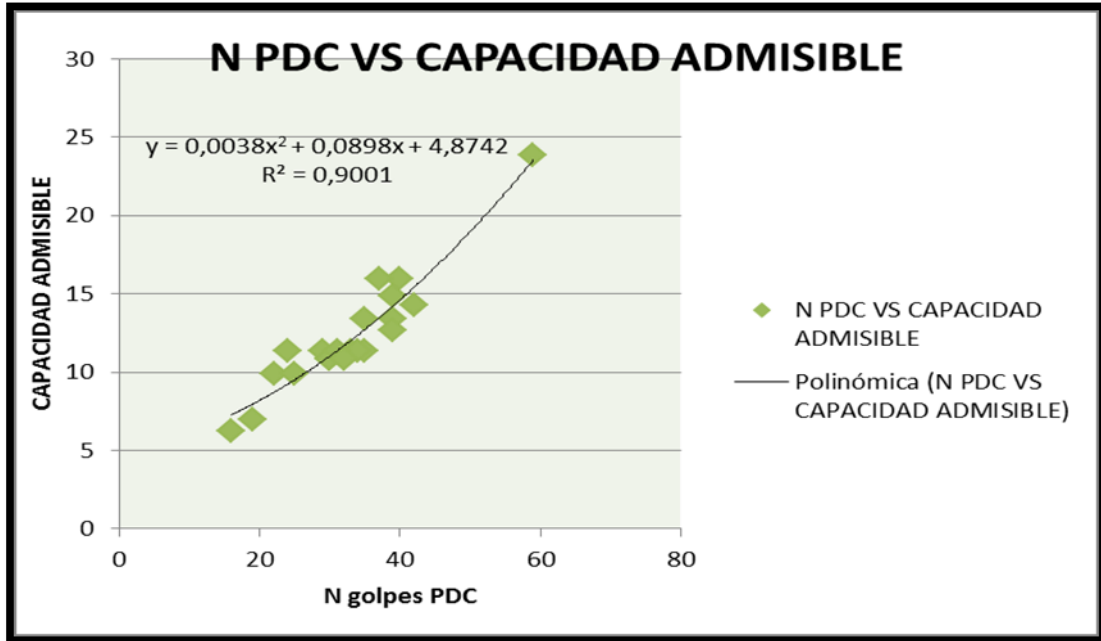


Fuente. Autor

En la **Gráfica N°16** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N del Ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible de los suelos. Por medio de una relación logarítmica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.827$ se puede establecer que este coeficiente regularmente **CONFIABLE** para la investigación realizada

De todas las correlaciones realizadas se puede establecer que la correlación polinómica es la más confiable, teniendo en cuenta que lo antes mencionado se procedió a realizar una depuración de los datos y se procedió a establecer otra correlación la cual se ilustra a continuación.

Gráfica 17. N PDC Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°17** se puede establecer que esta correlación entre el número de golpes N de ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible del suelo. Por medio de una relación polinómica esta posee un coeficiente de variación $R^2=0.90$ con lo cual se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada.

Teniendo en cuenta todas las correlaciones analizadas entre el Ensayo de Penetrómetro Dinámico de cono y la capacidad admisible de los suelos establecidos por la ecuación:

$$q_u = 1.3C_{Nc} + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Se puede deducir que la ecuación que más correlación posee es la ecuación polinómica con la cual se podría establecer capacidades admisibles a través del número de Golpes N que se necesitan para Cono penetrar los 30 centímetros del Ensayo de penetración dinámica de cono, es de aclarar que con esta correlación

estaríamos siendo conservadores al momento de establecer una capacidad admisible de los suelos de la zona de investigación.

9.4 RELACION CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO (CBR) Y CAPACIDAD ADMISIBLE

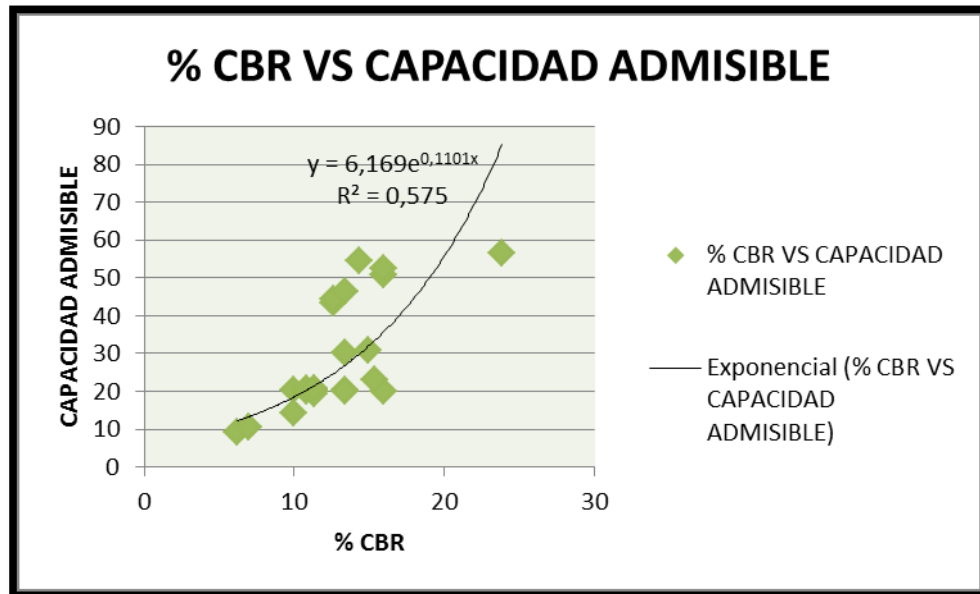
A continuación se describen los datos obtenidos en el análisis de los datos de campo del ensayo de Capacidad de Soporte del Suelo C.B.R. y la capacidad admisible con el objeto de verificar la existencia de una relación entre estos dos ensayos.

