

Pedrueza, Bautista

Theaux, Franco Alberto

Correlación entre ensayo SPT y DPSH

**Tesis para la obtención del título de grado de
Ingeniero Civil**

Director: Arnaudo, Carlos

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.



[Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CÓRDOBA**
JESUITAS

CORRELACIÓN ENTRE ENSAYO SPT Y DPSH

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

CÁTEDRA DE TRABAJO FINAL

Autores:

Pedruenza, Bautista

Theaux, Franco Alberto

Tutores:

Ing. Carlos Arnaudo



Agradecimientos

Mediante este apartado pretendemos expresar nuestra gratitud para con todas las personas e instituciones que han contribuido de manera significativa a la realización y finalización de este trabajo. Sin su apoyo, este logro no hubiera sido posible.

En primer lugar, deseamos expresarle nuestro agradecimiento a nuestro tutor, Ing. Carlos Arnaudo, por su orientación constante, conocimientos expertos, anécdotas de la práctica y paciencia durante todo el proceso de investigación y redacción.

En segundo lugar, agradecerles a todos los profesores y profesoras que han formado parte de nuestro proceso de formación profesional. También a nuestros compañeros, su compañía es digna de destacar y dar mérito.

A la Universidad Católica de Córdoba, por prestarnos los recursos intelectuales, edilicios y humanos para llevar a cabo nuestra carrera universitaria.

Por último, a nuestro pilar fundamental, nuestras familias y amigos por su apoyo inquebrantable y comprensión durante los momentos de arduo trabajo y dedicación a este proyecto y tantos otros. Su aliento y amor fueron una fuente constante de motivación.

Este logro es el resultado de un esfuerzo conjunto y del apoyo de muchas personas y organizaciones. A todos ustedes, gracias.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 1 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Resumen

El presente trabajo comprende la realización de un análisis de correlación entre los resultados de estudios variados ubicados en la Provincia de Córdoba realizados por los mecanismos de ensayos: Ensayo de Penetración Estándar y la Prueba de Penetración Dinámica (DPSH). Siendo el primero de ellos aquel que se encuentra normalizado y el segundo una variante del primero más rápida y económica.

El informe contiene un desarrollo teórico que recorre los distintos tipos de suelos, estudios de los mismos, y consideraciones particulares para la zona de análisis. Además se desarrollan las particularidades de cada uno de los ensayos, equipamientos y metodología de ejecución de los antes mencionados.

Para la correlación concretamente se hará uso de distintos elementos y mecanismos estadísticos que serán detallados en el cuerpo del informe.

Palabras clave

Ensayo de Penetración Estándar - Prueba de Penetración Dinámica - Suelo - Limos - Córdoba - Análisis Estadístico - Correlación - Regresión Lineal - Regresión Cuadrática - Interpolación lineal - Coeficiente de Determinación -

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 2 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Abstract

The present work includes a correlation analysis between the results of different studies located in the Province of Córdoba carried out by the testing mechanisms: Standard Penetration Test and Dynamic Penetration Test (DPSH). Being the former the standardized one and the latter a faster and cheaper variant of the first one.

The report contains a theoretical development which deals with the different types of soils, studies of them, and particular considerations for the area of analysis. In addition, the particularities of each of the tests, pieces of equipment and of the execution methodology of the aforementioned tests are developed.

For the correlation, different elements and statistical mechanisms will be used, which will be detailed in the body of the report.

Key words

Standard Penetration Test - Dynamic Penetration Test - Soil - Silts - Córdoba -
Statistic Analysis - Correlation - Linear Regression - Quadratic Regression - Linear
Interpolation - Coefficient of Determination -

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 3 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Índice

Abstract.....	3
Capítulo 1.....	11
1.1- Introducción.....	11
1.2- Objetivo general.....	12
1.3- Objetivos específicos.....	12
Capítulo 2.....	13
2.1- Introducción.....	13
2.2- Suelos.....	15
2.2.1- Mecánica de los suelos.....	15
2.2.2- Reconocimiento.....	18
2.2.3- Sistema de clasificación de suelos.....	19
2.2.3.1- Límites de Atterberg.....	25
2.2.4- Generalidades sobre los suelos.....	27
2.2.5- Limos y Loess.....	28
2.2.5.1- Proceso de formación.....	30
2.2.5.2- Producción de materiales Loésicos.....	31
2.2.5.3- Transporte y sedimentación.....	34
2.2.5.4- Distribución geográfica.....	35
2.2.6- Suelos colapsables.....	39
2.2.6.1- Colapso.....	39
2.2.7- Asentamientos en suelo colapsables.....	43
2.2.7.1- Área inundada.....	44
2.2.7.2- Métodos de identificación.....	46
2.2.7.3- Resistencia al corte en suelos colapsables.....	49
2.2.7.4- Mejoramiento en suelos colapsables.....	50
Capítulo 3.....	55
3.1- Exploración de suelos.....	55
3.1.1- Normas que los regulan.....	59

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 4 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3.2- SPT.....	60
3.2.1- Historia del SPT.....	60
3.2.2- Elementos del ensayo.....	62
3.2.3- Descripción del ensayo.....	64
3.2.4- Perturbaciones.....	67
3.2.5- Energía.....	73
3.3- Cono de Peck - DPSH.....	74
3.3.1- Situación en Argentina.....	74
3.3.2- Historia del ensayo.....	75
3.3.3- Utilización del Cono de Peck.....	76
3.3.3.1- Reglamentación.....	77
3.3.4- Aparatos utilizados.....	79
3.3.5- Comparación entre Cono de Peck y DPSH.....	80
3.3.6- Comparación entre el SPT y Cono de Peck.....	83
3.3.7- Limitación del ensayo.....	83
3.4- Correlación entre resultados del SPT y Cono de Peck existentes.....	84
3.4.1- Correlación utilizada en la argentina.....	89
Capítulo 4 - Análisis Estadístico.....	90
4.1- Introducción.....	90
4.2- Regresión lineal simple.....	91
4.2.1- Modelos no lineales.....	92
4.3- Mínimos Cuadrados Ordinarios.....	93
4.4- Coeficiente de determinación (R ²).....	94
4.4.1- Cálculo del coeficiente.....	95
4.5- Análisis Estadístico.....	96
4.5.1- Consideraciones.....	97
4.5.2- Correlación simple por zona.....	98
4.5.3- Correlación promedio por zonas.....	104
4.5.4- Correlación por interpolación lineal por zonas.....	109
4.5.4.1- Tabla de resultados.....	115
4.5.5- Aproximación exponencial en correlación promedio.....	116

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 5 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4.5.5.1- Tabla de resultados.....	118
4.5.6- Correlación promedio por profundidad.....	118
4.5.7- Correlación cuadrática por zona filtrando datos.....	126
4.5.7.1- Tabla resumen.....	133
4.6- Recomendaciones y conclusiones.....	134
5- Bibliografía.....	143
6- Anexo.....	146

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 6 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Índice de figuras

Figura 2.1: Falla general por corte.....	17
Figura 2.2: Falla local por corte.....	18
Figura 2.3: Falla por punzonado.....	19
Figura 2.4: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7. (Braja M. Das, 2015).....	22
Figura 2.5: Sistema de clasificación AASHTO (Braja M. Das, 2015).....	23
Figura 2.6: Metodología determinación límite plástico.....	27
Figura 2.7. Corte de la taza para determinar el límite líquido con la pasta de suelo (Braja M. Das, 2015).....	28
Figura 2.8: Distribución Mundial Loess. A. Scheidig.....	31
Figura 2.9: Proceso de formación de los loess (Moll –L, 1988).....	33
Figura 2.10: Distribución de limos y loess (Teruggi, 1956).....	37
Figura 2.11: Distribución de loess y limos en Córdoba (Teruggi, 1957).....	38
Figura 2.12: Carta Geológica Ciudad de Córdoba (SEGEMAR y Secretaría de Minería de Córdoba).....	40
Figura 2.13: Estructuras entre granos y agua.....	44
Figura 3.1: Calicata (TodoAgro, 2011, en línea).....	59
Figura 3.2: Sondeo (Martínez, 2010, en línea).....	60
Figura 3.3: Penetrómetro (Berrospi, 2013, en línea).....	61
Figura 3.4: Sacamuestra partido ASTM D1586-84.....	65
Figura 3.5: Esquematación general del Ensayo de Penetración Estándar.....	66
Figura 3.6: Muestreador de Terzaghi.....	69
Figura 3.7: Penetrómetro de punta cónica -1953.....	79
Figura 3.8: Tomado del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006).....	81
Figura 3.9: Distintas puntas posibles.....	87
Figura 3.10: Correlaciones entre NDPSH y NSPT, respecto a la profundidad (Ing. Valentina Peredo Andrade y el Ing. Ramón Carrasco Poll, 2018).....	90
Figura 4.1: Datos (x, y) hipotéticos dispersos alrededor de la verdadera recta de regresión para n = 5. (Warpole et al., 2012, 392).....	95

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 7 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Índice de tablas

Tabla 2.1: Tipos de suelo en el SUCS.....	24
Tabla 3.1: Perforaciones geotécnicas según su tipo.....	56
Tabla 3.2: Diferencias entre penetrómetros dinámicos.....	82
Tabla 3.3: Diferencias entre DPSH y Cono de Peck.....	83
Tabla 3.4: Correlación entre NDPSH y NSPT (Blanca, 2011).....	87
Tabla 3.5: Correlaciones entre NDPSH y NSPT (Salamanca-Medina y López-Domínguez, 2021).....	88
Tabla 3.6: Correlaciones entre NDPSH y NSPT (Salamanca-Medina y López-Domínguez, 2021).....	89
Tabla 3.7: Recopilación de correlaciones k" de distintos autores (Terzariol y Fuente, 2003).....	91
Tabla 4.1: Distribución de ensayos.....	98
Tabla 4.2: Zona centro norte - Correlación simple.....	100
Tabla 4.3: Zona Sur - Correlación simple.....	102
Tabla 4.4: Zona Centro Sur - Correlación simple.....	104
Tabla 4.5: Zona Centro Norte - Correlación promedio.....	106
Tabla 4.6: Zona Sur - Correlación promedio.....	108
Tabla 4.7: Zona Centro Sur - Correlación promedio.....	110
Tabla 4.8: Interpolación lineal.....	112
Tabla 4.9: Zona Centro Norte - Correlación por interpolación.....	112
Tabla 4.10: Zona Sur - Correlación por interpolación.....	114
Tabla 4.11: Zona Centro Sur - Correlación por interpolación.....	116
Tabla 4.12: Tabla de resultados - Comparación por zona por tipo de correlación.....	117
Tabla 4.13: Tabla de resultados - Comparación por zona por tipo de aproximación.....	120
Tabla 4.14: Zona Centro Norte - Profundidades de 0 - 3 [m].....	120
Tabla 4.15: Zona Centro Norte - Profundidades de 3 - 6 [m].....	121
Tabla 4.17: Zona Sur - Profundidades de 0 - 3 [m].....	123
Tabla 4.18: Zona Sur - Profundidades de 3 - 6 [m].....	124
Tabla 4.19: Zona Sur - Profundidades de 6 - 9 [m].....	126

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 8 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.20: Zona Centro Sur - Profundidades de 0 - 3 [m].....	127
Tabla 4.21: Zona Centro Sur - Profundidades de 3 - 6 [m].....	128
Tabla 4.22: Zona Centro Norte - Correlación promedio con filtrado.....	129
Tabla 4.23: Zona Sur - Correlación promedio con filtrado.....	131
Tabla 4.24: Zona Centro Sur - Correlación promedio con filtrado.....	133
Tabla 4.25: Tabla resumen - Comparación por zonas por correlación filtrada y no filtrada..	135

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 9 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Índice de gráficos

Gráfico 4.1: Zona centro norte - Correlación simple.....	104
Gráfico 4.2: Zona Sur - Correlación simple.....	106
Gráfico 4.3: Zona Centro Sur - Correlación simple.....	107
Gráfico 4.4: Zona Centro Norte - Correlación promedio.....	109
Gráfico 4.5: Zona Sur - Correlación promedio.....	111
Gráfico 4.6: Zona Centro Sur - Correlación promedio.....	113
Gráfico 4.7: Zona Centro Norte - Correlación por interpolación.....	116
Gráfico 4.8: Zona Sur - Correlación por interpolación.....	118
Gráfico 4.9: Zona Centro Sur - Correlación por interpolación.....	119
Gráfico 4.10: Correlación Zona Centro Norte - Exponencial.....	121
Gráfico 4.11: Correlación Zona Sur - Exponencial.....	121
Gráfico 4.12: Correlación Zona Centro Sur - Exponencial.....	122
Gráfico 4.13: Zona Centro Norte - Profundidades de 0 - 3 [m].....	123
Gráfico 4.14: Zona Centro Norte - Profundidades de 3 - 6 [m].....	124
Gráfico 4.15: Zona Centro Norte - Profundidades de 6 - 9 [m].....	125
Gráfico 4.16: Zona Sur - Profundidades de 0 - 3 [m].....	126
Gráfico 4.17: Zona Sur - Profundidades de 3 - 6 [m].....	127
Gráfico 4.18: Zona Sur - Profundidades de 6 - 9 [m].....	129
Gráfico 4.19: Zona Centro Sur - Profundidades de 0 - 3 [m].....	129
Gráfico 4.20: Zona Centro Sur - Profundidades de 3 - 6 [m].....	130
Gráfico 4.21: Zona Centro Norte - Correlación promedio con filtrado.....	132
Gráfico 4.22: Zona Sur - Correlación promedio con filtrado.....	134
Gráfico 4.23: Zona Centro Sur - Correlación promedio con filtrado.....	136

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 10 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Capítulo 1

1.1- Introducción

La mecánica de suelos es considerada una de las más importantes ramas de la ingeniería civil. Dentro de la misma existen numerosas pruebas y ensayos de investigación que permiten a los ingenieros y demás especialistas conocer algunas características y parámetros del suelo.

La región semiárida central de la República Argentina, en particular la ciudad de Córdoba, presenta distintos tipos de suelos loésicos, con serios problemas de asentamientos debido al colapso de su estructura interna, cuando el suelo se humedece. La mayoría de estos suelos requieren de carga externa para que el fenómeno se produzca (potencialmente colapsables) y aproximadamente en el 15% del área se hallan suelos auto colapsables, es decir, que colapsan bajo su propio peso sin necesidad de carga externa.

En función de lo mencionado anteriormente se hace fundamental estudiar el comportamiento de este tipo de suelos y para ello existen muchísimos ensayos tanto en laboratorio como in situ.

En la presente investigación se analizarán dos tipos de ensayos, como lo son el ensayo de Penetración Estándar (Standard Penetration Test) y el ensayo de penetración dinámica superpesada o DPSH (Dynamic Probing Super Heavy).

Una de las principales características de la Hinca Dinámica es que resulta una alternativa económica y de rápida ejecución, sin embargo, la necesidad de obtener valores de resistencia del suelo a través del ensayo SPT radica en que toda la bibliografía sobre el

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 11 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



diseño de cimientos se basa en dicho ensayo, esto se debe principalmente a que el ensayo se encuentra normalizado (ASTM 1586), mientras que la Hinca dinámica aún no.

Mediante la obtención de ecuaciones que permitan correlacionar ambos ensayos para la provincia de Córdoba, se reduciría notablemente el costo y el tiempo de ejecución de muchos estudios de suelos.

1.2- Objetivo general

El objetivo general de la presente investigación consiste en definir ciertas correlaciones entre el ensayo típico “SPT” y el ensayo alternativo “DPSH” dentro de la provincia de Córdoba, Argentina.

1.3- Objetivos específicos

- Recopilar los distintos estudios de suelo realizados por la empresa “Arnaudo Ingeniería” en la provincia de Córdoba, mediante el uso de ambos ensayos hasta profundidades cercanas a los 13 metros.
- Explicar el procedimiento y la finalidad de cada uno de los ensayos,
- Establecer correlaciones entre los valores de resistencias obtenidos mediante los dos ensayos, dividiendo la provincia en 3 grandes zonas
- Establecer correlaciones por profundidad dentro de una misma zona, para analizar la influencia de la fricción a grandes profundidades

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 12 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Capítulo 2

2.1- Introducción

Dentro del campo de incumbencias de la Ingeniería Civil es importante conocer con precisión las características físico-mecánicas de los suelos y su estratigrafía para poder realizar un correcto diseño y dimensionamiento de las cimentaciones en las diferentes obras civiles. Los estudios de suelo adoptan un rol sumamente importante y deben ser tomados en consideración cuando se diseña una estructura, y específicamente en Córdoba ya que se presentan características geológicas muy particulares, en las que se destacan sus tipos de suelos y su sismicidad.

Se puede encontrar una gran variabilidad de suelos, con sus respectivas características que podrían resultar perjudiciales si no son tomadas en cuenta en el diseño de una obra civil.

Como mencionan los autores Terzaghi y Peck en su libro: “En fundaciones y mecánica de suelos, más que en cualquier otra rama de la ingeniería civil, es necesaria la experiencia para actuar con éxito.” (Terzaghi y Peck, 1973, p.3).

El proyecto de las estructuras comunes fundadas sobre suelos, o de aquellas destinadas a retener suelos, debe necesariamente basarse sobre simples reglas empíricas, de modo que éstas pueden ser utilizadas con propiedad solamente por el ingeniero que posee el bagaje suficiente en cuanto a experiencia. Las obras de mayor vuelo, con características poco comunes, suelen justificar la aplicación extensiva de métodos científicos en su proyecto, pero a menos que el ingeniero a cargo de ellas posea una extensa

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 13 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



experiencia, no podrá preparar inteligentemente el programa de ensayos requeridos ni interpretar sus resultados en la forma debida.

Es posible definir a la mecánica de los suelos como “(...) la aplicación de la ciencia física que se ocupa del estudio de las propiedades físicas del suelo y el comportamiento de las masas de suelos sometidos a diferentes tipos de fuerzas.” (Braja M. Das, 2015, p. 1).

Al suelo particularmente es factible definirlo, según la ingeniería geológica, como un conjunto de agregados minerales que se encuentran unidos por fuerzas de contacto débiles (no cementado). Por esta razón es posible romperlas a través de medios mecánicos de baja energía, o mediante su mezclado y agitación en agua. Además, se puede definir al suelo como un medio trifásico, por lo tanto, cuenta con una fase sólida, una gaseosa y una líquida.

Como se ha mencionado anteriormente, el ingeniero debe tener conocimiento de las características del suelo, para hacerlo hace uso de los ensayos in situ propios de la mecánica de los suelos. Estos son un conjunto de técnicas ordenadas que, ya sea de manera directa o indirecta, permiten determinar parámetros y cualidades como el origen, la distribución de tamaño de grano, la capacidad de drenar el agua, compresión, resistencia al corte y la capacidad de soporte de carga de los suelos.

En Argentina se conoce el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), por sus siglas en inglés, Standard Penetration Test, el cual internacionalmente se rige por la norma ASTM D1586, un ensayo in situ muy económico y sencillo de realizar para obtener las distintas características de los suelos. El SPT consiste en hincar un muestreador de caña partida para obtener una muestra representativa de suelo y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador contabilizando la cantidad de golpes en caída libre definida y una masa determinada.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 14 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Por su parte, la prueba de penetración dinámica súper pesada o conocida por sus siglas en inglés Dynamic Probing Super Heavy (DPSH) se rige bajo la norma española UNE-103-801-94 y consiste en hincar un cono de acero cilíndrico que se encuentra situado en el extremo de una varilla la cual posee un diámetro inferior al del cono. La hincada en el terreno se logra golpeando el conjunto en la parte superior con una maza en caída libre.

El ensayo de penetración estándar y el de penetración dinámica superpesada se aplica únicamente para obras de magnitud baja a media y con cualquier complejidad geotécnica que la define el profesional responsable, ya que si se solicita una obra con magnitud alta se requerirán otros ensayos que brinden resultados mucho más exactos que los que brindan los dos ensayos en estudio.

2.2- Suelos

2.2.1- Mecánica de los suelos

“La mecánica de suelos es la rama de la ingeniería que implica el estudio de las propiedades de los suelos y su comportamiento bajo esfuerzos y las deformaciones en condiciones idealizadas. La cimentación aplica los principios de la mecánica de suelos y la geología en la planeación, el diseño y la construcción de cimentaciones de edificios, carreteras, tráfico vehicular, etc. A partir de las condiciones idealizadas de la mecánica de suelos son necesarias las aproximaciones y deducciones para el diseño adecuado de cimientos, ya que, en la mayoría de los casos, los depósitos naturales del suelo no son homogéneos. Sin embargo, para que una estructura funcione correctamente, estas aproximaciones pueden ser realizadas sólo por un ingeniero que tenga una buena formación en mecánica de suelos” (Braja M. Das, 2015, p.15)

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 15 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

Si se supera la capacidad portante del terreno, el mismo empieza a sufrir deformaciones considerables, lo cual puede llegar a generar su colapso. Para entender mejor este fenómeno, es necesario analizar los distintos tipos de fallas que puede sufrir el suelo

- **Falla general por corte:** Generalmente este tipo de fallas se produce en suelos arenosos densos o suelos cohesivos. La carga comienza a ser aplicada de forma gradual, como consecuencia el asentamiento crece, sin embargo cuando se llega a “ q_u ” el suelo falla de forma repentina, es decir, las deformaciones son descontroladas. Esto se puede apreciar mejor en la Figura 2.1:

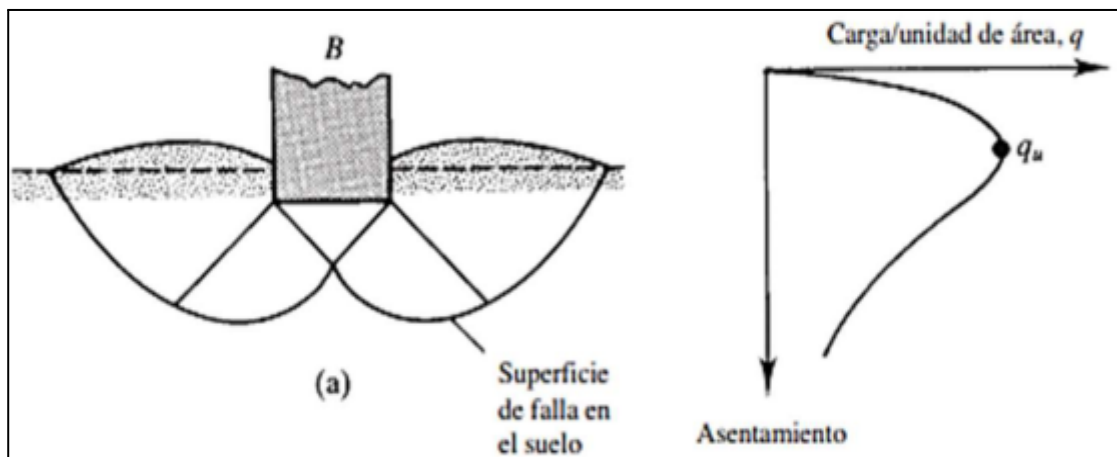


Figura 2.1: Falla general por corte

- **Falla local por corte:** Generalmente este tipo de falla ocurre sobre arenas o suelos arcillosos, ante un aumento de carga sobre la fundación, esté también estará acompañado por un aumento del asentamiento. Cuando se llega a “ q_u ” (1) el suelo tiende a fallar acompañado de ciertas “sacudidas”. Sin embargo, luego se produce

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 16 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

un acomodamiento de las partículas, y el suelo resiste algo más de carga hasta que llega a " q_u " y falla. Esto es observable en la Figura 2.2.

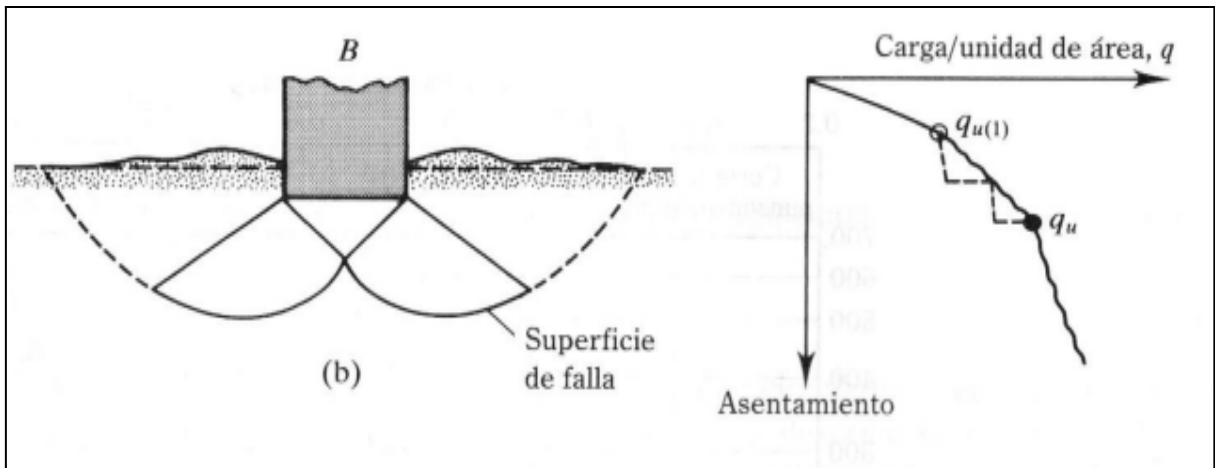


Figura 2.2: Falla local por corte

- **Falla por punzonado:** Aquí tenemos un hundimiento en torno al cimiento (no lomadas como en los casos anteriores). Generalmente ocurre cuando tenemos una carga importante y un suelo flojo, de baja compacidad. Aquí el suelo no logra transferir la carga. La superficie de falla por corte es de aproximadamente a 45° , con poco incremento de la carga, tenemos demasiado desplazamiento. Esto se encuentra esquematizado en la Figura 2.3 a continuación:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 17 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

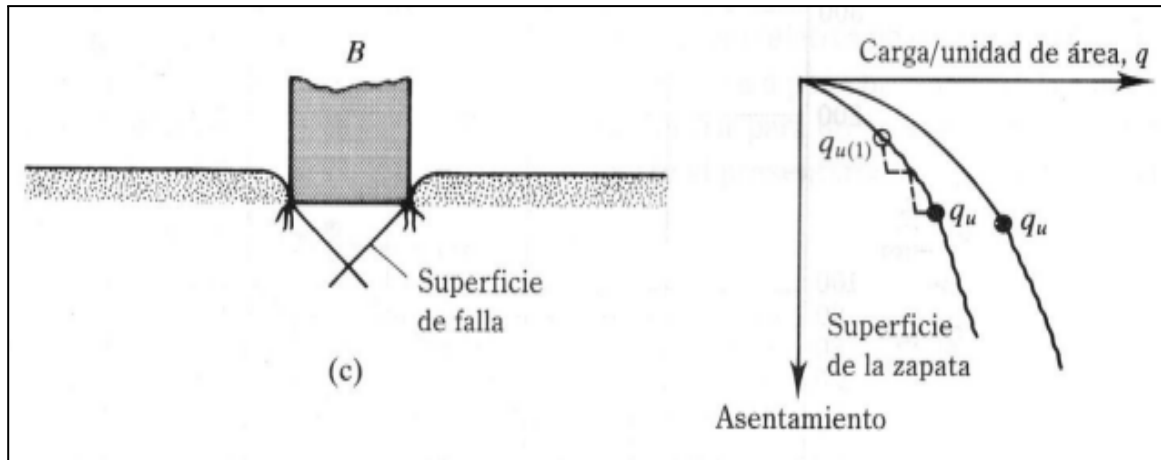


Figura 2.3: Falla por punzonado

En muchos casos, la falta de conocimiento acerca del comportamiento del suelo ha producido fallas importantes en obras, aumentos en los costos, atrasos durante el proceso constructivo, colapso parcial, falla funcional e incluso pérdida de vidas. Son frecuentes los problemas asociados con asentamientos importantes, empujes y baja capacidad de soporte, entre otros, que podrían detectarse a priori y fácilmente si se pone la debida atención sobre estas situaciones.

2.2.2- Reconocimiento

El ingeniero a cargo de una obra siempre tiene que inspeccionar visualmente el sitio que se está estudiando atendiendo a las siguientes cuestiones:

- 1) La topografía del sitio y la posibilidad de que existan zanjas de drenajes, tiraderos u otros materiales. También cuando a simple vista se observan taludes, grietas anchas

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 18 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



y profundas a intervalos espaciados regularmente que indican la presencia de suelos expansivos.

- 2) Las estratigrafías del suelo en cortes del terreno profundo, las cuales se pueden observar en donde se llevaron a cabo construcciones de carreteras o vías férreas a los alrededores del sitio.
- 3) La vegetación predominante del sitio que indica la naturaleza del suelo.
- 4) Las marcas de agua en las pilas de puentes o en las orillas de los edificios.
- 5) El nivel freático observado por medio de la revisión de pozos cercanos al terreno en estudio.
- 6) Las características de las construcciones cercanas, además de grietas en muros.

2.2.3- Sistema de clasificación de suelos

A lo largo de este trabajo se referirá a los distintos suelos usando lenguaje y simbología en referencia a un sistema de clasificación. Estos sistemas funcionan como “(...) lenguaje común para expresar de forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas, sin una descripción detallada.” (Braja M. Das, 2015, p 78). Actualmente, hay dos sistemas de clasificación mayormente conocidos, estos son el American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

El método AASHTO, en Argentina, es usado mayoritariamente para un uso vial. Este sistema clasifica al suelo en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que entran en las categorías A1, A2 y A3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 19 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



partículas pasan a través del tamiz núm. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. A su vez, se establece un índice de grupo en función de la calidad del material para su utilización como sub rasante, este cuenta con la siguiente fórmula:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Siendo:

- F= porcentaje pasante por el tamiz N°200
- LL= límite líquido
- PI= índice de plasticidad.

El IG se redondea al número entero más próximo y este valor debería ser 0 para algunos grupos como el A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3.

Este sistema de clasificación toma en cuenta características como el tamaño de grano, la plasticidad y la composición. Es posible mostrar la relación entre el tema de la plasticidad con el ábaco de Casagrande relacionado con los Límites de Atterberg de los suelos, el gráfico quedaría como se observa en la Figura 2.4:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 20 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

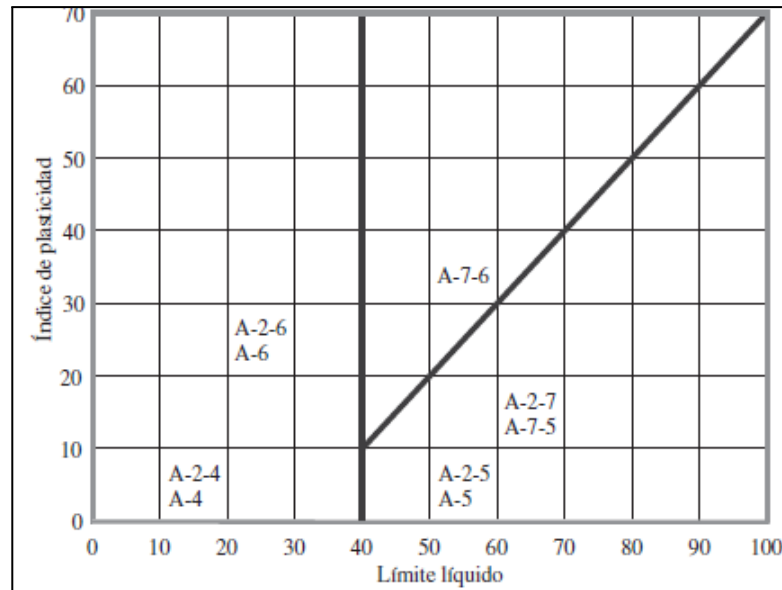


Figura 2.4: Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.
(Braja M. Das, 2015)

Por último, es posible observar en la Figura 2.5, la clasificación final del sistema AASHTO:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 21 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)				
					A-7
Grupo de clasificación	A-4		A-5	A-6	A-7-5*
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)					A-7-6†
Núm. 10					
Núm. 40					
Núm. 200		36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40					
Límite líquido		40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos			Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo				

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Figura 2.5: Sistema de clasificación AASHTO (Braja M. Das, 2015)

Por su parte, en la mecánica de los suelos, es más frecuente el uso del sistema de clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). Este clasifica a los suelos en dos grandes grupos:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 22 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



1. Los suelos gruesos, compuestos por gravas y arenas cuya granulometría pasa menos del 50% por el tamiz número 200. Estos se representan con el prefijo G (gravel / grava) o S (sand / arena). A su vez, es posible definir a la fracción “grava” como aquella que queda retenida en el tamiz número 4, y por lo tanto la arena será la que pase por el mismo.
2. Los suelos finos, que se definen con un pasante mayor al 50% por el tamiz número 200. La simbología de este grupo se representa con las letras C (clay / arcilla) y M como sinónimo de limo inorgánico. También se usa el prefijo O para indicar los limos y arcillas orgánicos. A su vez se usa Pt para representar a la turba, lodo u otros suelos que sean orgánicos.

El sistema de clasificación unificado también utiliza otros símbolos como:

- W: bien clasificado
- P: mal clasificado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

A continuación se presenta la Tabla 2.1 correspondiente a los distintos tipos de suelos que se pueden encontrar en este sistema.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 23 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 2.1: Tipos de suelo en el SUCS

Grupos principales			Símbolo	Descripción del suelo
Suelos de granos gruesos	Grava y suelos con grava	Gravas limpias	GW	Gravas bien graduadas
			GP	Gravas mal graduadas
	Más del 50% de la fracción gruesa queda retenida sobre el Tamiz N°4	Gravas con finos (finos en cantidades apreciables)	GM	Gravas limosas
			GC	Gravas arcillosas
Más del 50% del material queda retenido por el Tamiz N°4	Arenas y suelos arenosos	Arenas Limpias (con pocos finos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas
			SP	Arenas mal graduadas
	Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el Tamiz N°4	Arenas con finos (finos en cantidades apreciables)	SM	Arenas limosas
			SC	Arenas arcillosas
Suelos de granos finos	Limos y arcillas		ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca
			CL	Arcillas inorgánicas poco plásticas o de plasticidad mediana
	Límite líquido menor de 50		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas poco plásticas
Más del 50% del material queda retenido por el Tamiz N°200	Limos y arcillas		MH	Limos inorgánicos con mica o arena fina
			CH	Arcillas inorgánicas muy plásticas

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 24 de 197
<p>DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



	Límite líquido mayor de 50	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad mediana o muy plásticas
	Suelos muy orgánicos	PT	Suelos con mucha materia orgánica

Es posible visualizar que se requiere del conocimiento de otras cuestiones además de la granulometría, como son por ejemplo:

- El coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de gradación (C_c) (obtenidos por relaciones de pasantes de tamices).
- El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz núm. 40.

2.2.3.1- Límites de Atterberg

Como se ha mencionado anteriormente, la granulometría es una característica intrínseca del suelo muy importante para tener una primera aproximación a la clasificación del mismo. Sin embargo, suele quedar poco claro cuando se está trabajando con suelos finos como las arcillas, los limos y los derivados de estos (pasantes por el tamiz N°40 A.S.T.M (0,1 mm), es por ello que se utilizan una serie de índices que fueron derivados de la agronomía que definen la consistencia del suelo en función del contenido de agua determinado por el ensayo de determinación del contenido de humedad. En torno a esto, Atterberg definió, entonces, tres límites: el límite plástico, refiriéndose al punto de humedad que separa el estado sólido y seco del semisólido (w_p); el límite líquido, referido al contenido de agua necesario para pasar del estado plástico del semilíquido.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 25 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

El límite plástico se determina amasando suelo seco con poca agua y formando elipsoides, arrollándolos con la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta llegar a un diámetro de unos 3 mm y una longitud de 25-30 mm (Figura 2.6). Si, en ese momento, los elipsoides se cuartejan en fracciones de unos 6 mm, su humedad es la del límite plástico (que se determina secando en estufa varios elipsoides en análogas condiciones). Si no se cuartejan se vuelven a formar elipsoides para que pierdan humedad y lleguen a cuartejarse. (Vallejo, 2002, p 23).

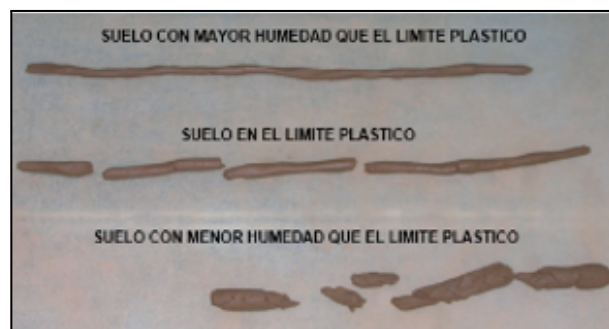
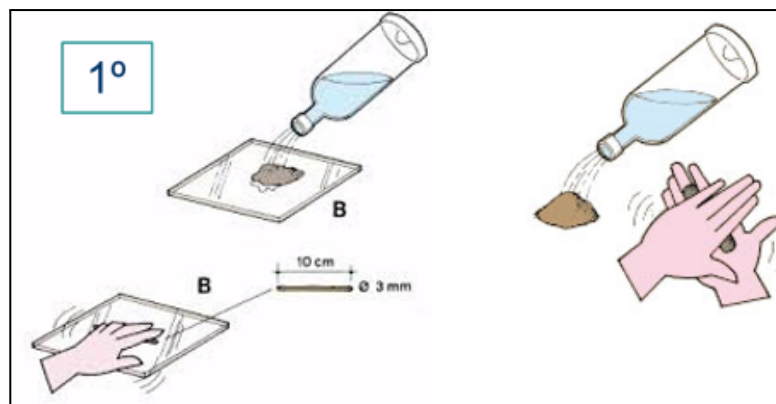


Figura 2.6: Metodología determinación límite plástico

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 26 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



El límite líquido se determina amasando bien el suelo seco (previamente disgregado con maza) con bastante agua y extendiendo la masa sobre un molde denominado Cuchara de Casagrande (Figura 2.7). Se abre, en el centro de la masa extendida, un surco con un acanalador, formando un canal de unos 2 mm de ancho en su parte baja. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes controlados. El límite líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes se cierra el canal unos 12 mm. Como es difícil conseguir esta condición, se determina la humedad por interpolación, a partir de dos muestras, en las que debe conseguirse el cierre de 12 mm con más y menos golpes que 25. (Vallejo, 2002, p 23)

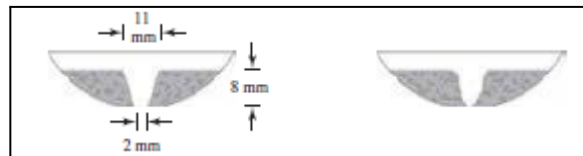


Figura 2.7. Corte de la taza para determinar el límite líquido con la pasta de suelo (Braja M. Das, 2015)

2.2.4- Generalidades sobre los suelos

Al volver a lo expuesto en la introducción de este trabajo es posible definir a los suelos desde el punto de vista de la ingeniería geológica como aquel agregado en el cual sus componentes tienen débiles fuerzas de contacto. Ahora bien, el origen de los mismos se remonta a los macizos rocosos preexistentes, los cuales constituyen la roca madre. Debido a la meteorización y el transporte de los mismos es que se producen los suelos. Se encuentran tres tipos principales de acciones disgregadoras de macizos:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 27 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Física: Las acciones físicas tienden a romper la roca madre en pedazos cada vez más pequeños debido a una serie de agentes activos como son el agua, el viento, y la gravedad. A su vez, pueden ser transportados a otros puntos del espacio donde continúa este efecto disgregador.

Química: Por su parte, las acciones químicas suelen darse por fenómenos como la “(...) hidratación (por ejemplo, paso de anhidrita o sulfato semihidratado a yeso o sulfato dihidratado), disolución (de sales, como los sulfatos en el agua), oxidación (de minerales de hierro por efecto ambiental), cementación.” (Vallejo, 2002, p 23)

La última acción es la biológica, esta suele mostrarse en forma de putrefacción de materia orgánica y su combinación con otras partículas fisicoquímicas.

El conocimiento de la composición del suelo, de sus características, su formación y, en fin, del tipo de suelo, es muy importante para conocer la respuesta de mismo frente a las acciones antropicas aplicadas.

Cuestiones como la deformabilidad de los suelos, dada por el reacomodamiento de las partículas del mismo y su baja cementación, y los problemas de flujo en el interior del suelo debido a que los efectos del agua sobre el mismo pueden atraer fenómenos como los de consolidación o colapso, serán estas cuestiones por las que deberá ser estudiado el suelo en el que se asientan las obras.

2.2.5- Limos y Loess

Previo a la caracterización del loess, se debe diferenciar del término “limo”, este último se refiere a un grupo de suelo con tamaños comprendidos entre una arena fina y la arcilla. Por lo tanto, se refiere a una cuestión plenamente granulométrica. Sería correcto

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 28 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



afirmar que el loess es un subgrupo de los limos, pero con las cualidades y particularidades que se expondrán a continuación. El loess es un sedimento clástico no compacto compuesto por granos de diámetros comprendidos entre 0.075 (mm) y 2 (μ m) cuyos minerales principales son cuarzo, feldespato, calcita y mica. Poseen un color característico tipo pardo claro hasta amarillento lo cual se debe principalmente a los hidratos de óxido de hierro. En la Argentina se encuentra el principal depósito de Loess de todo Sudamérica cubriendo más de 600.000 Km² de superficie, observable en la Figura 2.8. El limo/loess argentino fue mencionado por primera vez por Alfred Scheidig en 1934 en su libro “Der Loess Und Seine Geotechnischen Eigenschaften” (El loess y sus propiedades geotécnicas). Dicha publicación constituye uno de los primeros escritos asociados a la temática en cuestión.