Tabla 6. Capacidad Admisible Vs Capacidad de Soporte del Suelo (CBR)

NUMRO	LOCALIZACION	APICLE	NGCOLPESFDC 30CM	NGCOLPESPT 30 CM	CAPACIDAD ADMISIBLE TON/M2	CBR-FDC	CBR-Q2	mm Golpe	PROFUNDIDAD EN METROS	CLASIFICACION USC.
1	FERRAGNACERA	AP1	6	8	6,22	9,3	8,3	8,2	1	SM
2	FERRAGNACERA	AP2	8	9	6,98	0,6	0,04	17,1	2	SM
3	FERRAGNACERA	AP3	22	6	9,92	11,3	19,1	13,1	15	SM
4	FERRAGNACERA	AP4	24	8	11,37	20,1	23,74	9,1	1	SM
5	FERRAGNACERA	AP5	25	6	9,92	20,3	6,78	9,1	2	SM
6	FERRAGNACERA	AP6	29	8	11,37	9,8	26,44	9,1	15	SM
7	FERRAGNACERA	AP7	29	6	11,37	9,9	26,6	9,1	2	SM
8	FERRAGNACERA	AP8	30	6	0,82	9,9	6,06	9,1	2	SM
9	URB SAN FERNANDO	AP1	30	6	0,82	9,6	12,58	9,1	15	SM
10	URB SAN FERNANDO	AP2	31	8	11,37	20,3	12,48	9,1	1	SP
11	URB SAN FERNANDO	AP3	31	6	0,82	20,4	12,38	9,1	15	SM
12	URB SAN FERNANDO	AP4	32	6	0,82	20,3	31,68	9,1	2	SM/SP
13	URB SAN FERNANDO	AP5	33	8	11,37	9,8	33,32	9,1	15	SP
14	URB SAN FERNANDO	AP6	33	6	0,82	9,8	9,7	9,8	2	SM
15	M. LA CAJONCILLO	AP1	33	8	11,37	9,7	22,8	9,2	15	SM
16	M. LA CAJONCILLO	AP2	34	8	11,37	9,4	24,3	9,7	1	SM
17	M. LA CAJONCILLO	AP3	34	6	0,82	23,8	24,8	9,1	2	SM
18	M. LA CAJONCILLO	AP4	35	8	11,37	23,4	24,7	9,8	1	SM
19	M. LA CAJONCILLO	AP5	35	20	13,4	22,3	24	8	15	SM
20	M. LA CAJONCILLO	AP6	35	20	13,4	20,1	22,9	8,6	0,6	SM
21	M. LA CAJONCILLO	AP7	37	23	6,93	20,1	23,45	9,1	2	SM
22	M. LA CAJONCILLO	AP8	37	8	6,37	23	23,37	8,6	15	SM
23	7 DE AGOSTO	AP9	39	20	13,4	30,1	25	9,1	2	SM
24	7 DE AGOSTO	AP10	39	22	11,89	30,8	29,21	7,2	2,5	SM
25	7 DE AGOSTO	AP5	39	8	0,64	43,2	42,81	5,6	1	SM
26	7 DE AGOSTO	AP4	39	8	0,64	44,3	43,96	5,6	15	SM/SP
27	7 DE AGOSTO	AP1	39	20	13,4	46,3	45,85	5,2	2	SM
28	DONORIBEO	AP2	40	23	6,93	50,7	51,6	4,2	1	SM
29	DONORIBEO	AP3	40	21	6,93	52,6	53,8	4,6	2	SM
30	DONORIBEO	AP1	42	21	11,29	54,6	53,9	4,8	15	SM

Se procedió a realizar los diferentes tipos de análisis, mediante estos se obtienen las siguientes representaciones gráficas:

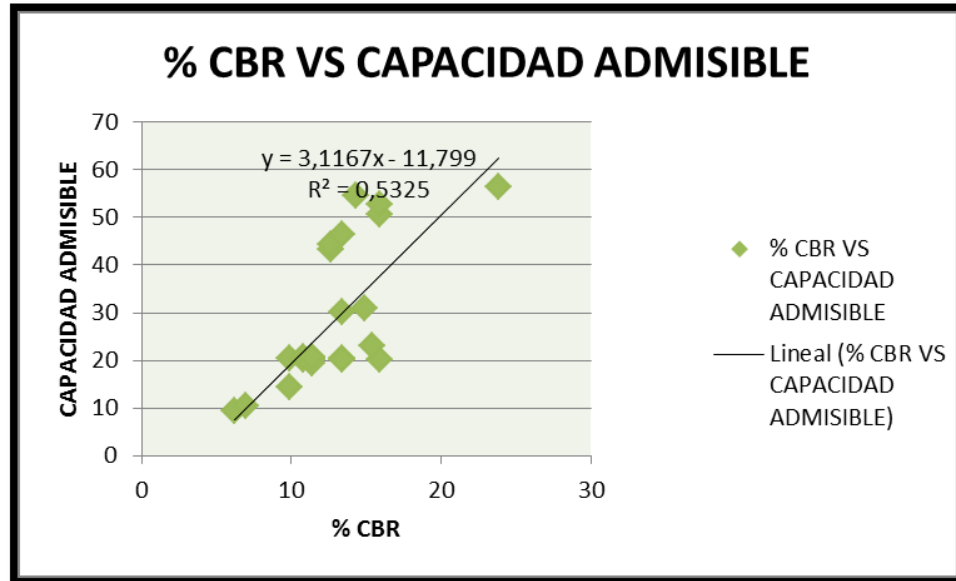
Gráfica 18. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°18** se puede establecer que esta correlación entre la capacidad admisible y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación exponencial para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.575$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

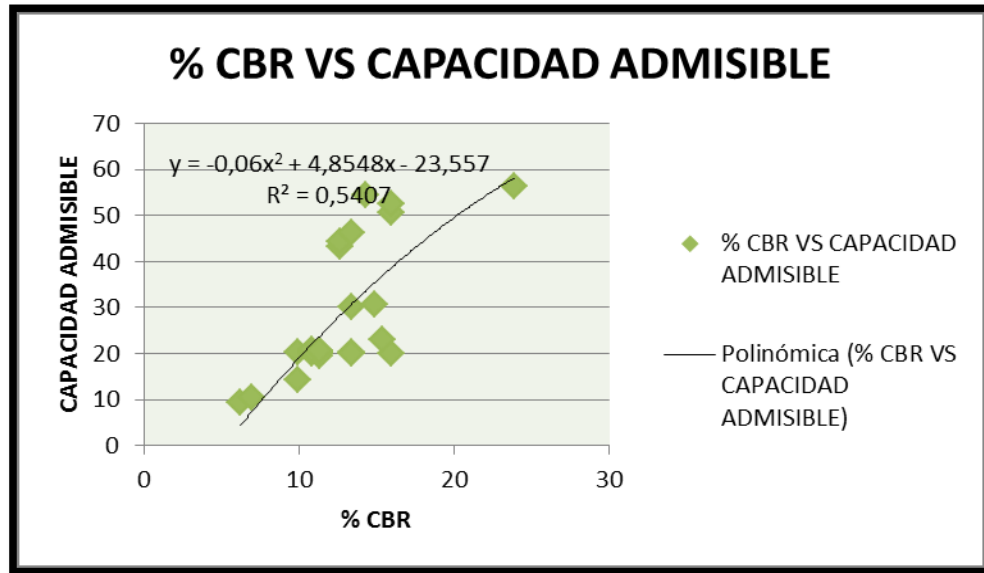
Gráfica 19. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°19** se puede establecer que esta correlación entre la capacidad admisible y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación exponencial para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.5325$, por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

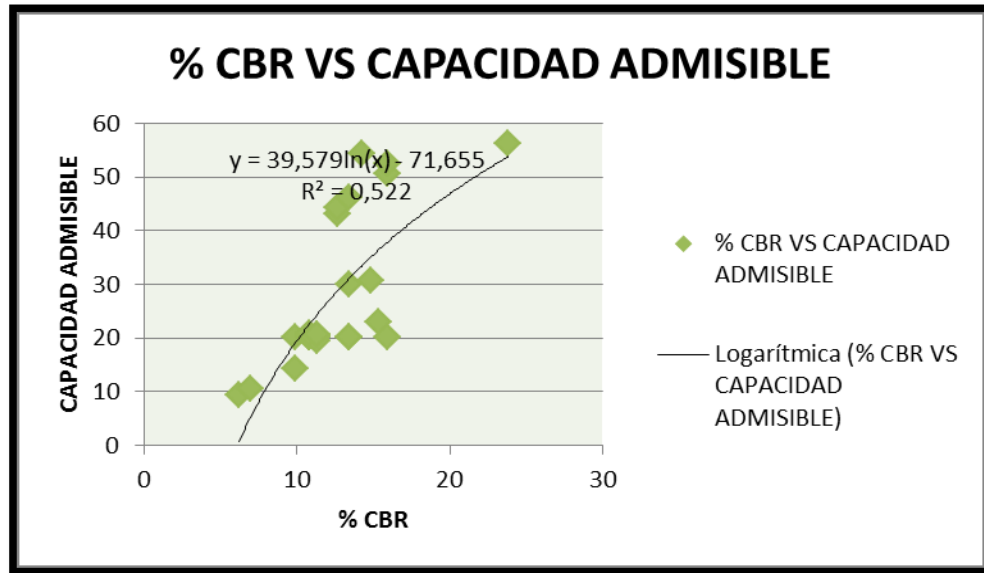
Gráfica 20. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°20** se puede establecer que esta correlación entre la capacidad admisible y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación polinómica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.5407$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

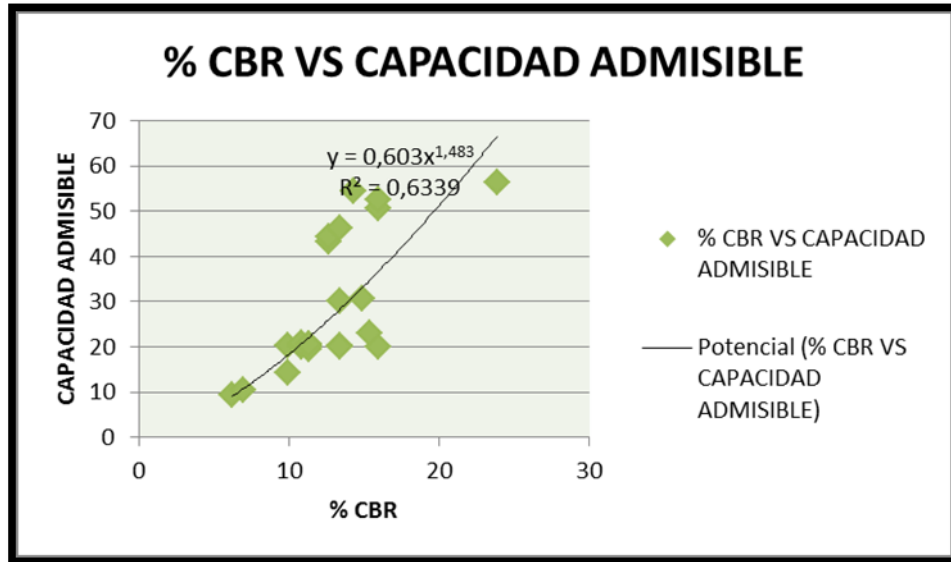
Gráfica 21. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°21** se puede establecer que esta correlación entre la capacidad admisible y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación logarítmica, esta posee un coeficiente de variación $R^2=0.522$, por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