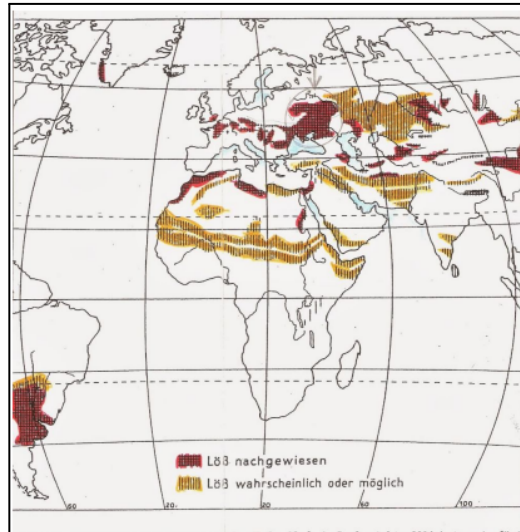


Figura 2.8: Distribución Mundial Loess. A. Scheidig.

También existieron diversas controversias respecto a su proceso formacional. Inicialmente se consideraba que eran depósitos de origen eminentemente fluvial. Sin

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 29 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



embargo estudios realizados por Ferdinand Von Richthofen demostraron su origen también eólico.

Existen distintas terminologías para diferenciar las peculiares características de estos sedimentos según la zona o región deposicional. Entre ellas están:

- Loess primarios: sedimentos depositados en ciclos cuaternarios de baja pluviosidad, que se han mantenido desde entonces sin sufrir cambios importantes. Se caracterizan por poseer una estructura altamente plegable (autocolapsable).
- Loess secundarios: sedimentos conformados sobre la base de un loess, compactados o cementados por procesos postdeposicionales.
- Limos loésicos, loessoides o loessiformes: sedimentos conformados sobre la base de un loess, removidos y luego depositados por procesos hídricos (fluviales, glaciales, etc.)
- Paleosuelos: edafización realizada sobre el loess en ciclos húmedos cuaternarios.
- Toscas: capas limosas con cementación carbonática o silíceas

2.2.5.1- Proceso de formación

Cuando se habla del proceso de formación del loess es importante tener en cuenta no solo el proceso de formación del material sino también su producción, transporte, deposición del loess y posteriores fenómenos postdeposicionales.

A modo esquemático se presenta la Figura 2.9:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 30 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

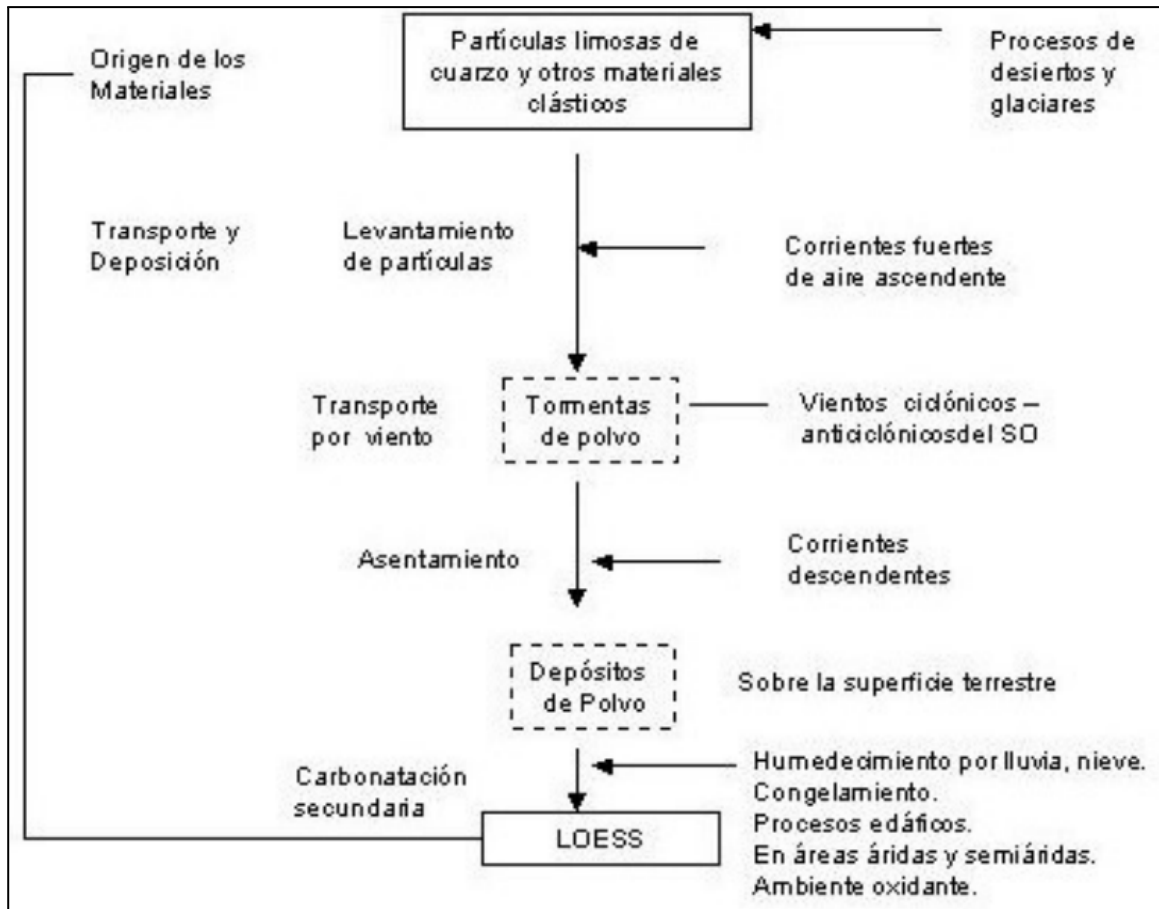


Figura 2.9: Proceso de formación de los loess (Moll -L, 1988).

2.2.5.2- Producción de materiales Loéssicos

Los materiales loéssicos están asociados en todo el mundo a fenómenos de denudación de grandes superficies y también a ciclos glaciares e interglaciares y pluviales que tuvieron lugar durante el periodo cuaternario.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 31 de 197
<p>DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



Si se hace foco en los sedimentos eólicos pampeanos existen dos orígenes complementarios de materiales constitutivos. Por un lado, aquellos derivados de la fuerte actividad volcánica a fines del terciario y durante el cuaternario en la zona de los Andes y provincia de Córdoba y otro caracterizado por la acción eólica en las sierras pampeanas.

Los estudios de Frenguelli (1955) sobre los loess y los limos parten de la base de una acumulación en la región pampeana de partículas limosas constituidas por silicatos solubles derivadas de la alteración hidrolítica de rocas volcánicas y tobáceas propias del este y noroeste argentino. La alteración mencionada anteriormente se dio en forma “in situ” bajo condiciones de disgregación física de las rocas y un elevado grado de disociación hidrolítica de las aguas meteóricas. Desde las zonas de origen, estos materiales se transportaron por vía eólica conjuntamente con partículas limosas y arenosas de cuarzo, silicatos insolubles de diversas proporciones de cenizas volcánicas. En función de distintas muestras de loess de la provincia de Buenos Aires, se especula que los materiales son propios de los valles patagónicos y zonas cordilleranas del sur del territorio

Años más tarde Zárata y Blasi (1991) consideran al volcanismo como el principal proceso en la formación de partículas, reconociendo dos mecanismos principales de abastecimiento:

- 1) Mediante lluvia de cenizas volcánicas
- 2) Mediante tormentas de polvo

Por su parte Iriondo y Kröhling (1995) definen como zona de origen de los materiales la zona de alta cordillera, precordillera y piedemonte cordillerano, limitada por la cuenca del Bermejo-Desaguadero-Salado que abarca partes de:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 32 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Cordillera Principal, con un subsuelo caracterizado por andesitas, porfiríticas, areniscas y margas. Sufrió volcanismo durante todo el Cenozoico y procesos criogénicos hasta la actualidad. Comprende un área de 25.000 Km² .
- Cordillera Frontal, formada por sedimentitas oceánicas metamorfozadas, andesitas, pórfidos e intrusiones graníticas. Extensión similar a la anterior.
- Precordillera, constituida por rocas sedimentarias afectadas por una importante actividad magmática, intrusiva y efusiva permotriásica. Abarca 17.000 Km² .
- El Bloque de San Rafael, compuesto por pórfidos, tobas y areniscas paleozoicas y triásicas, abarca unos 10.000 Km² .
- Alrededor de 150.000 Km² de la cuenca del Desaguadero, que están por encima de los mil metros de altitud, lo que deja una extensa superficie sujeta a criogénesis durante los períodos fríos del Cuaternario.

En 1987, Blarasin y Sánchez reconocen a las asociaciones minerales de muestras analizadas en el sur de la Provincia de Córdoba como provenientes de las Sierras Pampeanas, complejo ígneo - metamórfico ubicado entre los 27 ° S y 34 ° S.

Posiblemente en toda la zona de deposición de sedimentos loessicos se combinen las teorías exógena y endógena sobre la proveniencia de los materiales, como se puede deducir de los estudios de Eric (1992). En estos estudios se trabaja con la llamada formación pampeana que se caracteriza por más de 30 m de limos eólicos de tipo loésico, ubicados en la zona de deposición eólica periserrana, encontrándose una mineralogía que refleja la litología del basamento cristalino de Sierras Pampeanas (cuarzo, feldespatos, biotita, epidoto, turmalina, etc.) combinada con vidrio volcánico en porcentajes del 11% al

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 33 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



30% como elemento exógeno. En estos se le asigna una edad Pleistoceno medio a superior. Además es fundamental tener en cuenta la actividad volcánica moderna en la Provincia de Córdoba, con aporte de cenizas y sedimentos piroclásticos provenientes de las siguientes regiones:

- Cordón occidental de las Sierras de Córdoba (Zona Volcánica de Pocho):
- Extremo sur de las Sierras de Córdoba. (Región de Chaján).

2.2.5.3- Transporte y sedimentación

A nivel mundial existe una gran coincidencia en definir al medio de transporte eólico para todo los depósitos eólicos, quienes se encuentran en áreas peridesérticas o periglaciales, vinculadas con el lugar de procedencia de los materiales a través de zonas intermedias compuestas por sedimentos de granulometría decreciente entre los tamaños arena y limo (Swineford y Frye, 1955).

En el caso particular de los loess argentinos, desde las zonas de origen, los materiales son transportados por vía eólica a través de las corrientes inferiores complementandose con las corrientes superiores. A estas últimas -de mayor alcance e importancia que las primeras- se les asigna el transporte de las cenizas volcánicas desde su lejano centro de emisión hasta su sedimentación en la llanura pampeana. Del mismo modo que las cenizas, las partículas limosas del loess habrían alcanzado las capas aéreas superiores, para caer luego, en forma de lluvia de polvos meteóricos. La caída de dichas partículas puede estar acompañada de lluvia o bien de manera directa durante las épocas secas del Cuaternario, enturbiando el aire y recubriendo el suelo de finas capas de polvo. En la actualidad pueden apreciarse estos fenómenos durante las “tormentas de tierra” que suelen ocurrir en los meses de Agosto y Septiembre en la zona de la Llanura Pampeana.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 34 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



2.2.5.4- Distribución geográfica

En 1956, Dr. Mario Egidio Teruggi elaboró un mapa que muestra la zona del territorio Argentino cubierto por este tipo de depósitos. Se les atribuye espesores entre 30 a 60 m, como se puede apreciar en la Figura 2.10.



Figura 2.10: Distribución de limos y loess (Teruggi, 1956).

En la provincia de Córdoba, los limos y los loess constituyen el principal suelo regional, los cuales cubren una vasta región de Argentina que abarca las planicies situadas desde las latitudes 23 ° S a 38 ° S. Esto se ejemplifica en la Figura 2.11 a continuación.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 35 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

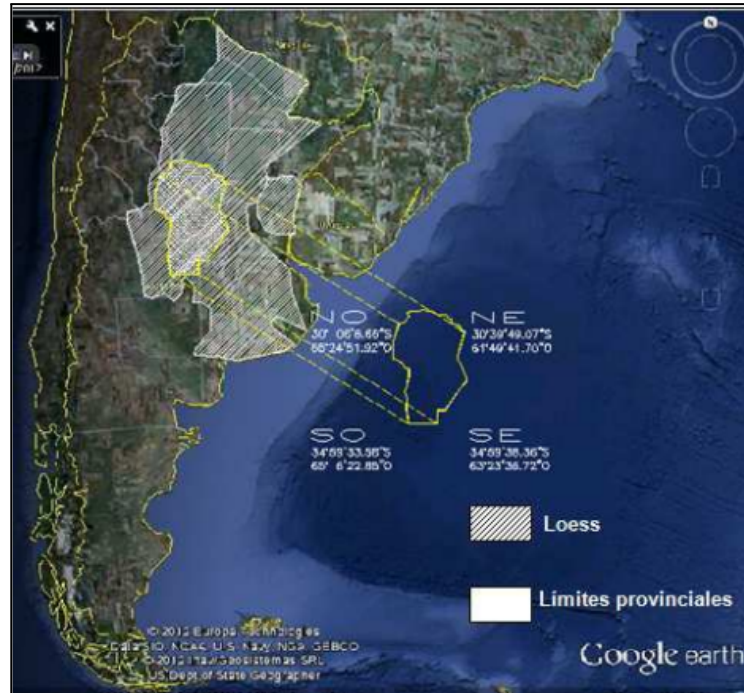


Figura 2.11: Distribución de loess y limos en Córdoba (Teruggi, 1957).

Se adjunta a su vez, la carta geológica correspondiente al departamento de la Ciudad de Córdoba (Figura 2.12), en donde puede observarse la existencia principalmente de cinco tipos distintos de suelos (se ordenan de menor a mayor porcentaje):

1. K1c (0.86%): En las Sierras Pampeanas de Córdoba es posible identificar sedimentitas cretácicas continentales, asociadas a derrames y diques basálticos, principalmente sobre el margen oriental de la Sierra Chica.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 36 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



2. Nc (2.71%): Sedimentitas continentales neógenas. Estas relaciona con el levantamiento de las sierras a partir del Mioceno tardío: conglomerados arenosos, areniscas, pelitas tobas interestratificadas
3. q4Q2f (14.78%): Son limos arenosos y loess redepositados, de color castaño amarillento acastaño amarillento rojizo o castaño grisáceo, que tienen un importante porcentaje de litoclastos en la fracción arenas finas.
4. q4l0 (32.16%): Loess típico de color castaño amarillento compuesto fundamentalmente por limos finos a gruesos. Es muy friable y pulverulento.
5. q4Q2l0 (49.50%): Loess típico de color gris amarillento, compuesto fundamentalmente por limos finos.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 37 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

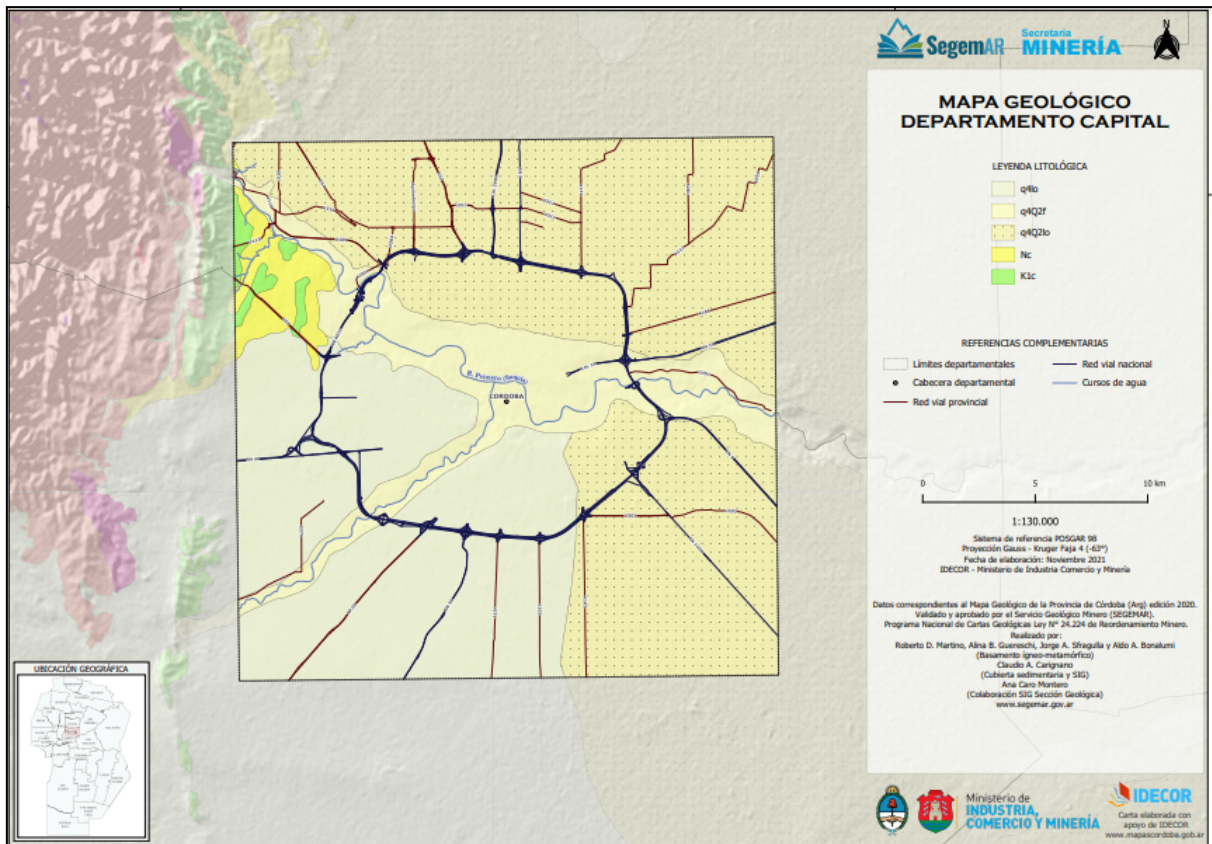


Figura 2.12: Carta Geológica Ciudad de Córdoba (SEGEMAR y Secretaría de Minería de Córdoba).

En los suelos loésicos de Córdoba el límite líquido varía entre 22% y 30%, el límite plástico entre 16% y 20%, y se los clasifica como ML ó CL-ML, según el Sistema Unificado. El peso unitario seco de estos suelos, en condición inalterada, en general es bajo, varía entre 11 y 14 kN/m³, y el contenido natural de humedad lo hace entre el 8% y 25%.

Su estructura se define como macroporosa, con índices de vacíos (e), altos, y mal acomodada, con partículas de mayor tamaño separadas por espacios abiertos y unidas

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 38 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



entre sí por puentes de material arcilloso, en muchos casos existen cristales de sales solubles insertados en tales puentes. De este modo, se constituye como un suelo colapsable.

2.2.6- Suelos colapsables

J.C. Reginatto (1977) señala que, en general, los suelos colapsables presentan una serie de características comunes, tales como :

- Estructura macroporosa, con índice de huecos (e), entre relativamente alto a muy alto.
- Granulometría predominantemente fina, con predominio de fracciones de limos y de arcilla. El tamaño de los granos es generalmente poco distribuido y con los granos más grandes escasamente meteorizados. La mayoría de las veces, la cantidad de la fracción arcilla es relativamente escasa, sin embargo tiene una influencia importante en el comportamiento mecánico de la estructura intergranular.
- Estructura mal acomodada, con partículas de mayor tamaño separadas por espacios abiertos y unidas entre sí por acumulaciones o "puentes" de material predominantemente arcilloso. En muchos casos existen cristales de sales solubles insertados en tales puentes o uniones arcillosas.

2.2.6.1- Colapso

Se define al colapso como cualquier disminución rápida de volumen del suelo, producida por el aumento de cualquiera de los siguientes factores:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 39 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Contenido de humedad (w)
- Grado de saturación (S_r)
- Tensión media actuante (τ)
- Tensión de corte (σ)
- Presión de poros (u)

En términos generales el proceso de colapso se produce en períodos de tiempo cortos, y la causa principal se debe a la destrucción, por acción del agua, de la cementación intergranular. Cuando en el loess se incrementa el contenido de humedad, las sales solubles y las partículas de arcilla se hidratan, lo que genera un debilitamiento en los contactos.

A efectos de definir y diferenciar los distintos tipos de colapso Uriel y Serrano (1973,1974) clasifican a los suelos colapsables en :

Grupo I: Suelos en los que tiene lugar un rápido cambio de la relación entre presiones efectivas y las deformaciones sin que se alcance la resistencia última del material. De acuerdo con esto, la causa del colapso es únicamente el cambio de las presiones efectivas. A este grupo pertenecen los limos o arcillas cementadas y las rocas de gran porosidad. Cuando se ensaya a humedad constante, se detecta una notable modificación de su módulo de compresibilidad al alcanzar un cierto valor las presiones efectivas.

Grupo II: Suelos en los que, sin la presencia o cambio de las condiciones que producen el colapso, no hay cambio abrupto en la relación presión-deformación. Tal es el caso de los loess y algunas arcillas que contienen sulfatos. Si se ensayan a humedad constante, la relación tensión-deformaciones es una curva suave y continua y sin agudos

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 40 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



quiebres. La saturación produce, sin embargo, un importante cambio volumétrico, debido probablemente a un incremento de la presión de los poros que origina el agotamiento de la resistencia al corte del suelo.

Como menciona el Dr. Ing. Emilio R. Redolfi en su trabajo “Suelos Colapsables”, los trabajos se focalizaron de la siguiente manera:

Para el caso particular de los suelos de Córdoba, nos centraremos en los cuales el colapso de la estructura del suelo es provocado por un incremento del contenido de humedad. Para que se produzca este fenómeno debido al humedecimiento deben cumplirse ciertos requisitos:

La estructura del suelo deberá tener ciertas características, de modo tal que se tienda a la ocurrencia de dicho fenómeno.

Las partículas están unidas entre sí por fuerzas o materiales cementantes que son susceptibles, -tanto unas como otras- pueden ser anulados o reducidos cuando aumenta el contenido de humedad del suelo.

Cuando este soporte es reducido o anulado, las partículas del suelo se deslizan o ruedan, por una pérdida de la resistencia al corte.

Los suelos granulares, como las arenas y las gravas, presentan un tipo de estructura simple, también ampliable a los limos. En ella, las uniones entre granos son contactos reales debidos a fuerzas gravitacionales, fuerzas exteriores o capilares. Estas últimas tienen un carácter temporal ya que dependen del grado de saturación que posea el suelo. La humedad del suelo puede variar entre el estado

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 41 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

saturado y el seco, del mismo modo las tensiones capilares serán variables con el contenido de humedad y desaparecerán tanto al saturarse, como al secarse el suelo.

Según puede verse en la Figura 2.13, la forma que toman los meniscos hace que el agua esté traccionada y por lo tanto la presión de poros sea negativa. Esto origina un aumento de la presión efectiva que une un grano con el otro. Este aumento de la presión efectiva origina un aumento en la resistencia, por lo cual los granos opondrán una mayor resistencia al deslizamiento. (Redolfi; 2007; p. 4-5)

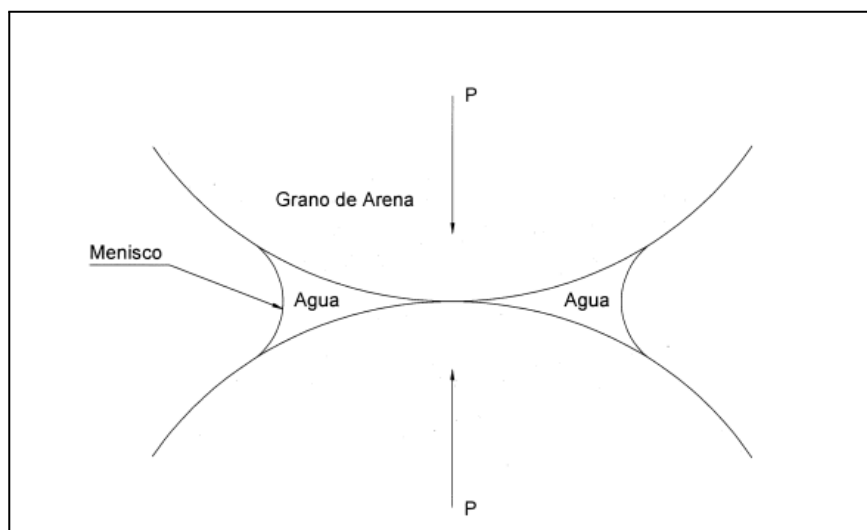


Figura 2.13: Estructuras entre granos y agua

Si en este estado el suelo se satura, la presión efectiva disminuirá, y con ella la resistencia al corte, pudiendo provocar un deslizamiento relativo entre los granos de suelo.

Cuando la estructura es macroporosa, este deslizamiento entre granos se manifiesta en una importante disminución de volumen.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 42 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En cualquiera de los tipos de estructuras antes descritas, los vínculos entre partículas pueden estar impregnados de un agente cementante que confiere una resistencia cohesiva adicional al deslizamiento de un grano respecto a otro. También esta cohesión puede tener un carácter temporal semejante al de las fuerzas capilares. La pérdida de esta resistencia dependerá tanto de las características del agente cementante como de las del fluido. Así, si la cementación deriva de sales cristalizadas, la pérdida de resistencia será en función del grado de solubilidad de estas sales.

2.2.7- Asentamientos en suelo colapsables

La magnitud del asentamiento por colapso producido por humedecimiento del terreno depende según Grigoryan e Ivanov (1968) de:

- Factores intrínsecos del suelo (características físico-mecánicas)
- Factores externos al suelo (estado tensional y el área inundada)

Se define al asentamiento adicional por colapso ($W_{col.t}$) de un manto de suelos colapsables de espesor H_t , a la sumatoria

$$W_{col.t} = \sum_{j=1}^n W_{col.j} = \sum_{j=1}^n \delta_{col.j} * H_j$$

Donde:

- $H_t = H_1 + H_2 + \dots = H_j + \dots H_n$ = Espesor del estrato
- $W_{col.j}$ = Asentamiento adicional por colapso del estrato j
- $\delta_{col.j}$ = Colapso relativo del estrato j a la presión σ_{zj}

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 43 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- σ_{zj} = Presión total (peso propio + incremento de presión) en el estrato j

Un aspecto importante del comportamiento de este tipo de suelos y que por lo tanto influye en la magnitud de los asentamientos es su marcada heterogeneidad. Los suelos loésicos colapsables en cierto entorno suelen considerarse como suelos homogéneos, pero en realidad poseen una apreciable heterogeneidad extendida dentro de la masa. Algunos de estos aspectos pueden ser puestos en evidencia a través de ensayos geotécnicos.

La determinación de los parámetros tenso-deformacionales como el colapso relativo (δ_{col}) puede diferir según Abelev y Abelev (1979) de 1,5 a 2 veces, incluso si se lo hace a partir de probetas gemelas talladas de un único bloque de suelo.

Un aspecto que señala Bally et al (1969) es la heterogeneidad en la variación local de las características químicas y mineralógicas, las cuales son difíciles de ser advertidas por métodos usuales de investigación.

En términos generales una de las características principales que deben tenerse siempre en cuenta en el cálculo de la magnitud de los asentamientos por colapso es que estos frecuentemente no serán uniformes, ya sea por las causas antes expuestas como por otros factores como por ejemplo la dimensión del área inundada.

2.2.7.1- Área inundada

Otro de los aspectos que influyen considerablemente en la magnitud de los asentamientos por colapso son: el tipo de humedecimiento que se realice dentro de la masa del suelo y las dimensiones del área humedecida. Goldstein (1969) distingue cuatro tipos de humedecimientos:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 44 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- 1) Humedecimiento localizado del suelo a poca profundidad debido generalmente a la rotura de conducciones hidráulicas de las construcciones. En estos casos es casi imposible predecir a priori la forma en planta y en corte de estos humedecimientos y por lo tanto hacer una estimación de la magnitud de los asentamientos y su distribución en planta.
- 2) Humedecimiento extenso de todo el perfil del suelo causado por una importante infiltración de agua (rotura de canales o efluentes industriales). Los asentamientos en estos casos pueden ser importantes y dañinos para las construcciones, especialmente cuando los asentamientos son desiguales.
- 3) Una elevación uniforme del nivel freático debido generalmente a una recarga del freático causado por una fuente lejana.
- 4) Un aumento gradual y lento del contenido de agua debido, por ejemplo a la condensación del vapor y una acumulación de humedad causada por cambios en las condiciones ambientales (pavimentación de la superficie del terreno).

En cuanto a la forma y las dimensiones del área humedecida, se ha demostrado experimentalmente que los asentamientos por colapso calculados con la ecuación indicada arriba son sólo aplicables cuando la superficie de saturación o fuente de humedecimiento es del orden de $2/3$ a 1 vez el espesor de los sedimentos colapsables (Krutov y D'yakonov, 1973). En cambio, cuando esta relación es menor y la zona humedecida se aparta de la supuesta unidimensional, los asentamientos reales son sustancialmente menores a los calculados.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 45 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Por tal motivo algunos investigadores coinciden en afirmar que dicha ecuación debe estar afectada de un coeficiente (m) que tenga en cuenta el tipo, la forma y las dimensiones del área humedecida:

$$m = f(B, L, Z)$$

Donde B y L son el ancho y largo de la fuente de inundación, y Z el espesor de la zona humedecida.

2.2.7.2- Métodos de identificación

Durante mucho tiempo existió una gran preocupación por parte de diferentes investigadores, en torno a la identificación y clasificación de la potencialidad de colapso en distintos suelos.

Estas investigaciones se han visto sometidas a dos inconvenientes principalmente :

- 1) **La gran variedad de tipos de suelos que colapsan por humedecimiento:** Así, por ejemplo, métodos probados en ciertos países o regiones en determinados tipos de suelos no han podido hacerse extensivos a suelos de otras zonas, cuyo origen geológico y genético es francamente diferente.
- 2) **La frecuente heterogeneidad de los suelos colapsables por humedecimiento:** En este sentido hay coincidencia entre los investigadores, que han estudiado suelos colapsables de distinto origen geológico. Así, pueden encontrarse referencias tanto en investigadores que analizaron suelos lateríticos o de origen eólico como el loess (Abeley y Abeley 1979; Moretto, 1986) que en principio suelen considerarse como suelos homogéneos. Es frecuente encontrar una variación en el grado de cementación (por ejemplo, debido a carbonatos) en sólo algunos centímetros. En

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 46 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



otros casos esta heterogeneidad es debida a la presencia de grandes macroporos dejados por raíces o insectos.

Esto ha llevado a una gran variedad de metodologías para establecer la susceptibilidad al colapso de los suelos, entre los que se destacan :

- Métodos basados en parámetros físicos de identificación de suelos, tales como Peso Unitario, Límites de Consistencia, Granulometría, etc.
- Métodos basados en ensayos mecánicos, principalmente en ensayos edométricos.
- Métodos basados en la magnitud del colapso.

A continuación se desarrollan brevemente cada uno de ellos:

Métodos basados en parámetros físicos de suelos

El método consiste, habitualmente, en establecer si el suelo es autocolapsable (colapsable bajo su propio peso) o bien si es condicionalmente colapsable (colapsable bajo carga externa).

- Denison (1961) establece el Coeficiente de Colapso (k) igual a:

$$k = \frac{e_L}{e}$$

y el colapso ocurrirá cuando la relación de vacíos del suelo en estado natural (e) es mayor que la relación de vacíos correspondiente al Límite Líquido (e_L).

- Gibbs (1961) establece una Relación de Colapso (R) igual a

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 47 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$R = \frac{W_{SAT}}{W_L}$$

y el colapso ocurrirá cuando la humedad de saturación del suelo (wSAT) es mayor que el Límite Líquido (wL).

- Código de edificación de la U.R.S.S (1962) establece un Índice de Colapso (R) igual a:

$$R = \frac{e_0 - e_L}{1 + e_0}$$

y el colapso ocurrirá cuando R es mayor de -0,10.

Métodos basados en ensayos edométricos

A través del ensayo edométrico, se obtiene la Presión de Fluencia Saturada (Pf sat) y se la compara con la presión de tapada o geostática (uo). Experimentalmente se ha demostrado que cuando la presión total en el suelo, ya sea por cargas externas y/o peso propio es menor que la Presión de Fluencia Saturada (Pfsat), no se producen asentamientos importantes de colapso por humedecimiento.

Métodos basados en la magnitud del asentamiento por colapso

Los métodos basados en la magnitud del asentamiento por colapso se fundan en determinar la magnitud del mismo de un perfil de suelos en un lugar determinado, debido solamente a su peso propio. Así, por ejemplo la Clasificación Rumana de Suelos Loésicos Colapsables (LCS) define el Potencial Total de Colapso (Img) (Bally et al,1973) como:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 48 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$img = \sum_{j=1}^n img_j * Hj$$

Donde: H_j es el espesor del estrato j en metros, y img es el asentamiento edométrico adicional de una muestra de estrato j inundada a una presión igual al peso propio de las tierras (σ_0), expresado en cm/m.

2.2.7.3- Resistencia al corte en suelos colapsables

El análisis particular de la resistencia al corte en este tipo de suelos es posible dividirlo en dos casos:

1. Resistencia en suelos parcialmente saturados:

Para ello, Bishop (1960) establece que la resistencia al corte en suelos parcialmente saturados tomaba la siguiente forma:

$$\tau = c' + [(\sigma - u_a) + \chi * (u_a - u_w)] * tg\varphi$$

Siendo c' y φ la cohesión efectiva y el ángulo de rozamiento interno efectivo.

A su vez, se realizaron ensayos triaxiales para determinar la validez de la ecuación, estos fueron realizados sobre suelos no saturados. En estos procesos se fueron modificando los valores de presión de confinamiento, presión del agua y del aire, pero las diferencias de presiones se mantuvieron constantes. Sin embargo, esta ecuación presenta ciertos inconvenientes propios de las suposiciones que realiza. Además, resulta complejo la obtención del coeficiente experimental χ ya que depende de una gran amplitud de factores. Fredlund (1978) presenta la actualización del tema, y se asume que la superficie que generan una serie de ensayos realizados hasta la rotura en el espacio τ , $(\sigma - u_a)$, $(u_a - u_w)$ es

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 49 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



plana. Además, proponen que el ángulo de fricción efectivo (φ') es independiente de la succión o del grado de saturación, y por lo tanto toma un valor constante. Por lo tanto, la ecuación toma la siguiente forma:

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) * tg\varphi^b + (u_a - u_w) * tg\varphi$$

Siendo c' la cohesión efectiva y φ' el ángulo de fricción cuando permanece constante la succión y se varía el término de $(\sigma - u_a)$. Se agrega φ^b siendo el ángulo de fricción cuando lo que permanece constante $(\sigma - u_a)$ y varía la succión.

Por otra parte, la cohesión es posible expresarla como una función de la cohesión efectiva, de la succión y de φ^b de la forma: $c = c' + (u_a - u_w) * tg\varphi^b$.

2. Resistencia al corte en suelos loessicos colapsables:

Finalmente, y abocandonos a los suelos más comunes en Córdoba, los loess, vemos que Según Kane (1973) asume que la rotura se da en una forma de recta, por lo tanto coincide con lo que plantea Bishop. Esta última conclusión surge a partir de una serie de ensayos de compresión confinada con medidas de succión y ensayos triaxiales con deformación lateral nula. A partir de estos se establece que el ángulo de rozamiento interno varía (lineal y decreciente) respecto a una humedad mayor al 8%. La cohesión también decrece linealmente a partir del 12% de humedad.

2.2.7.4- Mejoramiento en suelos colapsables

El objetivo principal en este caso es reducir o eliminar la susceptibilidad al colapso que presentan este tipo de suelos, ya sea mediante una disminución de su porosidad

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 50 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



(compactación) o mejorando su resistencia estructural entre las partículas del suelo (métodos físico-químicos).

Evstatiev (1988) propone la siguiente clasificación de los métodos de estabilización de suelos loésicos, la cual puede hacerse extensiva a suelos colapsables:

- 1) Métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo por compactación.
- 2) Métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo por modificación de su granulometría
- 3) Métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo por la creación de nuevos contactos cohesivos
- 4) Métodos de mejoramiento por medio del reemplazo del suelo colapsable por suelo no colapsable.
- 5) Métodos de mejoramiento que incorporan elementos resistentes a la tracción dentro del suelo.
- 6) Geomembranas.
- 7) Métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo por drenaje.
- 8) Corrección de taludes y terraplenes

A continuación se explicará brevemente en qué consiste los más utilizados dentro de la región de estudio:

Métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo por compactación

Este grupo comprende varias de las metodologías usadas en suelos colapsables para reducir los vacíos, de modo de **eliminar la colapsabilidad, reducir la permeabilidad y aumentar la capacidad de carga**. Esto se realiza utilizando fuerzas estáticas o dinámicas, o bien a través de la inyección de lechadas

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 51 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- **Compactación dinámica:** Este método es adecuado para compactar mantos de suelos colapsables superficiales con espesores menores a 3,50 metros. El método consiste en dejar caer en caída libre desde una altura de 4 a 8 metros, pilones de 3 a 8 Tn.
- **Compactación por medio de pequeños pilotes piramidales:** En cierta forma este método es una variante del método anterior. Consiste en hincar un pilote piramidal de 3 a 4 metros de longitud, con una sección transversal superior de 60 x 60 a 70 x 70 cm., y una sección transversal inferior de 10 x 10 cm. Una vez retirado el pilote la cavidad se rellena con hormigón
- **Compactación por pilotes de suelo:** Este es uno de los métodos más usuales para compactar espesores importantes (18 a 20 m.) de suelos loéssicos susceptibles al colapso. El procedimiento consta de dos partes: primero se realiza la perforación y segundo se llena la cavidad con suelo compactado
- **Compactación por explosiones de gas:** Esta relativamente nueva metodología de compactar espesores de suelos colapsables consiste en introducir, a través de una lanza de agua a presión, una cámara de compresión que contiene una mezcla de gas propano y oxígeno, la cual se va elevando a medida que se producen una serie de explosiones de la mezcla.
- **Compactación por humedecimiento (Hidrocompactación):** En este caso se utiliza la propia susceptibilidad del suelo a colapsar bajo peso propio. El método más frecuente de realizar la humectación o saturación del terreno, es a través de infiltración del agua desde la superficie del terreno, para lo cual se efectúan

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 52 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



excavaciones poco profundas (0,40 a 0,80 m) o bien se construyen grandes estanques.

Métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo por modificación de su granulometría

En este apartado se incluyen aquellos métodos de estabilización consistentes en la mezcla y posterior compactación de suelo colapsable con otros materiales (arena, gravas) a efectos de conseguir mayor resistencia y mayor rigidez. Este tipo de estabilización es de amplio uso en la ingeniería vial, en la construcción de bases y de sub-bases.

Métodos de mejoramiento de las propiedades del suelo por la creación de nuevos contactos cohesivos

Este grupo incluye a aquellas metodologías en las cuales el mejoramiento de las propiedades resistentes del suelo se consiguen con la creación de vínculos más sólidos y estables en la estructura del suelo. En algunas de ellas, la inyección de agentes cementantes provoca la rotura de la estructura original del suelo. En otras, por el contrario, la inyección de agentes químicos actúan directamente sobre los vínculos, sin modificar la estructura del suelo.

Métodos de mejoramiento por medio del reemplazo del suelo colapsable por suelo no colapsable

Este tipo de estabilización se realiza principalmente en terrenos con suelos potencialmente colapsables, en los cuales la presencia de cargas adicionales en superficie puede generar asentamientos adicionales ante un incremento de la humedad del suelo. Así,

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 53 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



una parte del suelo colapsable superficial, ubicado directamente debajo de las fundaciones, es excavado, extraído y reemplazado por otro material más competente.

Concluyendo en que la resistencia al corte para este tipo específico de suelos depende del grado de saturación, peso unitario seco o el índice de huecos inicial, y el grado y tipo de cementación.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 54 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Capítulo 3

3.1- Exploración de suelos

Existen distintos métodos in situ para la investigación o exploración de suelos.

Por un lado existen las perforaciones directas donde se extraen muestras “inalteradas” en forma manual.

Por el otro lado, se encuentran las perforaciones indirectas. Estas, si sacan muestras, son alteradas. La extracción se puede realizar de manera mecánica o eléctrica.

Lo mencionado anteriormente se esquematiza en la Tabla 3.1 siguiente:

Tabla 3.1: Perforaciones geotécnicas según su tipo

Perforaciones geotécnicas según su tipo	
Directas	Indirectas
Pozo a cielo abierto, calicata, trinchera	Ensayos geofísicos, Sondeo de penetración estándar, Hincas dinámicas, pala vizcachera o barrenos manuales

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 55 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



(se sacan muestras inalteradas y de forma manual)	(si se sacan muestras son alteradas y siempre de forma mecánica o eléctrica)
---	--

A continuación se explicaran cada una de las exploraciones mencionadas:

- 1) **Calicatas o pozos:** una calicata es una excavación que se surca en la superficie del suelo con distintas medidas, por lo general de 1m x 1m x 1m es un método simple y efectivo para analizar directamente el suelo en estudio y, por lo tanto, es un método que brinda información clara y completa. Además, determina el nivel freático con gran exactitud, este tipo de excavaciones no suele exceder los 5 metros de profundidad. En la Figura 3.1 se observa lo mencionado.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 56 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 3.1: Calicata (TodoAgro, 2011, en línea).

- 2) **Sondeos:** consisten en perforar el suelo, generalmente, con un diámetro pequeño para obtener las muestras y realizar diferentes ensayos in situ, también permite reconocer la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno (Figura 3.2). Estos pueden ser mecánicos o manuales. Además, permiten obtener profundidades superiores a la calicata mencionada anteriormente.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 57 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

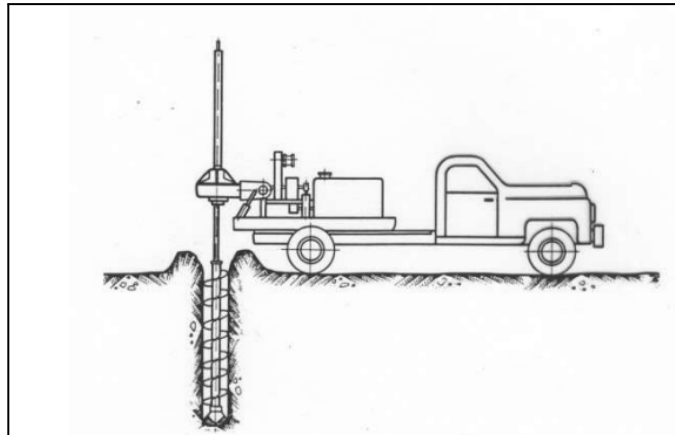


Figura 3.2: Sondeo (Martínez, 2010, en línea).