Gráfica 22. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE

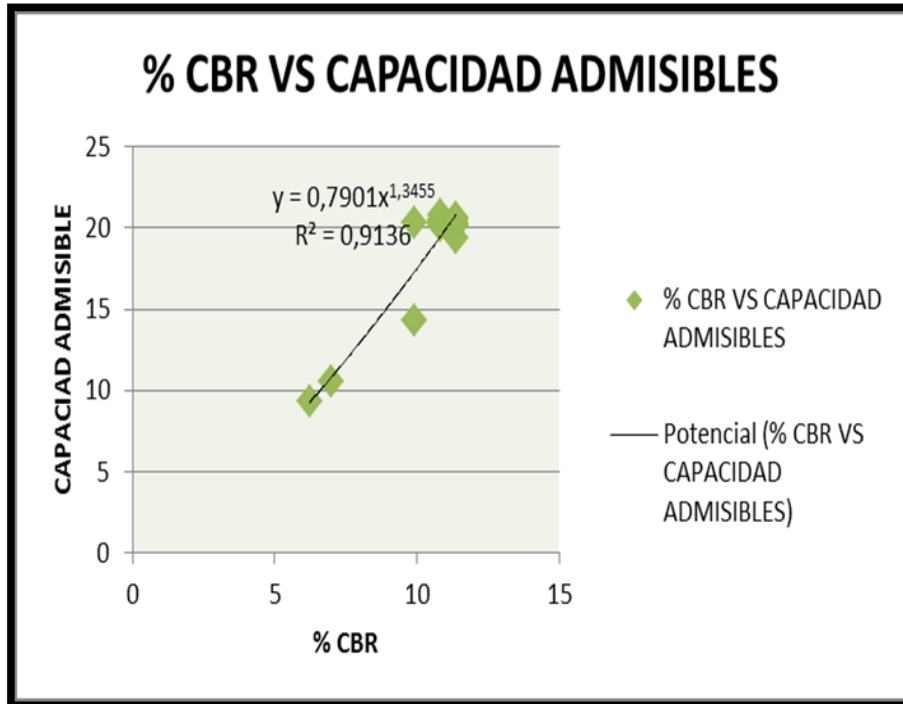


Fuente. Autor

En la **Gráfica N°22** se puede establecer que esta correlación entre la capacidad admisible y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación potencial para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.6339$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es poco confiable para la investigación realizada.

Luego de analizadas por los métodos anteriores se establece que la correlación potencial es la que más se ajusta a una relación entre la capacidad admisible y el % de C.B.R. para los cual se procede a depurar los datos y establecer otra correlación a partir de los datos obtenidos utilizando solo algunos de los valores obtenidos lo cual se ilustra en la siguiente gráfica.

Gráfica 23. % CBR Vs CAPACIDAD ADMISIBLE



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°23** se puede establecer que esta correlación entre la capacidad admisible y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación potencial para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.9136$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada.

De lo anteriormente expuesto se puede concluir que estos dos ensayos se pueden correlacionar, pero es importante establecer más profundidad sobre el tema en cuanto al número de datos para lograr una mayor confiabilidad en los resultados arrojados.

9.4 RELACION ENTRE MILIMETROS POR GOLPE Y EL PORCENTAJE DE CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO OBTENIDO POR MEDIO DE MUESTRAS INALTERADAS.

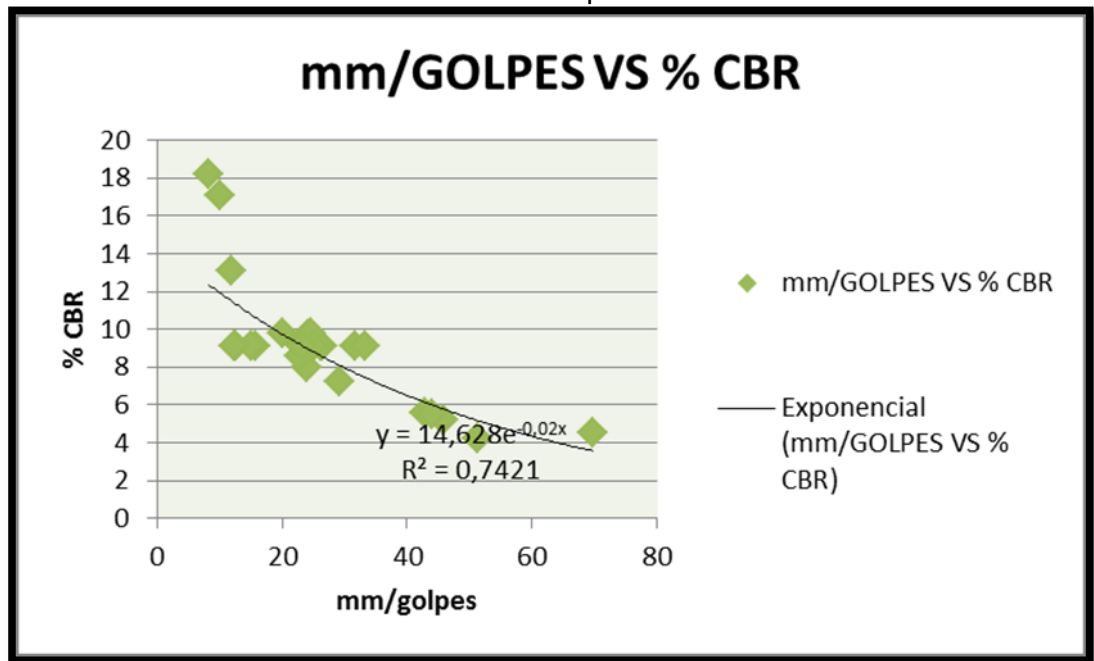
Tabla 7. Milímetros por Golpe Vs % de Capacidad Soporte del Suelo muestras Inalteradas