- 3) **Penetrómetros:** puede ser del tipo estático, dinámico o normal, el penetrómetro estático consiste en la hincada por presión de un tornillo sin fin, el cual brinda un registro continuo de la resistencia del terreno, y, por otra parte, el penetrómetro dinámico consiste en la hincada de un elemento con punta, por lo general cónica, en el terreno midiendo la energía mediante la cantidad de golpes por una masa determinada y longitud definida. También, el ensayo de penetración normal consiste en contar la cantidad de golpes de una masa determinada para hincar un muestreador de tubo partido a la mitad hasta una profundidad establecida. Se muestra en la Figura 3.3 el penetrómetro del Ensayo de Penetración Estándar.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 58 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

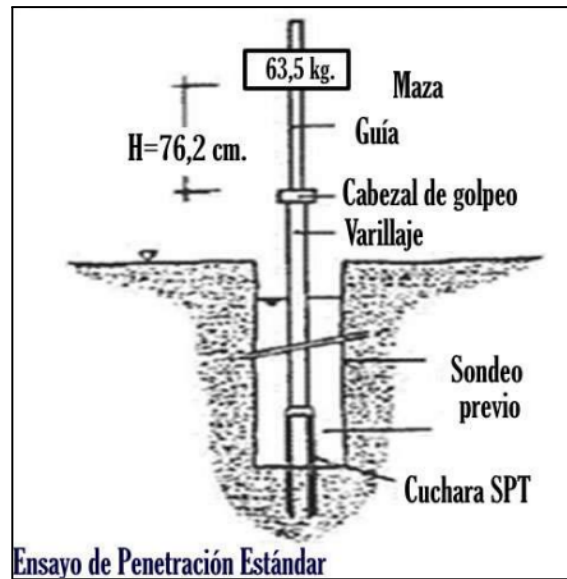


Figura 3.3: Penetrómetro (Berrospi, 2013, en línea).

3.1.1- Normas que los regulan

En Argentina, los requerimientos mínimos a cumplir por una investigación geotécnica para la realización de cualquier proyecto de estructuras, están desarrollados en el Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos, Cirsoc 401. Este reglamento fue publicado por primera vez en 2015 y actualizado en 2018. A su vez, existen publicaciones de comentarios que complementan y aclaran puntos específicos del reglamento en cuestión.

El Cirsoc 401, especifica las investigaciones a realizar en un predio o extensión de terreno con el fin de conocer sus características geotécnicas, determinar las condiciones de utilización para una determinada construcción y los recaudos de seguridad a adoptar en relación a terrenos y construcciones adyacentes. Además, aclara que para aquellos

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 59 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



aspectos no contemplados en la misma, se podrá utilizar la normativa de organismos públicos con competencia en el proyecto en estudio o normas internacionales de reconocido prestigio, como por ejemplo la norma NBR brasileña o el reglamento Eurocode desarrollado en la Unión Europea. El contenido del Cirsoc 401, comprende en primer lugar los aspectos generales relacionados al concepto del mismo, su alcance, glosario y unidades utilizadas. Posteriormente se desarrollan los lineamientos y especificaciones para la planificación de un estudio geotécnico. También se presentan los objetivos generales y específicos de un estudio de suelos, los métodos correspondientes para llevarlos a cabo, requerimientos en cuanto al personal idóneo para cada tarea, etc. En los restantes apartados, la norma desarrolla cada una de las etapas: exploración, ensayos de campo, ensayos de laboratorio y finalmente la elaboración del informe técnico.

3.2- SPT

3.2.1- Historia del SPT

La denominación del ensayo de penetración surge a partir de la traducción del inglés “Standard Penetration Test”, cuya sigla es SPT, que se usará para referirse a dicho ensayo a lo largo de este trabajo.

Cassan Maurice en su libro describe el origen del ensayo SPT de la siguiente manera:

En realidad, se trata de la generalización de la astucia de un viejo jefe sondista de la Societé Raymond – Pile, quien hacia 1925 propuso a Terzaghi contar el número de golpes necesarios para hincar un pie, el tomamuestras que tenía costumbre de

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 60 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



utilizar. Después de haber acumulado un gran número de resultados, Terzaghi no quiso nunca que se modificara el tomamuestras que había sido utilizado en esa época, y erigió en modo operatorio lo que no era más que una costumbre de obra. Es así como nació el Standard Penetration Test (SPT). (Cassan 1982; p. 157)

Es decir, el ensayo SPT nace cuando los americanos buscan utilizar la información obtenida en el momento del golpe de un tomamuestras en el fondo de una perforación, ya que no era posible obtener muestras inalteradas en las arenas sin cohesión.

Hoy en día el ensayo SPT es de gran importancia en la rama de la geotecnia ya que nos permite obtener la capacidad portante del terreno. Este ensayo da resultados muy certeros en suelos granulares como son las arenas, en cambio, para suelos arcillosos presenta bastantes dificultades de interpretación, al igual en suelos que contienen gravas se debe tener cuidado con la influencia que generen el tamaño de las partículas del suelo. Sin embargo, se puede decir que este ensayo puede ejecutarse sin problemas en la mayoría de tipos de suelos existentes, inclusive en roca muy alterada.

A partir de este ensayo se obtiene un determinado valor de N, el cual representa la resistencia del terreno a la penetración y su deformabilidad. Este valor N puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible y otros. Asimismo, a través de este ensayo se pueden obtener muestras representativas alteradas que pueden ser ensayadas en el laboratorio mediante pruebas de identificación. De la misma manera, los resultados del ensayo de SPT son utilizados para realizar el análisis de licuefacción.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 61 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3.2.2- Elementos del ensayo

La norma ASTM-1586 establece que los elementos utilizables en el ensayo son aquellos que se muestran en la Figura 3.4 y en el listado siguiente:

1. Maza de 63,5 kg.
2. Altura de caída: 76 cm
3. Sacamuestras:
 - a. diámetro externo de 50 mm ó 2”.
 - b. diámetro interno de 35 mm ó 1 3/8”.
4. Variante con diámetro interno 38 mm y tubo portamuestras (diámetro interno final 35mm).
5. Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate.
6. Barras de sondeo.
7. Cabeza de golpeo.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 62 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

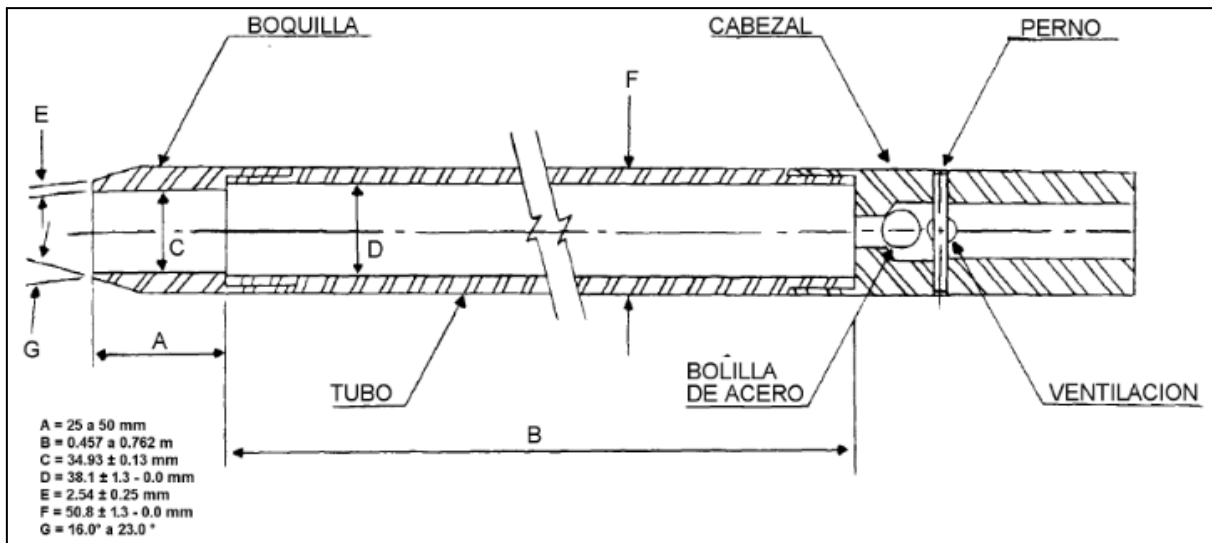


Figura 3.4: Sacamuestra partido ASTM D1586-84

La norma ASTM D1586/D1586M-18e1 establece los siguientes métodos de hincado, tanto manuales como automáticos o semiautomáticos:

- Leva de cadena automática hidráulica/martillos mecánicos de agarre y liberación
- Martillos mecánicos tipo rosquilla
- Martillos de seguridad accionados por cable y cabestrante
- Martillos anulares accionados por cable y cabestrante

Se prefieren los martillos automáticos y de disparo para obtener una energía constante durante la prueba. Los martillos de leva de cadena automáticos también son los más seguros porque el martillo está cerrado y los operadores pueden alejarse del equipo. Si se utiliza el método de cuerda y cabestrante (Figura 3.5), el martillo de seguridad adjunto es

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 63 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

más seguro que el martillo de rosca porque el yunque de impacto está encerrado (ASTM D1586/D1586M-18e1).

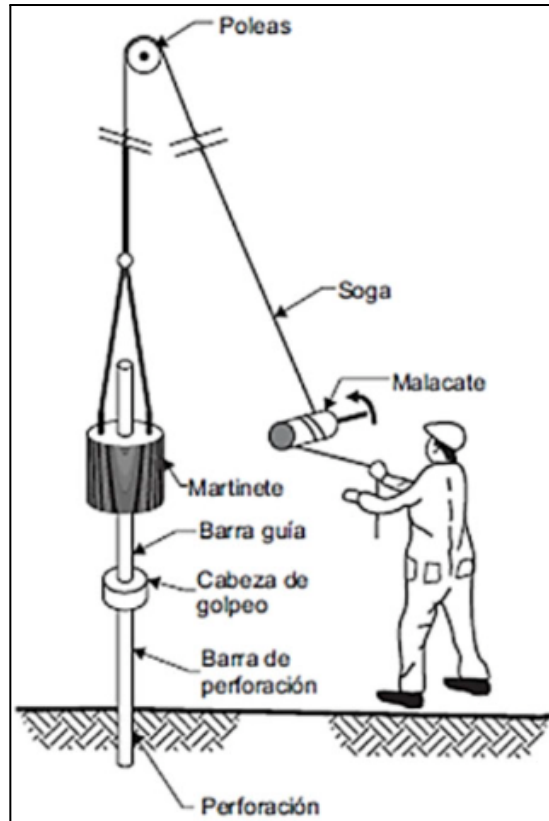


Figura 3.5: Esquemática general del Ensayo de Penetración Estándar

3.2.3- Descripción del ensayo

El procedimiento del Standard Penetration Test debe regirse por la norma ASTM-1586 y consiste en hincar 45cm (18”) en el suelo, contabilizando la cantidad de

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 64 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



golpes necesarios para penetrar 15cm mediante la utilización del saca muestra de caña partida.

El muestreador es hincado mediante el mazo normado de 63.5 kilogramos, traducido en una fuerza de 140 lb que cae desde una altura de 76 cm (30”).

La cantidad de golpes del ensayo (N_{spt}) se contabiliza excluyendo los primeros 15 cm de penetración, pero contando los seguidos 30cm (N_{15-30} y N_{30-45}). Esto se realiza debido a que los primeros centímetros pueden estar afectados por perturbaciones debidas a la introducción del muestreador.

Es muy importante asegurarse la debida limpieza de la perforación hasta llegar a la cota deseada, tanto el fondo como las paredes, retirando los restos de perforación y luego instalando el sacamuestras de dimensiones ya definidas.

Este ensayo, como se ha mencionado a lo largo del trabajo, permitirá conocer la capacidad y en los suelos plásticos permite adquirir una idea aproximada de la resistencia a la compresión simple. Los resultados obtenidos en la prueba plantean que los resultados del número de golpes se puedan relacionar con las propiedades de las arenas gruesas y finas, gravas con diferentes porcentajes de humedad y para suelos cohesivos saturados o parcialmente saturados, pero cuando el suelo es cohesivo y el contenido de humedad es bajo, el ensayo puede brindar resultados no confiables del comportamiento del suelo.

A su vez, se establece el rechazo del ensayo si:

- En alguno de los tramos de 15 cm (6”) se contabilizan más de 50 golpes.
- No se ha observado ningún avance del penetrómetro durante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 65 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Una vez el muestreador haya sido extraído de la perforación, se debe abrir el mismo (Figura 3.6) y se comienza con la descripción de la muestra obtenida, en tanto su color, composición, estratificación y condición. Se debe indicar el porcentaje de longitud recuperado respecto la longitud total del sacamuestra.

Luego, se deben adjuntar las muestras en recipientes separados, sellados y etiquetados. Se debe garantizar la no modificación del contenido de humedad de la misma, así como tampoco someterla a variaciones importantes de temperatura. En las etiquetas de los recipientes debe de aparecer la información siguiente: nombre de la obra, número de sondaje, profundidad de la muestra y el número de golpes por cada incremento de 15 cm. (6”).



Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 66 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 3.6: Muestreador de Terzaghi

En este ensayo se encuentran dos limitaciones principales, estas son dos fricciones: la primera es aquella que se produce entre el sacamuestras y el suelo; la segunda afecta directamente a la extracción de la muestra, se presenta entre el material en el interior del muestreador y el interior del muestreador propiamente. La primera de las fricciones aumenta directamente con la profundidad, pudiendo producir resultados engañosos. Mientras que la segunda puede impedir la extracción del material.

3.2.4- Perturbaciones

Como se menciona anteriormente el SPT es el más difundido de entre todos los ensayos in situ, el cual empezó a desarrollarse en 1927 y actualmente es usado mundialmente .

Es importante recalcar que el término “estándar” es de gran importancia ya que no todos los aparatos utilizados son uniformes en los distintos países, e incluso dentro de un mismo país como ocurre en Estados Unidos o en Brasil, donde existen varios SPT. Si no se usa el equipo adecuado esto puede traer aparejado grandes errores.El SPT tiene la ventaja además de proporcionar información de la naturaleza de las capas atravesadas, gracias a la muestra que extrae. Sin embargo, sus resultados son discontinuos y capas de débil espesor pueden escapar a este reconocimiento.

A continuación se detallan los errores más comunes que se cometen al ejecutar el ensayo:

- **Peso y altura de caída del martillo:**

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 67 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En cuanto al peso del martillo no debería presentar problemas ya que es fácil comprobarlo en caso de alguna duda. En referencia a la altura exacta de caída, en ésta tiene gran influencia el cuidado que ejerza el perforador, dado que si no se realiza apropiadamente la operación puede resultar corta o errática. Además, el golpe pierde energía si hay rozamientos en el cable que sostiene el martillo, ya sea en la polea o en el tambor del cabrestante. Cualquier otra circunstancia que interfiera con la libre caída del martillo o produzca excentricidad en el golpe tendrá efectos similares.

- **Profundidad de la perforación:**

A medida que se profundiza la perforación aumenta la longitud y, por lo tanto, el peso de las barras de perforación que conectan el tomamuestras con el acople que recibe el golpe. En tanto que esta masa aumenta, crece en forma correspondiente la resistencia por inercia, también la deflexión lateral (pandeo) de las barras largas y esbeltas bajo el golpe del martillo absorbe una parte adicional de la energía de impacto. El resultado es que **se presenta mayor resistencia aparente en un estrato profundo que en otro idéntico situado más cerca de la superficie del terreno**. Fletcher ha señalado que la distorsión de la resistencia aparente a la penetración no es importante hasta profundidades del orden de 40 m, pero que a profundidades de 60 m o mayores es apreciablemente alta e irreal.

- **Limpieza del fondo de la penetración:**

Existe una tendencia a la acumulación de lodos de desecho en el fondo durante el tiempo transcurrido entre la limpieza de la perforación y la hincada del tomamuestras. En general, no resulta posible evitar en la práctica esta acumulación; más bien, deben tomarse precauciones para detectarla y aplicar medidas compensatorias, como se explica seguidamente.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 68 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- a) La perforación debe limpiarse hasta el fondo y el tomamuestras ha de ser bajado lo más pronto posible.
- b) Debe comprobarse la presencia y el espesor del lodo acumulado por comparación de la longitud del tramo de tubería de lavado que había entrado en la perforación, con la longitud de las barras más el tomamuestras bajados para el muestreo.
- c) En el caso de usar revestimiento o lodo de perforación, ayuda a reducir la cantidad de lodo acumulado dejando fluir agua hasta que aparezca clara. Si lo anterior falla y el depósito de lodo excede los 15 cm de espesor, debe utilizarse un tomamuestras grande con un espacio para el lodo.
- d) Finalmente, se deben registrar los golpes sobre el tomamuestras para 3 intervalos de 15 cm. y despreciar los correspondientes a los primeros 15 cm de penetración.

- **Flujo de materiales hacia la perforación:**

En aquellos casos en el que se perforan suelos granulares bajo el nivel freático, se presenta tendencia en el suelo a fluir verticalmente hacia el fondo de la perforación, si la presión hidrostática en el suelo es mayor que la correspondiente en la columna de agua o de lodo en la perforación. Si se presenta esta situación, se altera la estructura del suelo por muestrear y resultarán erróneamente bajos los valores de resistencia a la penetración. Para evitar lo mencionado anteriormente, debe mantenerse el nivel de la columna de agua en el revestimiento por encima o a la altura del nivel freático. Cuando el suelo en el fondo del revestimiento esté bajo presión artesiana, puede ser necesario recurrir a lodo de perforación para proveer peso adicional.

- **Diámetro de la perforación:**

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 69 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



La presión de confinamiento que proporciona el suelo alrededor de la perforación afecta la resistencia del suelo a la penetración. Si el ensayo se efectúa en una perforación de gran diámetro, se pierde parte de este efecto de confinamiento (o puede presentarse tendencia del material a fluir hacia el fondo de la perforación). En cualquier caso, la resistencia aparente a la penetración sería demasiado baja. El ensayo normal de penetración se hace convencionalmente en una perforación de 6.35 cm (2.5 pulgadas) de diámetro. Fletcher ha sugerido que los resultados del ensayo no serán afectados por el diámetro de la perforación, si el suelo por muestrear es un material granular por encima del nivel freático o un cohesivo de la suficiente firmeza para no fluir hacia la perforación. Sin embargo, como medida de precaución, él también sugiere que, si el diámetro es mayor de 10.16 cm (4 pulgadas), se inserte un revestimiento de 10.16 cm o menor a través del cual se realizaría el muestreo.

- **Presencia de material grueso o muy fino:**

El tomamuestras tiene una sección transversal relativamente pequeña. Por esto, una partícula gruesa de grava o de otro material cementado puede obstruir su abertura y restringir la penetración del tomamuestras, aumentando drásticamente y en forma errónea la resistencia aparente a la penetración. Deben ignorarse los ensayos realizados en tales materiales.

En arenas muy finas y limos saturados, también se presentan valores de la resistencia a la penetración erróneamente altos, cuando se realiza el ensayo ligeramente por encima o a la altura del nivel freático, por efecto de las presiones neutras negativas locales o por la acción amortiguadora producida por el agua que no puede fluir rápidamente del sitio de impacto y aumenta la resistencia a la penetración del tomamuestras. En cualquier caso, hay tendencia a presentar una falsa indicación de capa densa, no existente.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 70 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Efectos contrarios en la resistencia a la penetración resultan de la fácil alteración de arenas finas y limos por el flujo de agua de perforación, o al volverse inestables por las vibraciones que acompañan el ensayo. Todos los factores anotados deben considerarse en la interpretación de los registros de perforación.

- **Descuido en el conteo de golpes:**

En aquellos casos en los cuales no se registra oportunamente el número de golpes y se confía a la memoria del operador, se pueden cometer errores en los resultados anotados.

- **Estado de los equipos:**

El tomamuestras se debe encontrar en perfecto estado, en especial la correcta forma y biselado de la punta, la condición recta y el ajuste general del tomamuestras.

- **Dejar caer bruscamente la barra de perforación**

El tomamuestras y las barras deben bajarse al fondo de la perforación lo más suavemente posible, evitando el impacto.

- **Lavado excesivo:**

Cuando se limpia la perforación, el técnico a cargo puede tratar de lavar por debajo del extremo inferior del revestimiento. Esto afloja el suelo subyacente y da lugar a un número bajo de golpes.