NUMERO	LOCALIZACION	ARCLE	NGOLPES		CAPACIDAD ADMISIBLE TON/M2	CER			PROFUNDIDAD EN METROS	CLASIFICACION USC
			30CM	30 CM		CER/FDC	CER/0,2	mm/Golpe		
1	FERRANCADERA	AP1	16	8	622	93	83	182	1	SM
2	FERRANCADERA	AP2	19	9	698	105	104	171	2	SM
3	FERRANCADERA	AP3	22	15	992	143	1191	131	15	SM
4	FERRANCADERA	AP4	24	18	1137	201	2374	91	1	SM
5	FERRANCADERA	AP5	25	15	992	203	1578	91	2	SM
6	FERRANCADERA	AP6	29	18	1137	198	2644	91	15	SM
7	FERRANCADERA	AP7	29	15	1137	199	2619	91	2	SM
8	FERRANCADERA	AP8	30	16	1082	199	1506	91	2	SM
9	URB SAN FERNANDO	AP1	30	16	1082	196	1259	91	15	SM
10	URB SAN FERNANDO	AP2	31	18	1137	203	1249	91	1	SP
11	URB SAN FERNANDO	AP3	31	16	1082	204	1239	91	15	SM
12	URB SAN FERNANDO	AP4	32	16	1082	203	3159	91	2	SMSP
13	URB SAN FERNANDO	AP5	33	18	1137	198	3332	91	15	SP
14	URB SAN FERNANDO	AP6	33	15	1082	198	197	98	2	SM
15	MILONESANTILLO	AP1	33	18	1137	197	228	92	15	SM
16	MILONESANTILLO	AP2	34	18	1137	194	243	97	1	SM
17	MILONESANTILLO	AP3	34	16	1082	238	248	91	2	SM
18	MILONESANTILLO	AP4	35	18	1137	234	247	98	1	SM
19	MILONESANTILLO	AP5	35	20	134	223	24	8	15	SM
20	MILONESANTILLO	AP6	35	20	134	201	229	86	05	SM
21	MILONESANTILLO	AP7	37	23	1593	201	2345	91	2	SM
22	MILONESANTILLO	AP8	37	18	1537	23	2337	85	15	SM
23	7 DE AGOSTO	AP9	39	20	134	301	25	91	2	SM
24	7 DE AGOSTO	AP10	39	22	1489	308	2921	72	25	SM
25	7 DE AGOSTO	AP5	39	19	1264	432	4281	56	1	SM
26	7 DE AGOSTO	AP4	39	18	1264	443	4396	55	15	SMSP
27	7 DE AGOSTO	AP1	39	20	134	463	4585	52	2	SM
28	DONORQUELO	AP2	40	23	1593	507	5115	42	1	SM
29	DONORQUELO	AP3	40	21	1593	526	538	45	2	SM
30	DONORQUELO	AP1	42	21	1429	545	539	48	15	SM

Con respecto a esta relación, existe gran variedad de información, la cual se puede utilizar para establecer una relación entre estos dos parámetros que en la

actualidad se utilizan mucho en el diseño de vías, pero de igual forma se puede recurrir a ellos en la determinación de Capacidad Admisible como quedó establecido en los análisis anteriormente expuestos, por lo tanto procedimos a organizar de una manera clara y sencilla los datos de la siguiente manera:

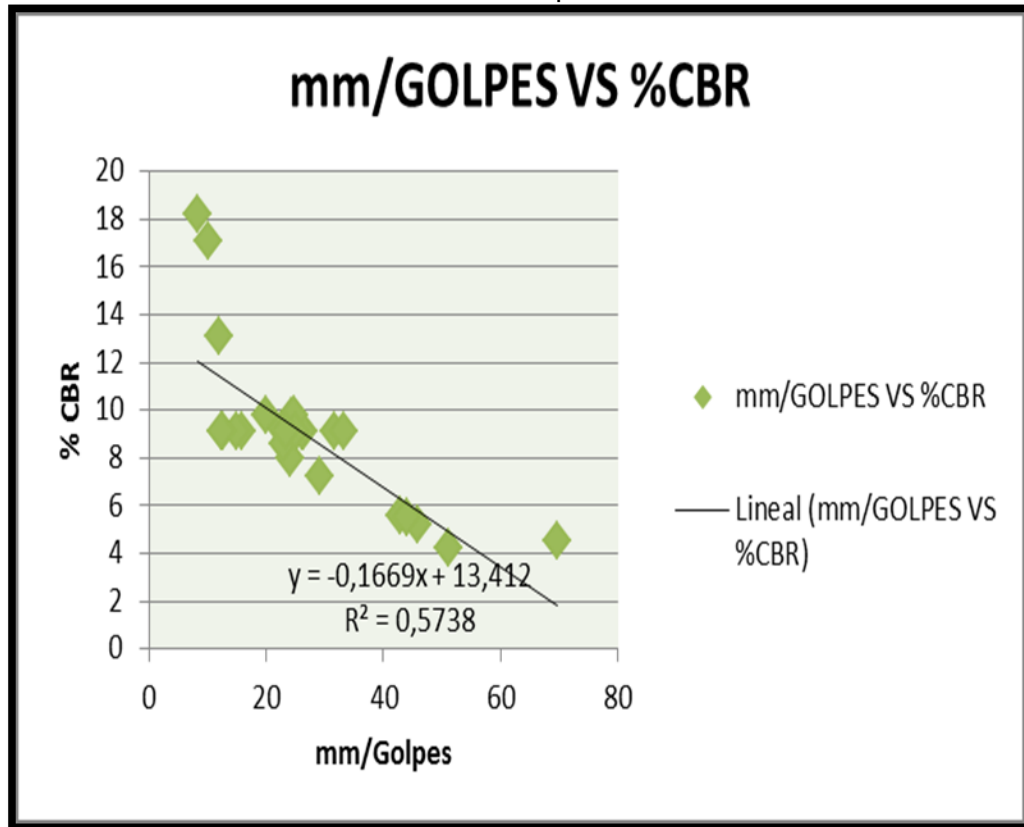
Gráfica 24. mm/Golpes Vs % CBR



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°24** se puede establecer que esta correlación entre Los milímetros por golpe con el Penetrómetro dinámico de cono y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación exponencial para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.7421$ con lo cual se puede establecer que este es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

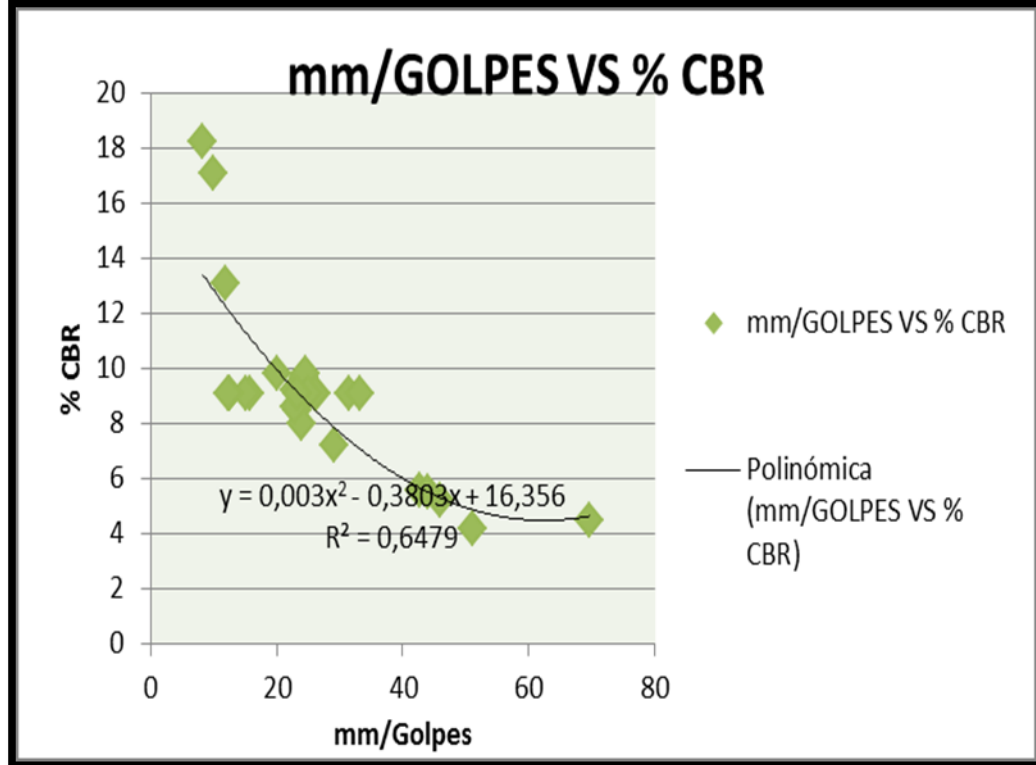
Gráfica 25. mm/Golpes Vs % CBR



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°25** se puede establecer que esta correlación entre Los milímetros por golpe con el Penetrómetro dinámico de cono y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación lineal para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.5738$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