En función de lo mencionado anteriormente, se puede apreciar claramente que en el ámbito geotécnico el factor humano asume un rol muy importante y para nada despreciable.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 71 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



No obstante, ejecutado con cuidado, en circunstancias normales; el SPT puede proporcionar una información muy importante.

En arenas saturadas, finas o limosas compactas o muy compactas, los valores de N pueden ser demasiado grandes debido a la tendencia de estos materiales a dilatarse cuando se deforman bajo esfuerzo cortante en condiciones no drenadas. Por esta razón, los resultados del ensayo de SPT, en este tipo de suelos, se deben de tomar en forma muy conservadora. Además el valor de N en este tipo de suelos es influenciado por la profundidad a la que se hace el ensayo. Debido a la presión de sobrecarga se produce un mayor confinamiento, que genera que los valores de N, al aumentar la profundidad, pueden indicar compacidades mayores que las que realmente existen.

Uno de los errores más comunes que se produce y que influye en el valor de N, se da en relación cuando el ensayo de SPT se realiza bajo el nivel freático, principalmente si se está en suelos como arenas o limos. Si se sacan rápidamente las barras de perforación, se crea un gradiente hidráulico ascendente en la arena que está debajo del sondeo; lo que origina que el nivel del agua en el sondeo sea inferior al freático. Como resultado se origina que la arena se convierta en arena movediza y su compacidad relativa puede reducirse bastante, lo que produce que el valor de N sea muy inferior al correspondiente a la compacidad relativa de la arena inalterada.

En función de lo mencionado en el párrafo anterior cuando el ensayo de SPT se realiza por debajo del nivel freático se usa una corrección (Terzaghi y Peck, 1948) aplicable a suelos no muy permeables como limos y arenas finas.

$$N = 15 + ((N' - 15)/2)$$

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 72 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Esta expresión es válida para $N' > 15$, siendo N el valor corregido y N' el valor medido.

Después de analizar los distintos factores que afectan el valor final de N , en relación a este valor se puede encontrar lo siguiente:

“(…) los valores de N dan útiles indicaciones preliminares de la consistencia o de la compacidad relativa de la mayor parte de los depósitos de suelo. La información es en algunos casos incluso suficiente para el proyecto final.” (Peck, Hanson y Thornburn, 1998, p. 149).

Como se ve el valor de N proporciona los datos necesarios para realizar una planificación más pensada de las exploraciones adicionales más convenientes para el lugar.

3.2.5- Energía

El Ensayo Estándar de Penetración transfiere energía que depende de cuestiones como la masa del martillo y la altura desde que se la deja caer a la misma. Sin embargo, se ha demostrado que este simple producto es influenciado por otros factores que pueden deberse a la ejecución en campo.

La norma ASTM D1586 establece que hay diferentes diseños de martillos que hacen variar el radio de transferencia de energía (ETR), esta variación se ha mostrado entre el 45 al 95% de la máxima energía potencial (PE) transmitida.

Además, el valor de la cantidad de golpes N es inversamente proporcional a la energía transmitida, resultado en valor de golpes que se alejan de los estándares. Es ahora práctica común, corregir los valores de N a un nivel de energía del 60% de la energía

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 73 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



máxima potencial (N_{60}). Esto dependerá, también, de la calidad del trabajo de campo que se tenga, el valor de 60% es muy utilizado en Argentina pero en otros países como Japón puede llegar al 72%.

La energía potencial máxima que se menciona anteriormente está dada por el producto de la masa del martillo con la altura de caída:

$$PE = 63.5 [kg] * 0.76 [m] * 9.81 [m/s^2] = 473 [Nm] = 473 [J]$$

3.3- Cono de Peck - DPSH

3.3.1- Situación en Argentina

En el caso particular de Argentina antes de que se normalice el estudio “DPSH” en Europa , comenzó a utilizarse dicho estudio con algunas modificaciones a comparación de lo que finalmente se conoció como DPSH mundialmente.

Si se analiza en detalle el estudio que se practica en nuestro país, es fácil darse cuenta que se asemeja mucho más a un estudio llamado “Cono de Peck” basado en la norma Peruana (E 050) que al “DPSH” propiamente dicho. Las principales diferencias que presentan es que el ángulo del cono del cono de Peck es de 60 grados a comparación del ángulo del DPSH que son de 90 grados y otra gran diferencia es que en Argentina para realizar este estudio no se utilizan varillas macizas sino que se utilizan las mismas varillas huecas utilizadas en el SPT.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 74 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3.3.2- Historia del ensayo

El Ingeniero Roberto Michelena, a principios del año 1970, desarrolló un cono (DPT 70) para realizar la auscultación dinámica de un terreno de 200 Ha en el que se necesitaban determinar las condiciones geotécnicas y de cimentación para la habilitación urbana en la ciudad de Chimbote, Perú. Este cono contaba con el mismo tipo de energía que la especificada para el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), además de ser calibrado con los resultados del mismo. Por lo tanto, se permitió reducir el número de perforaciones con el nuevo ensayo, y por consiguiente, reducir costos y tiempo a la hora de identificar ciertas características y propiedades del suelo estudiado.

A este nuevo ensayo se le dio el nombre de “Cono de Peck”, esto fue debido a que en una publicación se mencionaba un dispositivo recomendado para la investigación de la densidad relativa de un depósito de arenas y gravas sin el uso de tuberías de revestimiento. La siguiente cita expone lo expuesto hasta el momento:

(...) Un cono que se coloca suelto en el fondo de una hilera de tuberías que se introduce en el terreno por medio de un martillo con una altura constante de caída. Se toma un registro continuo del número de golpes requerido para hincar la punta un pie de profundidad. Cuando la punta ha alcanzado su elevación final, se retira la tubería y el cono queda perdido en el fondo de la perforación. La fricción de la tubería es minimizada haciendo el diámetro del cono algo mayor que el diámetro exterior de la tubería. Las pruebas de este tipo se pueden hacer más rápidamente y de manera más económica que los ensayos de penetración estándar. Sus resultados se pueden correlacionar con los valores N (del SPT), realizando diferentes series de ensayos de penetración Estándar en perforaciones adyacentes a la ubicación de los ensayos de penetración con el cono. (Peck, R.; Hanson, W. y Thornburn, T. 1953:2)

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 75 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Como se puede apreciar, no describen el peso del martillo, ni la altura de caída, aunque sí muestran un diámetro exterior del varillaje, similar al del ensayo SPT. Por tal razón, los autores utilizaron el mismo equipo del SPT, al que solamente le cambiaron la cuchara de “caña partida”, por una punta cónica a 60°, similar a lo que muestra la Figura 3.7.

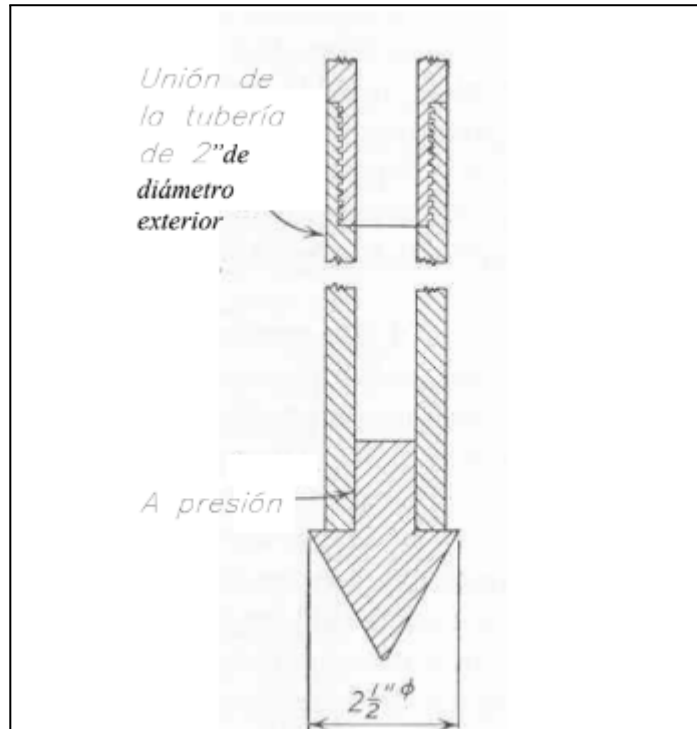


Figura 3.7: Penetrómetro de punta cónica -1953.

3.3.3- Utilización del Cono de Peck

El ensayo de auscultación con el Cono de Peck como tal es utilizado en Perú y no se utiliza con frecuencia en ninguna otra parte del mundo como técnica de auscultación de

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 76 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



suelos, en el que se utiliza el mismo equipo del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), pero cambiando la cuchara de “caña partida” por una punta cónica, de tal manera que se tiene una ventaja sobre el ensayo de SPT, al tener una hinca continua y por lo tanto más rápida.

3.3.3.1- Reglamentación

Hasta el año 2006 no existía otra literatura acerca del Cono de Peck, hasta la publicación del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en el que se considera al Cono Dinámico Tipo Peck como una Técnica de Auscultación Recomendada para suelos granulares de los tipos SW, SP, SM y SC-SM; y como una Técnica de Auscultación de Aplicación Restringida, para suelos de los tipos CL, ML, SC, MH y CH, y además haciendo las siguientes salvedades:

“Se utiliza para auscultaciones dinámicas que requieren investigación adicional de suelos para su interpretación y no sustituyen al Ensayo de Penetración Estándar.

No se recomienda ejecutar ensayos Tipo Peck en el fondo de calicatas, debido a la pérdida de confinamiento. Para determinar las condiciones de cimentación sobre la base de auscultaciones dinámicas, debe conocerse previamente la estratigrafía del terreno obtenida mediante la ejecución de calicatas, trincheras o perforaciones ".
(RNE E 050 2006: 320757)

La norma aplicable para la ejecución de este ensayo es según la E 050 la norma española UNE 103-801:1994, manteniendo el peso del martillo, la altura de caída y el método de ensayo, pero con las siguientes excepciones:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 77 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- 1) Las barras de perforación serán reemplazadas por las "AW" que son usadas en el ensayo SPT (normas NTP 339.133 y ASTM D1586);
- 2) La punta cónica se reemplazará por un cono de 6.35 cm (2.5 pulgadas de diámetro y 60° de ángulo en la punta, según se muestra en la Figura 3.8;

Estas especificaciones son observables en la Figura 3.8.

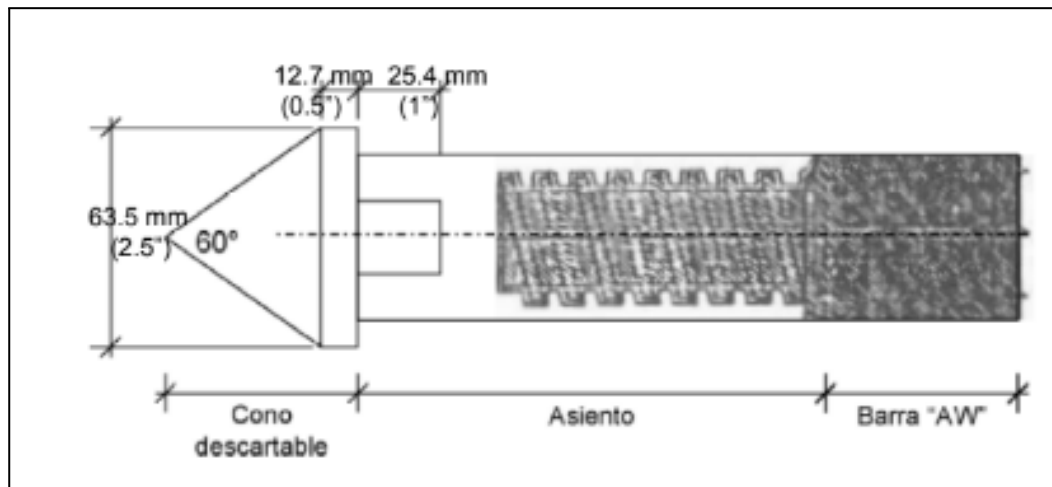


Figura 3.8: Tomado del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006).

- 3) El número de golpes se registra cada 0.15 m y se grafica cada 0.30 m, siendo C_n la suma de golpes por cada 0.30 m.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 78 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3.3.4- Aparatos utilizados

La descripción de los siguientes equipos e instrumentos se ha extraído de la norma española UNE 103-801:1994, teniendo en cuenta las modificaciones correspondientes para su aplicación en Argentina.

- 1) **Cono:** Es una pieza de acero cilíndrica que termina en forma cónica con un ángulo de 60°.
- 2) **Varillas:** Conjunto de varillas de acero que se utilizan para transmitir la energía de golpeo desde la cabeza del varillaje hasta el cono.
- 3) **Martillo:** Es un cuerpo de acero de 140 lb de masa.
- 4) **Yunque:** es un cuerpo de acero que recibe el impacto del martillo y que queda unido solidariamente a la parte superior de las varillas de perforación, se debe evitar que durante el golpeo pueda existir desplazamiento relativo entre ambos.
- 5) **Barra guía:** Elemento de acero que guía suavemente el martillo durante su caída.
- 6) **Sistema de caída de martillo (Trípode):** esta descripción corresponde al equipamiento que soportará al sistema para el ensayo. De esta manera, se eleva el martillo a una altura de 760 mm \pm 10 mm, se lo libera y se permite su caída libre por la barra guía hasta el yunque. La velocidad del martillo cuando se libere será nula.
- 7) **Ensamblaje de caída de peso:** Conjunto de elementos que comprende el martillo, yunque, la barra guía y el sistema de caída de martillo.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 79 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3.3.5- Comparación entre Cono de Peck y DPSH

El ensayo de penetración dinámica a lo largo de su historia se ha desarrollado en distintas versiones. Las principales diferencias que se presentan entre una versión y otra es el peso de la maza del golpeo, las cuales varían en función del contexto donde se ejecute el ensayo y el tipo de suelo. Por un lado existen los equipos livianos (DPL) los cuales se suelen utilizar para profundidades reducidas y son una muy buena opción para lugares de difícil acceso debido al tamaño reducido que presentan. Por otro lado se encuentran los equipos pesados (DPSH) los cuales pueden alcanzar grandes profundidades y utilizarse en cualquier tipo de suelo. Entre medio de estos equipos, existen equipos intermedios que se observan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Diferencias entre penetrómetros dinámicos

	Penetración dinámica			
	DPL (ligero)	DPM (medio)	DPH (pesado)	DPSH (super pesado)
Dispositivo de golpe				
maza, (kg)	10 +- 0.1	30 +- 0.3	50 +- 0.5	63.5 +- 0.5
altura de caída, h, (mm)	500 +- 10	500 +- 10	500 +- 10	750 +- 20
relación longitud/diámetro, d	$\geq 1, \leq 2$	$\geq 1, \leq 2$	$\geq 1, \leq 2$	$\geq 1, \leq 2$

El método de ensayo DPSH no se encuentra normalizado en Argentina, sin embargo, ha sido incorporado a las prácticas usuales de exploración de suelos debido a su bajo costo relativo, su velocidad de ejecución, y la obtención de información no cesante. De todas

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 80 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



maneras, este método si se encuentra normalizado por los reglamentos ISO y EUROCODE, siendo los códigos de los mismos: ISO 22476-2:2008 y EN 1997-2 propiamente Sin embargo, las prácticas usuales en Argentina, como se ha mencionado en la introducción del apartado, ha llevado a que este método se asemeje más a un ensayo tipo Cono de Peck. A continuación, en la Tabla 3.3, se exponen las diferencias entre ambos.

Tabla 3.3: Diferencias entre DPSH y Cono de Peck

Elemento	DPSH	CP ²
Masa del martillo, kg	63.5 +- 0.5	63.5 +- 0.5
Altura de caída, m	0.75 +- 0.02	0.76 +- 0.01
Masa del yunque y de la guía (max), kg	30	50
Longitud / diámetro (D) del martillo	$\geq 1, \leq 2$	$\geq 1, \leq 2$
Diámetro del yunque, mm	$100 < d < 0.5D$	$100 < d < 0.5D$
Longitud de varilla, m	1 - 2 +- 0.1%	—
Masa de varilla (máx), kg/m	8	8
Desviación de la varilla (max) en los primeros 5 m, %	0.1	—
Desviación de la varilla (max) debajo de los 5 m, %	0.2	—
Excentricidad de la varilla (max), mm	0.2	0.2

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 81 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Diámetro exterior de la vainilla, mm	32 +- 0.3	41.2
Diámetro interior de la vainilla, mm	—	—
Ángulo del cono, grados	90	60
Área en la base del cono, cm ²	20	32
Diámetro del cono, mm	51 +- 0.5	63.5
Diámetro min. del cono, mm	49	—
Long. del manguito del cono, mm	51 +- 0.2	50 +- 0.5
Ángulo superior del cono, °	11	—
Long. de la punta del cono, mm	25.3 +- 0.4	25 +- 0.2
Max. desgaste de la punta, mm	5	—
Número de golpes por cm de penetración	20 cm; N ₂₀	15 cm / 30 cm; C _a
Rango estándar de golpes	5 - 100	—
Trabajo específico por golpe MgH/A, k.J/m ²	238	149 ³

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 82 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3.3.6- Comparación entre el SPT y Cono de Peck

En relación al SPT, el Cono de Peck es más rápido ya que no requiere la extracción del elemento de penetración hasta el final del ensayo. Por otro lado, a través del ensayo CP no se obtienen muestras del suelo explorado, requiriendo así complementar el mismo a través de otros métodos de exploración que permitan la extracción de muestras. Por ejemplo, es posible utilizar el método CP como una herramienta para conocer la estratificación del suelo, podría verse como una herramienta cualitativa, y una vez llegada a la cota de fundación, utilizar el SPT para obtener los parámetros mecánicos requeridos, tanto como para extraer muestras.

3.3.7- Limitación del ensayo

Cuando se superan profundidades de 13,20 metros, el efecto de fricción en la punta del cono puede resultar mayor y la forma del cortante puede alterar la zona, afectando de esta manera el número de golpes contados. Una opción más conveniente es utilizar el penetrómetro en agujeros con profundidades de 4,5 a 6,0 metros. Más allá de estas profundidades resulta complicado manipular el peso de la barra y también es posible, que los golpes contados para determinar la resistencia a la penetración sea afectado por la pérdida de energía dinámica producto de la inercia de la barra.

Además es importante recalcar que el Cono de Peck muchas veces se utiliza para todo tipos de suelos, debido a la rapidez de su ejecución y bajo costo, sin tener en cuenta las restricciones que establece la norma.

Otro aspecto a mencionar es que a lo largo de la historia se han utilizado distintos tipos de conos como se puede observar en la Figura 3.9.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 83 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Figura 3.9: Distintas puntas posibles

3.4- Correlación entre resultados del SPT y Cono de Peck existentes

Como se ha mencionado anteriormente, el método SPT ha sido estandarizado, investigado, corregido y mejorado a lo largo del tiempo, esto ha de lograr una gran confiabilidad en los resultados para estimar los parámetros geotécnicos del suelo. Además, el hecho de que se puedan extraer muestras ha facilitado este proceso de mejora.

Es por ello, que al momento de usar métodos más sencillos o económicos como un CP, surge la necesidad de encontrar paralelismos entre sus resultados y los del SPT. Para ello se han desarrollado una serie de correlaciones entre ambos mecanismos, sin embargo,

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 84 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



estas dependen de muchas variables como tipo de suelo, calidad de equipo, profundidad, externalidades, etcétera.

El objetivo de este apartado es analizar los diferentes factores de correlación que se han establecido para los resultados de estos ensayos, para luego encontrar diferencias y similitudes con los resultados que se obtendrán para este trabajo en particular.

Los primeros resultados que se plantean fueron ejecutados en Málaga, España. Estos entregan de una forma más cualitativa aproximada la correlación entre N_{DPSH} y N_{SPT} , diferenciando entre los suelos granulares y cohesivos, y según la consistencia de cada uno de ellos. En la Tabla 3.4 se adjunta la correlación establecida:

Tabla 3.4: Correlación entre N_{DPSH} y N_{SPT} (Blanca, 2011)

Correlación entre N_{DPSH} y N_{SPT}					
Suelos Cohesivos			Suelos Granulares		
DPSH: N° de golpes c/20 cm	Consistencia	SPT: N° de golpes c/30 cm	DPSH: N° de golpes c/20 cm	Consistencia	SPT: N° de golpes c/30 cm
0-2	Muy Blanda	0-2	0-2	Muy Suelta	0-4
2-4	Blanda	3-5	2-5	Suelta	4-10
4-10	Media	6-15	5-15	Media	10-30
10-15	Firme	15-25	15-25	Densa	30-50
>15	Muy Firme	>25	>25	Muy Densa	>50

De igual modo, el artículo "Ensayo de penetración dinámica súper pesada (DPSH): equivalencia para el ensayo de penetración estándar (SPT) en Colombia" realizado por E. L.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 85 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Salamanca-Medina y J. J. López-Domínguez ha hecho una recolección de correlaciones de distintos autores, y previamente a la presentación de resultados advierte lo siguiente: “Algunas de estas correlaciones no tienen estadísticas bien definidas o bien, se han propuesto a partir de datos de una zona en particular (...)”, acompañando a lo que se ha establecido en la introducción del apartado. Respecto a la recolección de datos se ha establecido lo expuesto en la Tabla 3.5:

Tabla 3.5: Correlaciones entre N_{DPSH} y N_{SPT} (Salamanca-Medina y López-Domínguez, 2021)

Referencia	Correlación	R2	Tipo de suelo
Dahlberg	$N_{spt} = 25 * \log_{10}(1.22 * N_{DPSH}) - 15.16$	-	Granulares
Dapena y Lacasa	$N_{spt} = (13 * \log_{10} * N_{DPSH}) - 2$	-	Cohesivos
López-Chinarro et al.	$N_{spt} = 2.24 * N_{DPSH}^{0.87}$	0.84	General
	$N_{spt} = 2.25 * N_{DPSH}^{0.86}$	0.87	Granulares
	$N_{spt} = 2.10 * N_{DPSH}^{0.90}$	0.81	Cohesivos

Este mismo artículo establece sus propias funciones de correlación entre ambos parámetros, concluyendo con los resultados mostrados en la Tabla 3.6:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 86 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 3.6: Correlaciones entre N_{DPSH} y N_{SPT} (Salamanca-Medina y López-Domínguez, 2021)

Tipo de suelo	Agrupación SUCS	Función línea de tendencia	Ecuación obtenida	R ²
General	Todos	Exponencial	$N_{spt} = 2.29 * N_{DPSH}^{0.88}$	0.95
Arcillas y limos	CL, CH, ML, MH	Exponencial	$N_{spt} = 2.07 * N_{DPSH}^{0.95}$	0.97
Arenas con finos	SC, SM	Exponencial	$N_{spt} = 2.52 * N_{DPSH}^{0.88}$	0.94
Arenas limpias	SW, SP, SW-SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM	Exponencial	$N_{spt} = 2.72 * N_{DPSH}^{0.75}$	0.91
Gravas	GW, GP, GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM	Exponencial	$N_{spt} = 2.75 * N_{DPSH}^{0.81}$	0.88

A su vez, y por último, el artículo “Correlación entre el ensayo penetrómetro dinámico Grizzly (DPSH) y SPT en arenas potencialmente licuables del sector Punta Arenosa en la ciudad de Punta Arenas” realizado por la Ing. Valentina Peredo Andrade y el Ing. Ramón Carrasco Poll, establece su propia ecuación de correlación:

$$N_{30-SPT} = (0.5055 * e^{0.082*h}) * (N_1)_{60CS}$$

Siendo:

- N_{30-SPT} : Número de golpes cada 30 cm por el SPT
- $(N_1)_{60CS}$: Número de golpes dado por DPSH

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 87 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- h: corresponde a la profundidad en metros medida a partir del nivel de terreno natural.

Esta correlación se establece válida para profundidades mayores a los 6.5 m y valores de $(N_1)_{60CS}$ entre 5 y 19.

La relación $k'' = \frac{N_{SPT}}{N_{DPSH}} = \frac{N_{30}}{N_{160CS}}$ arrojó los resultados que se muestran en la Figura

3.10:

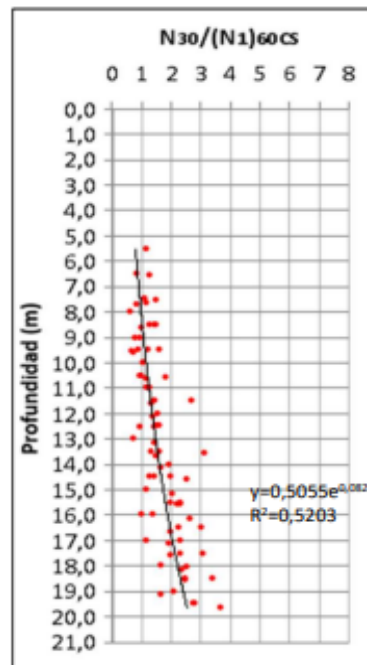


Figura 3.10: Correlaciones entre NDPSH y NSPT, respecto a la profundidad (Ing. Valentina Peredo Andrade y el Ing. Ramón Carrasco Poll, 2018)

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 88 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3.4.1- Correlación utilizada en la argentina

Asimismo, para Argentina, es posible encontrar una correlación instituida por los autores Terzariol y Abbona (1996), donde para para arenas gruesas, limos arenosos y limos arcillosos consolidados, establecen que:

$$k'' = \frac{N_{CP}}{N_{SPT}} = [1.0 - 1.1]$$

Esto indica que para esa características de suelo, los números de golpes de cada ensayo tienen una relación casi unitaria. El mismo artículo, que presenta esta última correlación realiza un resumen de distintas correlaciones indicando año de publicación, país, autores, y tipo de suelo del ensayo, observables en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Recopilación de correlaciones k'' de distintos autores (Terzariol y Fuente, 2003)

Año	Autor	Tipo de suelo	k''
S/D	Goel (India)	Arena, arena fina con limo y limo arenoso	0.8-1.0
1982	Muromachi y Kobayashi (Japón)	Gravas, gravas arenosas, arenas, limos arenosos, limos y arcillas	1.0
1990	Tissoni (Italia)	Arena fina limosa	0.6
1990	Studio Geotecnico Italiano (Italia)	Arena limosa y arena fina	0.6-0.8

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 89 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Capítulo 4 - Análisis Estadístico

4.1- Introducción

Son cientos los ejemplos en donde se requiere resolver ciertos problemas en donde se encuentran implicadas dos variables que están relacionadas entre sí. Este trabajo no es una excepción.

El objetivo principal de este capítulo es obtener un panorama general y teórico del análisis estadístico que se utilizará para evaluar la correlación entre el número de golpes tanto del Ensayo de Penetración Estándar como del Cono de Peck. Hasta el momento no es sabido si estas dos variables se relacionan, pero se tiene como propósito plantear la relación de las mismas. Una forma razonable de relación entre la respuesta 'Y' y el regresor 'x' es la relación o regresión lineal:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x$$

siendo β_0 la intersección de la recta con el eje, y β_1 la pendiente de la misma.

Pueden darse casos en la ciencia e ingeniería en donde la relación entre las variables no es determinista como se muestra anteriormente, es decir, una 'x' no siempre se condice con el mismo valor de 'Y' debido a cuestiones aleatorias o probabilísticas. Estos casos son llamados probabilísticos y el objetivo será encontrar la mejor relación entre las variables de análisis.

Existen otros casos en donde 'Y' puede ser explicada por más de un 'x', es decir, se tiene más de un regresor:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 90 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$$

Estos casos se tratan con modelos de regresión múltiple pero no son objeto de estudio de este trabajo.

4.2- Regresión lineal simple

Ahora bien, la fórmula expuesta al comienzo del capítulo se sabe que considera que los datos no son del tipo deterministas y que por lo tanto, se introduce el componente aleatorio que se añade en la ecuación. “Este componente aleatorio toma en cuenta consideraciones que no son medibles o, de hecho, que los científicos o los ingenieros no comprenden. En realidad, en la mayoría de aplicaciones de la regresión, la ecuación lineal, digamos, $Y = \beta_0 + \beta_1 x$ es una aproximación que representa de manera simplificada algo desconocido y mucho más complicado” (Warpole et al., 2012, 391)

Por lo tanto, la ecuación de la regresión lineal toma la siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

Siendo ‘ β_0 ’ y ‘ β_1 ’ la ordenada y la pendiente de la recta propiamente, y “(...) ϵ es una variable aleatoria que se supone está distribuida con $E(\epsilon) = 0$ y $Var(\epsilon) = \sigma^2$. Es frecuente que a la cantidad σ^2 se le denomine varianza del error o varianza residual.” (Warpole et al., 2012, 391).

“La presencia de este error aleatorio evita que el modelo se convierta tan sólo en una ecuación determinista. Ahora, el hecho de que $E(\epsilon) = 0$ implica que para una x específica,

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 91 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

los valores de y se distribuyen alrededor de la recta verdadera o recta de regresión de la población $Y = \beta_0 + \beta_1 x$." (Warpole et al., 2012, 391). Esto indica, que se aceptan errores razonables, tanto positivos como negativos (Figura 4.1), a la hora de adoptar la regresión lineal simple, claro está, que nunca se puede trazar la verdadera curva de regresión.

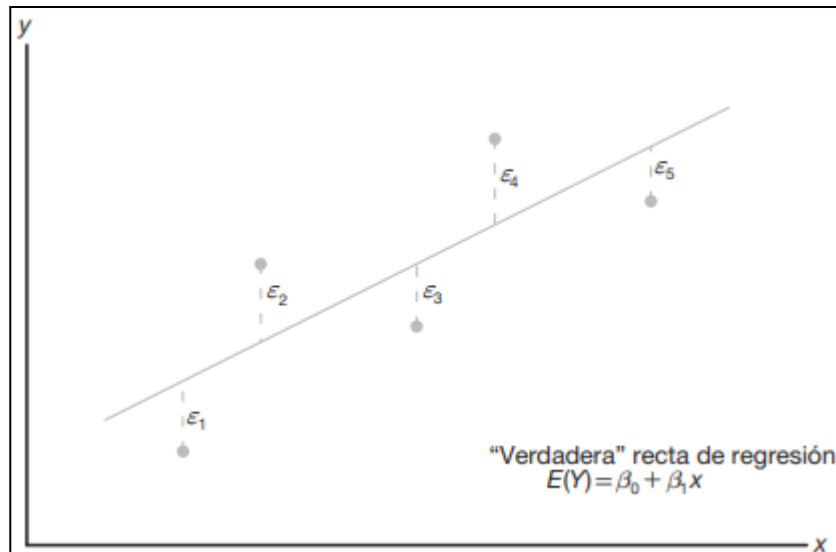


Figura 4.1: Datos (x, y) hipotéticos dispersos alrededor de la verdadera recta de regresión para $n = 5$. (Warpole et al., 2012, 392)

4.2.1- Modelos no lineales

En faz de reducir el error es que aparecen las aproximaciones no lineales pero linealizables. Se trata de curvas exponenciales, logarítmicas, polinómicas, entre otras, que mediante métodos de linealización se pueden trabajar mediante los mismos conceptos que se expondrán en los apartados posteriores.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 92 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Para favorecer el entendimiento se propone el ejemplo sencillo del modelo logarítmico:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) \Rightarrow Y = \beta_0 + \beta_1 x'$$

4.3- Mínimos Cuadrados Ordinarios

El objetivo de la utilización del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MMO) es encontrar los valores de los parámetros muestrales ' β_0 ' y ' β_1 '. El criterio que utiliza este método es proporcionar estimadores de dichos parámetros para poder minimizar la suma de los cuadrados de los errores.

Se supone entonces, una serie de datos los cuales son aproximables por una línea recta de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

Siendo los componentes de la fórmula, los que ya se han ido explicando a lo largo del trabajo.

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo es la minimización de la sumatoria de los errores de todos los puntos muestrales:

$$\sum_{i=1}^n \epsilon_i = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)$$

Soluciones lógicas de este problema podría ser la derivación de los errores, o minimizar la sumatoria del módulo de los errores, sin embargo, ambos casos darían como

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 93 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



resultado infinitas soluciones. Por lo tanto, la mejor solución es minimizar el cuadrado del error:

$$S_r = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2$$

Resolviendo la derivación e igualando a 0 de esta ecuación, se obtienen las fórmulas correspondientes a la obtención de los parámetros muestrales:

$$\beta_1 = \frac{n \sum x_i Y_i - \sum x_i Y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{x}$$

Siendo n el número de pares ordenados.

El método de Mínimos Cuadrados Ordinarios está diseñado para poder aproximar la recta ajustada que resulte en la mayor cercanía a los puntos establecidos. Por lo tanto, en caso de utilizarse algún Método no lineal solo basta en la linealización de la ecuación, para la aplicación de MMO.

4.4- Coeficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación, comúnmente denotado como R^2 , es una medida que indica la proporción de la variabilidad de una variable dependiente que puede ser explicada por los cambios en una o más variables independientes en un modelo de regresión. En otras palabras, el R^2 proporciona una medida de cuánto se ajustan los valores observados a los valores predichos por el modelo de regresión.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 94 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



El R^2 varía entre 0 y 1, y su interpretación general es la siguiente:

- R^2 cercano a 0: Indica que el modelo no puede explicar la variabilidad de la variable dependiente en absoluto. Los valores predichos por el modelo no se ajustan bien a los valores observados.
- R^2 cercano a 1: Indica que el modelo explica una gran parte de la variabilidad de la variable dependiente. Los valores predichos por el modelo se ajustan muy bien a los valores observados.

Estas consideraciones se exponen a continuación en la Figura 4.2.

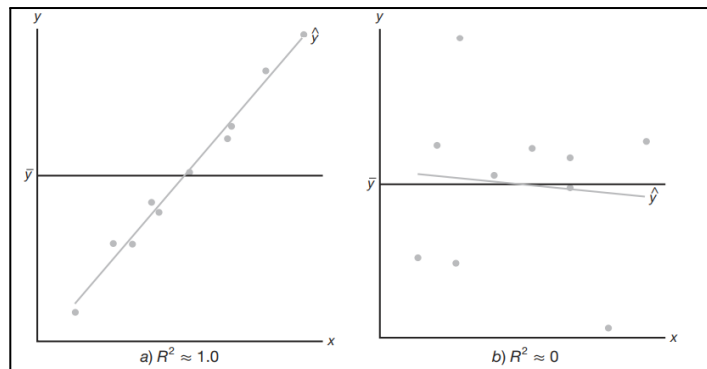


Figura 4.2: Gráficas que ilustran un ajuste muy bueno y otro deficiente. (Warpole et al., 2012, 408)

4.4.1- Cálculo del coeficiente

Un modelo estadístico se construye para explicar una variable aleatoria, que llamaremos dependiente, a través de otras variables aleatorias a las que llamaremos factores. Dado que podemos predecir una variable aleatoria mediante su media y que, en este caso, el error cuadrático medio es su varianza, el máximo error cuadrático medio que

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 95 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



podemos aceptar en un modelo para una variable aleatoria que posea los dos primeros momentos es la varianza. Para estimar el modelo haremos varias observaciones de la variable a predecir y de los factores. A la diferencia entre el valor observado de la variable y el valor predicho la llamaremos residuo. La media cuadrática de los residuos es la varianza residual.

Si representamos por σ^2 la varianza de la variable dependiente y la varianza residual por σ_r^2 , el coeficiente de determinación viene dado por la siguiente ecuación:

$$\rho = 1 - \frac{\sigma_r^2}{\sigma^2}$$

4.5- Análisis Estadístico

Primeramente, es necesario aclarar la caracterización y descripción de los datos que se utilizaran en este apartado. Los datos fueron obtenidos por los estudios de suelo, tanto del Ensayo de Penetración Estándar y el DPSH, realizados por la empresa Arnaudo Ingeniería. Con una cantidad total de 39 ensayos que se distribuyen de la siguiente manera (Figura 4.1):

Tabla 4.1: Distribución de ensayos

	SPT	DPSH
Zona Centro Norte	9	10
Zona Centro Sur	3	3
Zona Sur	6	8

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 96 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En aquellos casos en donde se encuentre una diferencia entre la cantidad de ensayos de SPT y el Cono de Peck, es debido a que en algunas locaciones se han realizado dos estudios dinámicos, estos son los casos de LOS ALGARROBOS Mz 5 L4, CÓRDOBA (Zona Centro Norte), CAMINO SAN CARLOS 7000, COMMISSO, CÓRDOBA (Zona Sur), y VILLA MARIA, TUCUMAN 1372 H1, CÓRDOBA (Zona Sur).

4.5.1- Consideraciones:

- Se eliminan las profundidades asociadas a números de golpes mayores a 50, siendo este el rechazo de los estudios.
- Se hicieron correlaciones simples (eligiendo el valor más cercano), promedio y con interpolación lineal.
- En aquellos estudios donde se contaba con dos hincas en el mismo sitio, se realizaron los promedios de cada hinca para cada profundidad característica.
- Se evaluaron dos posibilidades de modelos de regresión: polinómica cuadrática y exponencial, la polinómica siempre tenía mayor aproximación en un pequeño porcentaje.
- La correlación que más se acerca es la promedio.
- A la correlación promedio se le realizó una corrección según la desviación de los puntos. Mejorando en gran medida las aproximaciones.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 97 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4.5.2- Correlación simple por zona

Tabla 4.2: Zona centro norte - Correlación simple

Zona centro norte			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	1	12	3
	3	30	19
	4	35	20
2	2	15	6
	3	7	5
	5	5	3
	6	3	6
	8	5	10
3	2	22	18
	3	28	27
4	1	7	5
	3	23	12
	5	22	11
	7	32	14
	9	30	17
5	2	14	24
	3	10	22
	5	14	26
6	1	3	7
	3	5	4
	5	6	11
	6	25	2
7	1	1	4
	3	11	3

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 98 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	5	15	1
	6	6	5
	7	9	1
8	2	11	7
	3	12	20
9	2	3	2
	3	3	1
	5	8	1
	6	5	6
	8	15	6
	9	20	22
	11	30	20
12	40	21	

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 99 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

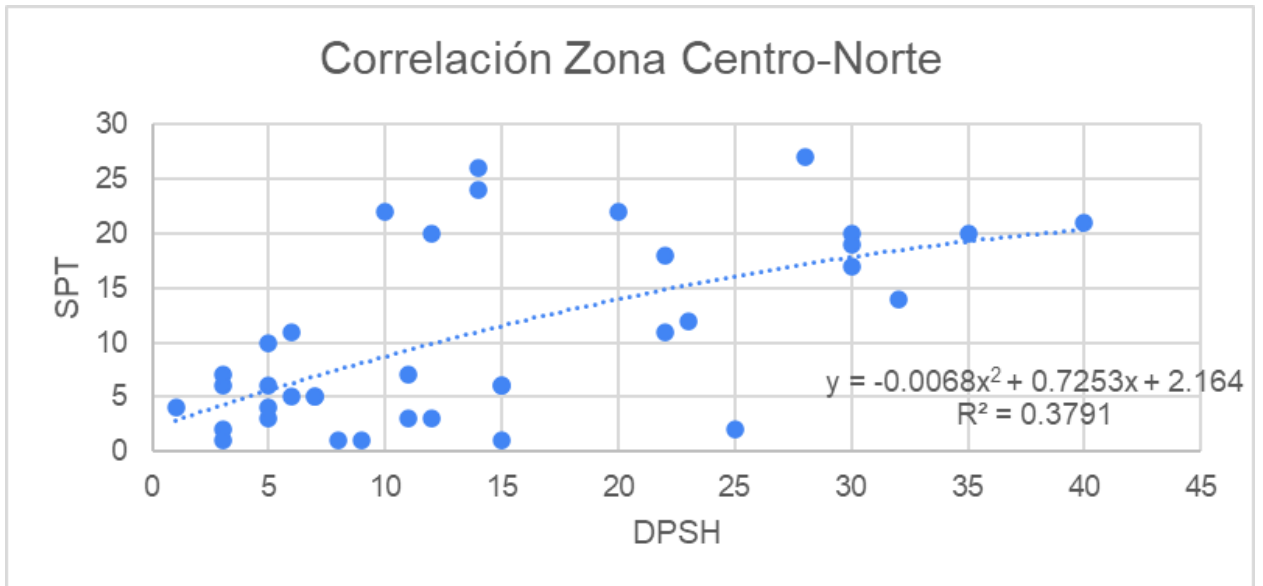


Gráfico 4.1: Zona centro norte - Correlación simple

Tabla 4.3: Zona Sur - Correlación simple

Zona Sur			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	1	7	2
	3	8	4
	5	18	8
	6	20	11
	8	27	14
	9	33	20
	11	45	25
2	2	5	3
	3	23	8
	5	8	7

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 100 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	6	15	12
	8	24	15
	9	28	18
	11	45	20
3	1	10	3
	3	8	8
4	2	8	6
	3	9	7
	5	8	6
	6	12	10
	8	16	15
	9	17	18
	11	50	30
	12	50	37
5	2	10	2
	3	6	4
	5	17	12
	6	13	8
	8	17	22
	9	16	9
6	2	7	3
	3	6	4
	5	26	17
	6	9	2
	8	8	2
	9	30	7
	11	36	17
	12	45	21

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 101 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