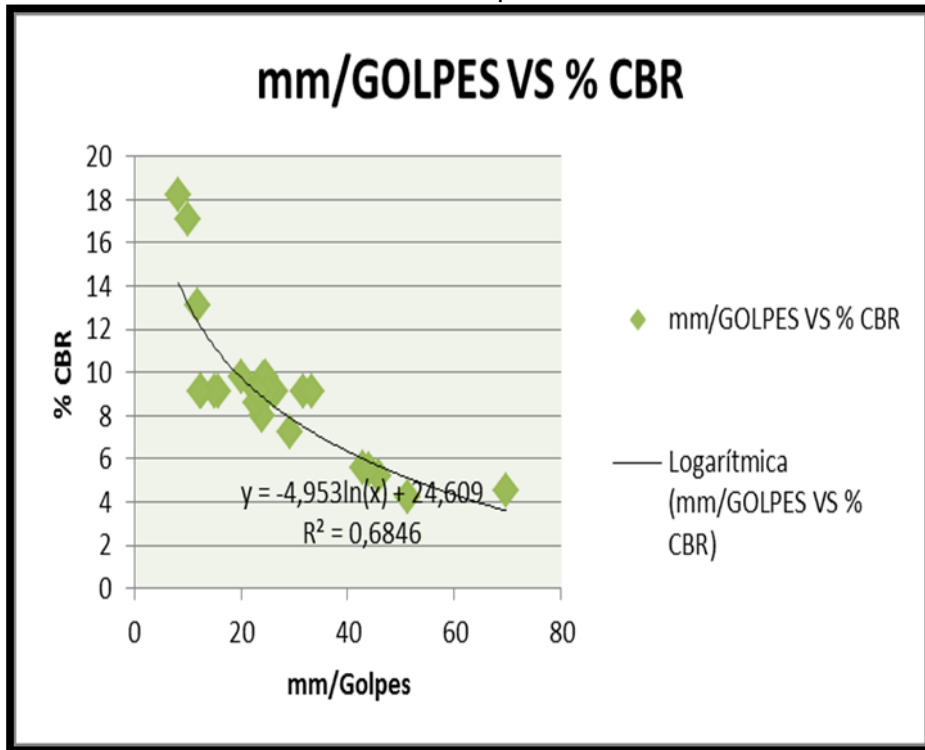
Gráfica 26. mm/Golpes Vs % CBR



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°26** se puede establecer que esta correlación entre Los milímetros por golpe con el Penetrómetro dinámico de cono y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación polinómica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.6479$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

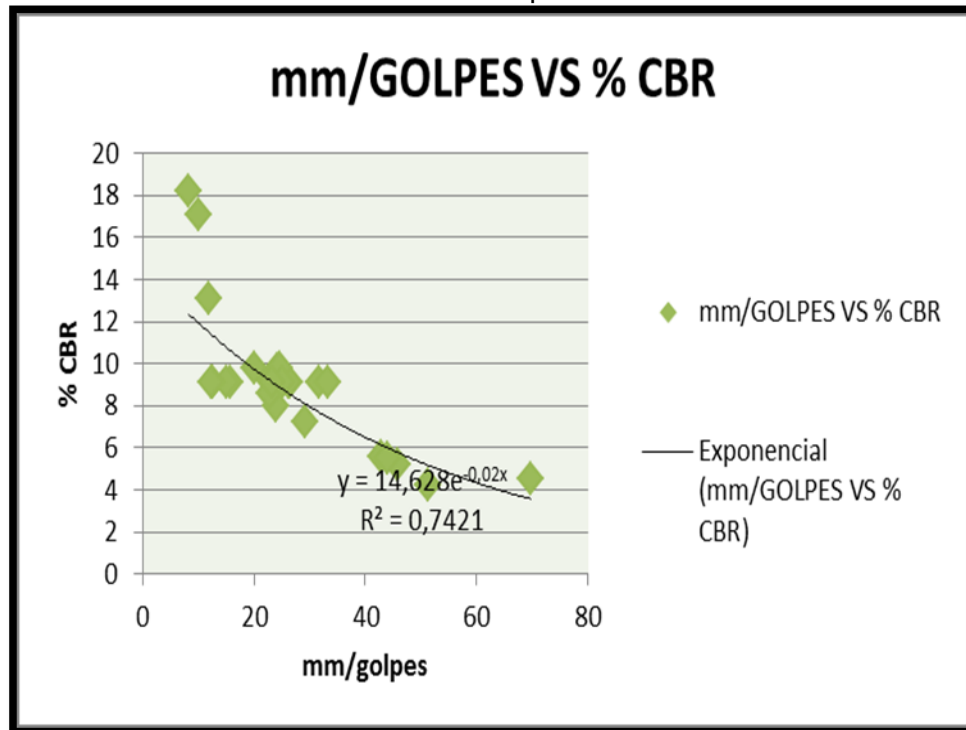
Gráfica 27mm/Golpes Vs % CBR



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°27** se puede establecer que esta correlación entre Los milímetros por golpe con el Penetrómetro dinámico de cono y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación polinómica para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.6846$, por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es poco confiable para la investigación realizada.

Gráfica 28. mm/Golpes Vs % CBR

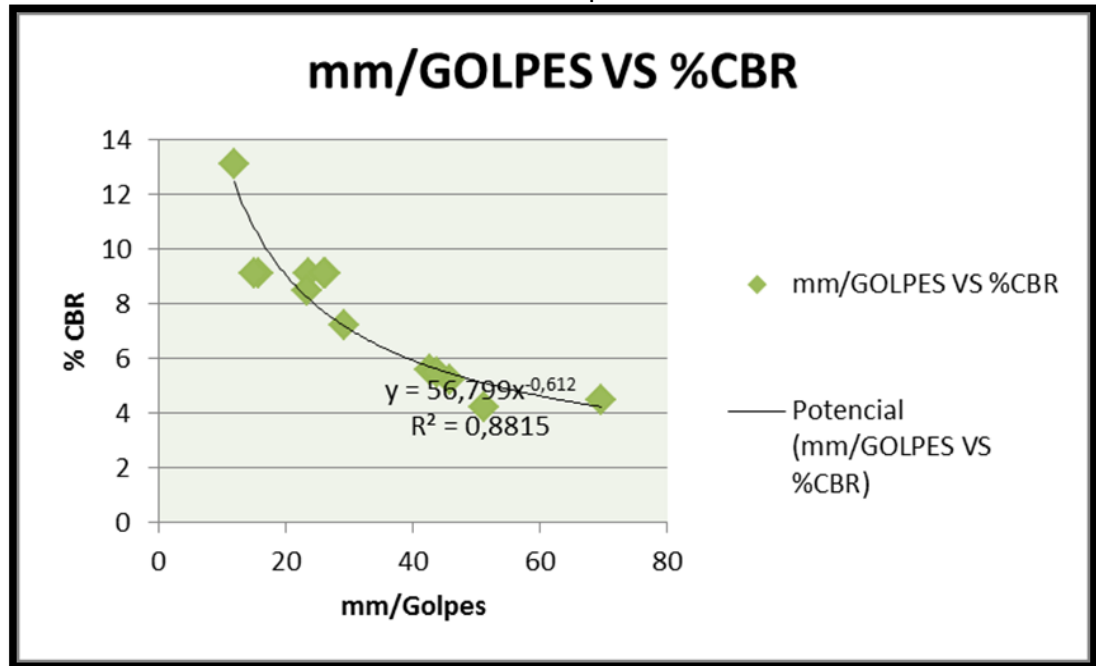


Fuente. Autor

En la **Gráfica N°28** se puede establecer que esta correlación entre Los milímetros por golpe con el Penetrómetro dinámico de cono y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación exponencial para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.6846$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **POCO CONFIABLE** para la investigación realizada.

Teniendo en cuenta que la correlación exponencial es la que más se podría realizar, basándonos en una relación entre los milímetros por golpes y la capacidad de soporte del suelo, se efectúa una depuración de datos con los cuales se obtiene la siguiente gráfica:

Gráfica 29. mm/Golpes Vs % CBR



Fuente. Autor

En la **Gráfica N°29** se puede establecer que esta correlación entre Los milímetros por golpe con el Penetrómetro dinámico de cono y la capacidad de soporte del suelo % C.B.R. Por medio de una relación exponencial para lo cual posee un coeficiente de variación $R^2=0.8815$ por lo tanto se puede establecer que este coeficiente es **CONFIABLE** para la investigación realizada.

10.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Es fundamental establecer que los Ensayos de Penetración Estándar (S.P.T.), Penetrómetro Dinámico de Cono (P.D.C) y Capacidad Soporte del Suelo (C.B.R), son ensayos que se interrelacionan y de los cuales se pueden obtener varios temas de investigación, pues este proyecto se consideraría como pionero en el ámbito geotécnico en la ciudad de Valledupar – Cesar.
2. El Municipio de Valledupar presenta en la zona sur, Suelos de tipo Aluvial producto de depósitos de suelos generados por la cuenca del Rio Guatapurí, los cuales son Suelos **NO** Cohesivos concordantes con lo establecido en el párrafo H.2.5 del NSR-10.
3. De acuerdo a la Geología este suelo pertenece a **Q-cal**: Abanicos Aluviales y Depósitos Coluviales.
4. De acuerdo al Reglamento Colombiano Sismo Resistente NSR-10, el municipio de Valledupar, se encuentra ubicado en una zona de amenaza sísmica baja, para lo cual A_a (coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva) = 0.10, A_v (coeficiente de aceleración de la velocidad horizontal pico de diseño) = 0.10, A_e (Coeficiente de aceleración pico efectiva reducida para el diseño con seguridad limitada) = 0.05 y A_d = 0.03 y de acuerdo al número de golpes N obtenidos predomina un perfil del suelo D de acuerdo a la tabla A.2.4.-1 (Clasificación de los perfiles de los suelos) del NSR-10).

5. En lo referente a las Capacidades Admisibles se puede establecer que la zona Sur de la Ciudad de Valledupar posee suelos de excelentes condiciones de capacidad portante.
6. La Capacidad de Soporte del Suelo C.B.R de la zona objeto de investigación es de buenas condiciones como soporte de vías, para lo cual se realizó una sectorización al punto que algunos materiales pueden servir para la realización de estructuras.
7. Existe una relación directa entre de golpes N del Ensayo de Penetración Estándar para penetrar 30 cm y el número de golpes N del ensayo de Penetrómetro dinámico de cono para penetrar 30 cm por medio de una relación lineal $y=0.496x+2.0181$ con un coeficiente de variación $R^2=0.8787$ la cual es confiable y por ende nos permite establecer a partir de esta ecuación otros parámetros fundamentales para los cálculos necesario para estudios geotécnicos de la zona.
8. En cuanto a la relación existente entre el número de golpes N obtenidos para penetrar treinta (30cm) centímetros del Ensayo de penetración Normal y la capacidad admisible del suelos se logró establecer que la correlación que más se ajusta a la relación de los parámetros anteriormente expuestos es una correlación de tipo polinómica $y=0.0111x^2+0.2854x+3.4215$ con un coeficiente de variación $R^2=0.9332$ esta es una ecuación confiable y conservadora para valores de capacidad admisible la cual puede servir para iniciar la investigación de capacidades admisibles utilizando otras fórmulas de otros autores
9. Se determinó la relación confiable entre el parámetro de número de golpes N requerido para la penetración de treinta (30 cm) centímetros por intermedio del ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono y la capacidad admisible de los

suelos por medio de una relación o correlación polinómica $y=0.0038x^2 +0.0898x+4.8742$ con un coeficiente de variación $R^2=0.9001$.

10. Se logró establecer una relación entre capacidad Admisible de los suelos y la Capacidad de soporte de los suelos por medio de una relación exponencial $y=0.8449x^{1.3086}$ con un coeficiente de variación $R^2=0.9154$.

11. En cuanto a la correlación entre los mm/Golpes y la capacidad de soporte de los suelos se logró definir una ecuación potencial $y=56.799 e(-0.02x)$ con un coeficiente de variación $R=0.8815$.

BIBLIOGRAFIA

- Braja M Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, México: Thompson Learning.2001.
- Higuera Sandoval Carlos Hernando, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras, Colombia: U.p.t.c.2010.
- Sánchez Sabogal Fernando. Pavimentos, INVIAS, Colombia, 1980.
- REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR – 10, (Título H) Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Tomo IV. Bogotá D.C Marzo de 2010.
- Braja M Das. Quinta Edición. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. CENGAGE LEARNING. Junio 2010.
- Atlas Ambiental del Departamento del Cesar. Fuente: CORPOCESAR
- Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Valledupar – Cesar.
- El proyecto de investigación se ha desarrollado siguiendo las normas:
 - I.N.V E- 111-07
 - I.N.V E-148-07
 - I.N.V E- 172-07