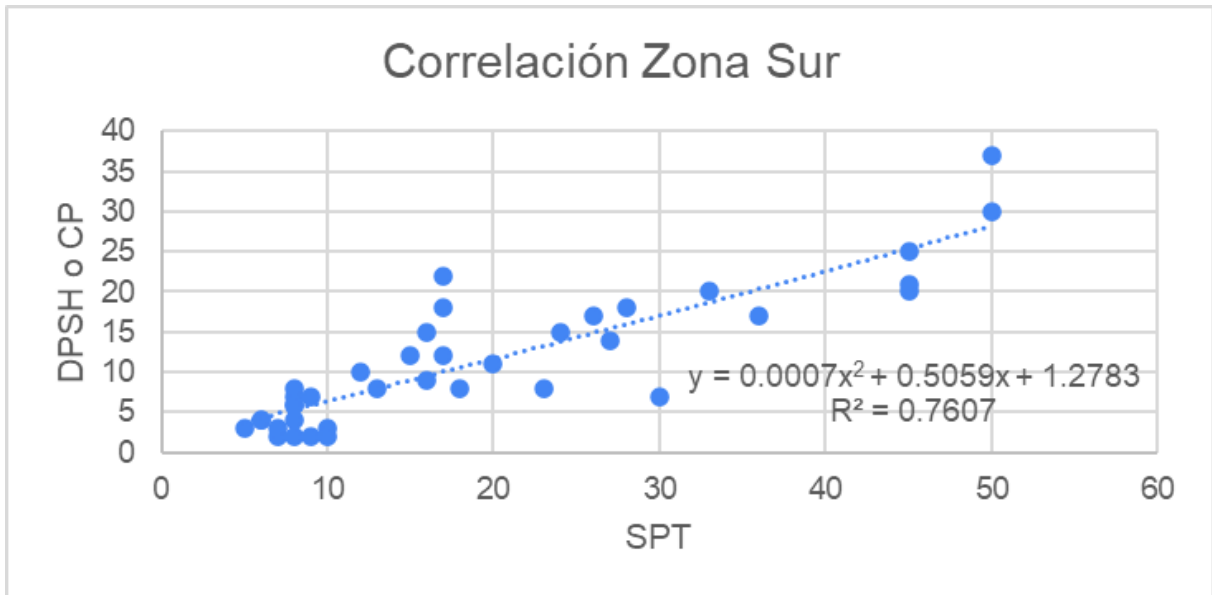


Gráfico 4.2: Zona Sur - Correlación simple

Tabla 4.4: Zona Centro Sur - Correlación simple

Zona centro sur			
	Prof [m]	X [DPH]	Y [SPT]
1	2	12	16
	3	15	7
	5	12	5
	6	16	2
	8	19	25
	9	18	23
2	1	3	9
	3	3	4
	4	5	10

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 102 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	6	10	11
3	2	18	12
	3	16	5
	5	24	13

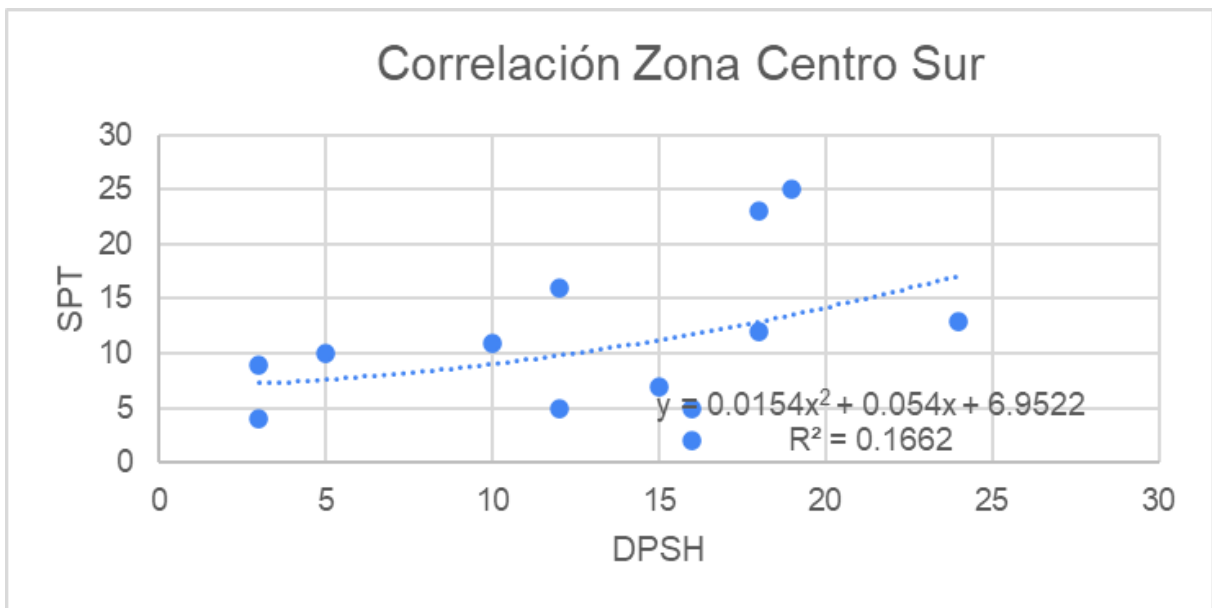


Gráfico 4.3: Zona Centro Sur - Correlación simple

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 103 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4.5.3- Correlación promedio por zonas

Con el objetivo de obtener resultados más representativos se realizó un promedio entre los números de golpes más cercanos a las profundidades características:

Tabla 4.5: Zona Centro Norte - Correlación promedio

Zona centro norte			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	1	12	3
	3	30	19
	4	35	20
2	2	14	6
	3	7	5
	5	14	3
	6	3	6
	8	7	10
3	2	20	18
	3	28	27
4	1	7	5
	3	23	12
	5	21	11
	7	29	14
	9	30	17
5	2	23	24
	3	10	22
	5	19	26
6	1	3	7
	3	5	4
	5	10	11
	6	25	2
7	1	2	4
	3	11	3
	5	14	1

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 104 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	6	6	5
	7	11	1
8	2	11	7
	3	12	20
9	2	3	2
	3	3	1
	5	6	1
	6	5	6
	8	12	6
	9	20	22
	11	29	20
12	40	21	

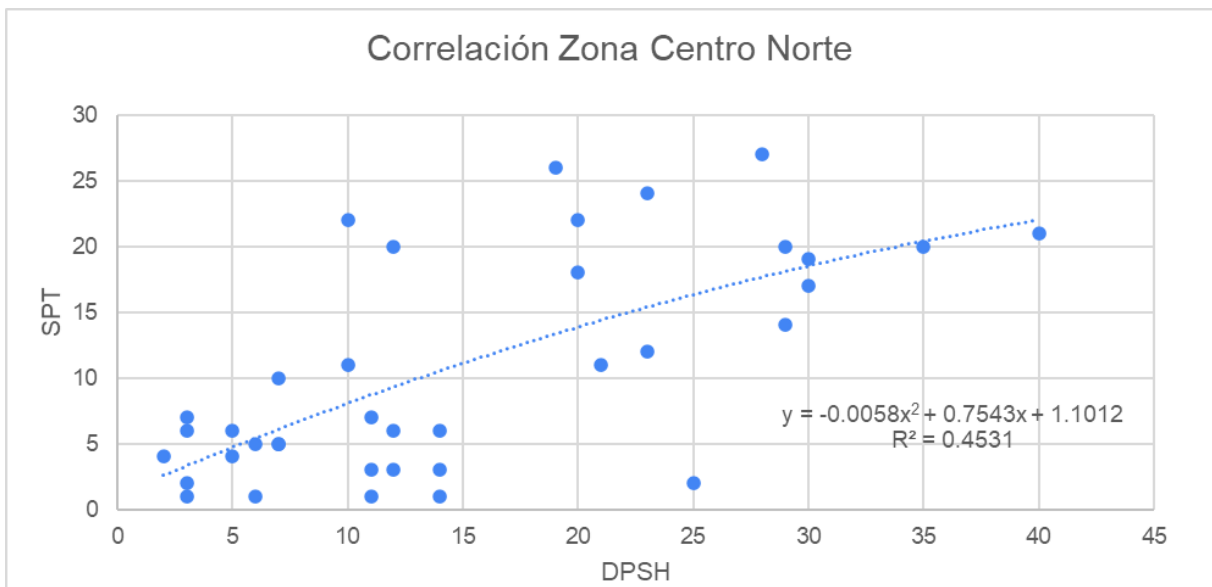


Gráfico 4.4: Zona Centro Norte - Correlación promedio

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 105 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.6: Zona Sur - Correlación promedio

Zona Sur			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	1	7	2
	3	8	4
	5	19	8
	6	20	11
	8	25	14
	9	33	20
	11	42	25
2	2	7	3
	3	23	8
	5	11	7
	6	15	12
	8	23	15
	9	28	18
	11	42	20
3	1	13	3
	3	8	8
4	2	9	6
	3	9	7
	5	15	6
	6	12	10
	8	19	15
	9	17	18
	11	47	30
	12	50	37
5	2	9	2
	3	6	4
	5	19	12
	6	13	8
	8	18	22
	9	16	9
	11	44	20

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 106 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6	2	7	3
	3	6	4
	5	18	17
	6	9	2
	8	10	2
	9	30	7
	11	34	17
	12	40	21

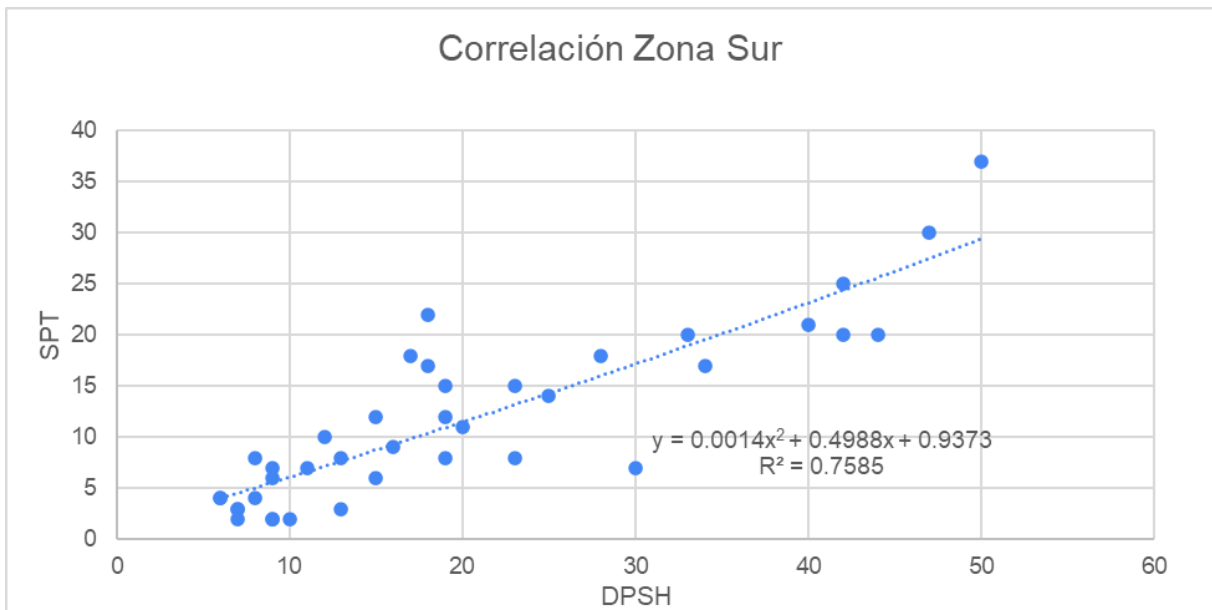


Gráfico 4.5: Zona Sur - Correlación promedio

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 107 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.7: Zona Centro Sur - Correlación promedio

Zona centro sur			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	2	17	16
	3	15	7
	5	14	5
	6	16	2
	8	23	25
	9	18	23
2	1	3	9
	3	3	4
	4	5	10
	6	10	11
3	2	16	12
	3	16	5
	5	22	13

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 108 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

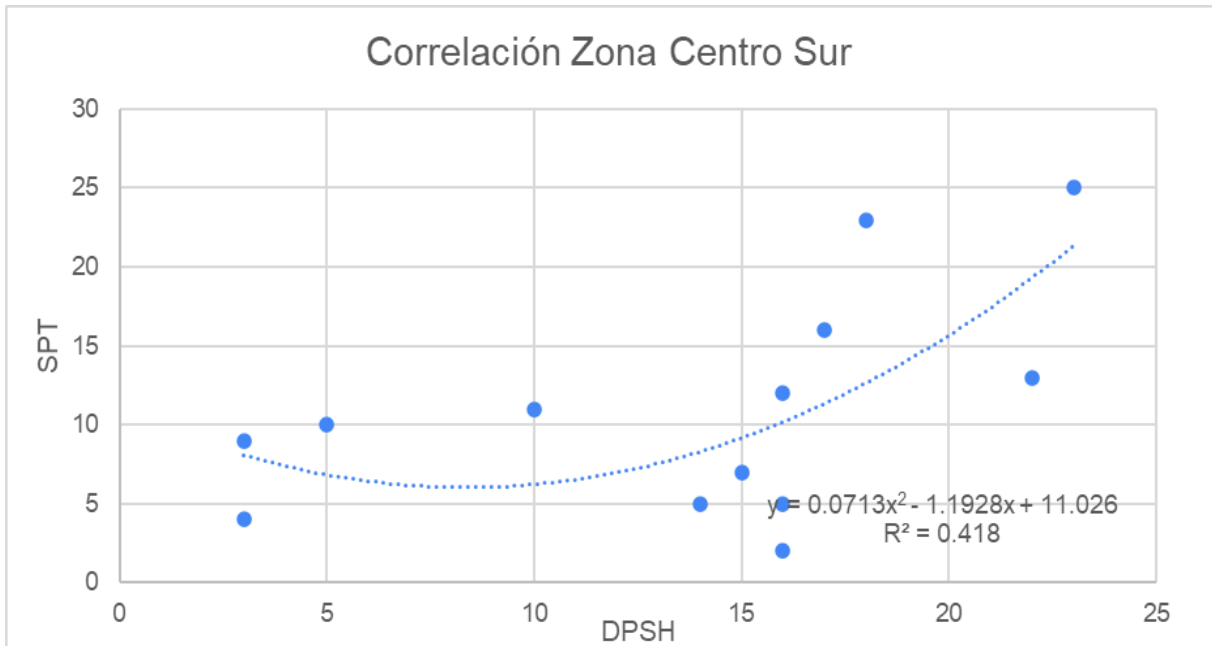


Gráfico 4.6: Zona Centro Sur - Correlación promedio

4.5.4- Correlación por interpolación lineal por zonas

Al igual que en el caso anterior, con el objetivo de seguir profundizando las aproximaciones, es que se realizó una correlación por interpolación simple lineal de las profundidades, bajo la siguiente fórmula:

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0)$$

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 109 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.8: Interpolación lineal

Interpolación lineal	
x_0	y_0
x	y
x_1	y_1

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4.9: Zona Centro Norte - Correlación por interpolación

Zona centro norte			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	1	12	3
	3	30	19
	4	35	20
2	2	14	6
	3	7	5
	5	11	3
	6	3	6
	8	6	10
3	2	20	18
	3	28	27
4	1	7	5
	3	23	12

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 110 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	5	21	11
	7	30	14
	9	30	17
5	2	20	24
	3	10	22
	5	17	26
6	1	3	7
	3	5	4
	5	9	11
	6	25	2
7	1	1	4
	3	11	3
	5	14	1
	6	6	5
	7	10	1
8	2	11	7
	3	12	20
9	2	3	2
	3	3	1
	5	6	1
	6	5	6
	8	13	6
	9	20	22
	11	29	20
	12	40	21

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 111 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

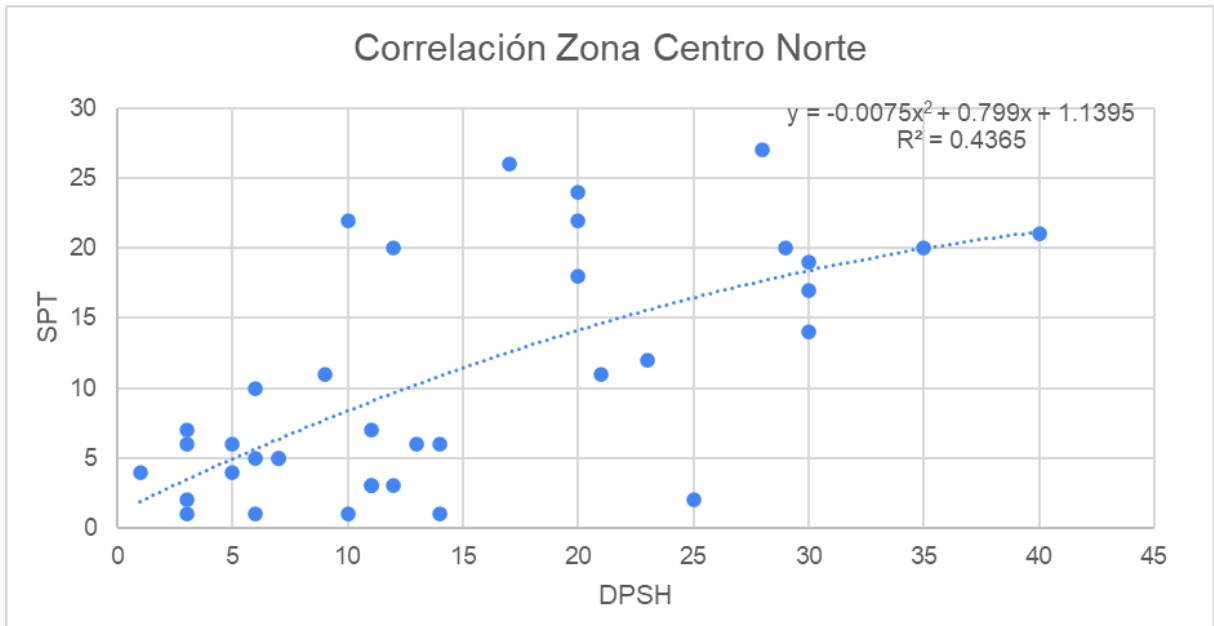


Gráfico 4.7: Zona Centro Norte - Correlación por interpolación

Tabla 4.10: Zona Sur - Correlación por interpolación

Zona Sur			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	1	7	2
	3	8	4
	5	19	8
	6	20	11
	8	25	14
	9	32	20
	11	43	25
2	2	6	3
	3	23	8
	5	10	7
	6	15	12

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 112 de 197
<p>DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA</p>		



	8	23	15
	9	28	18
	11	43	20
3	1	12	3
	3	8	8
4	2	8	6
	3	9	7
	5	58,5	6
	6	12	10
	8	18	15
	9	17	18
	11	48	30
5	2	9,5	2
	3	6	4
	5	18,5	12
	6	13	8
	8	17	22
	9	16	9
	11	47	20
6	2	7	3
	3	6	4
	5	21	17
	6	9	2
	8	9	2
	9	30	7
	11	35	17
12	40	21	

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 113 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

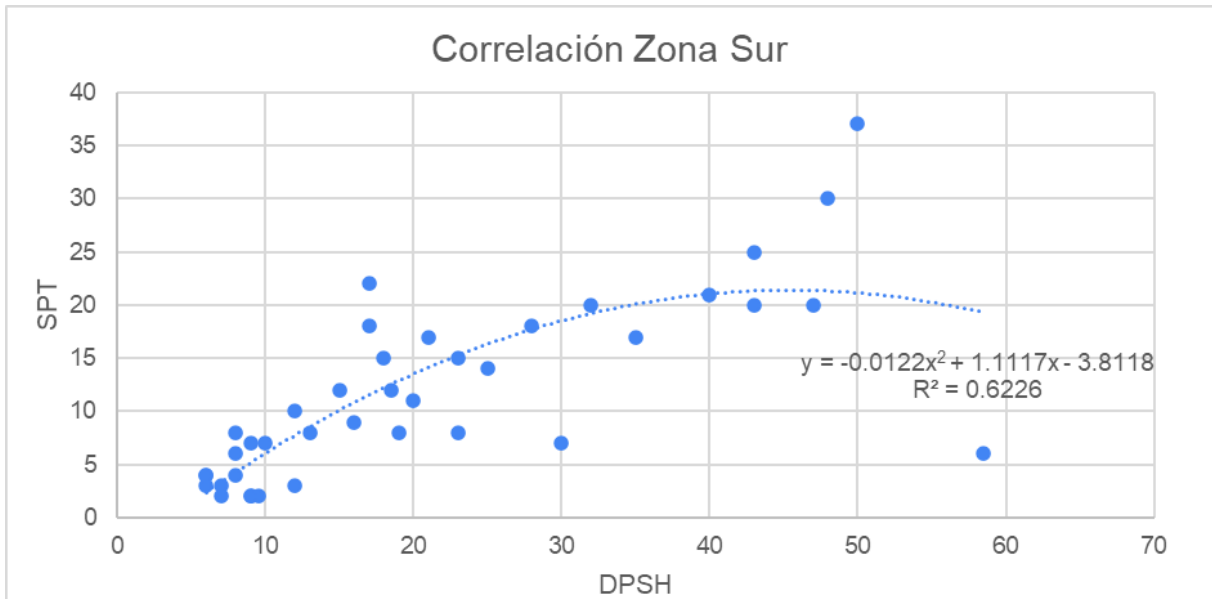


Gráfico 4.8: Zona Sur - Correlación por interpolación

Tabla 4.11: Zona Centro Sur - Correlación por interpolación

Zona centro sur			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	2	17	16
	3	15	7
	5	13	5
	6	16	2
	8	22	25
	9	18	23
2	1	3	9
	3	3	4
	4	5	10
	6	10	11
3	2	17	12

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 114 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	3	16	5
	5	23	13

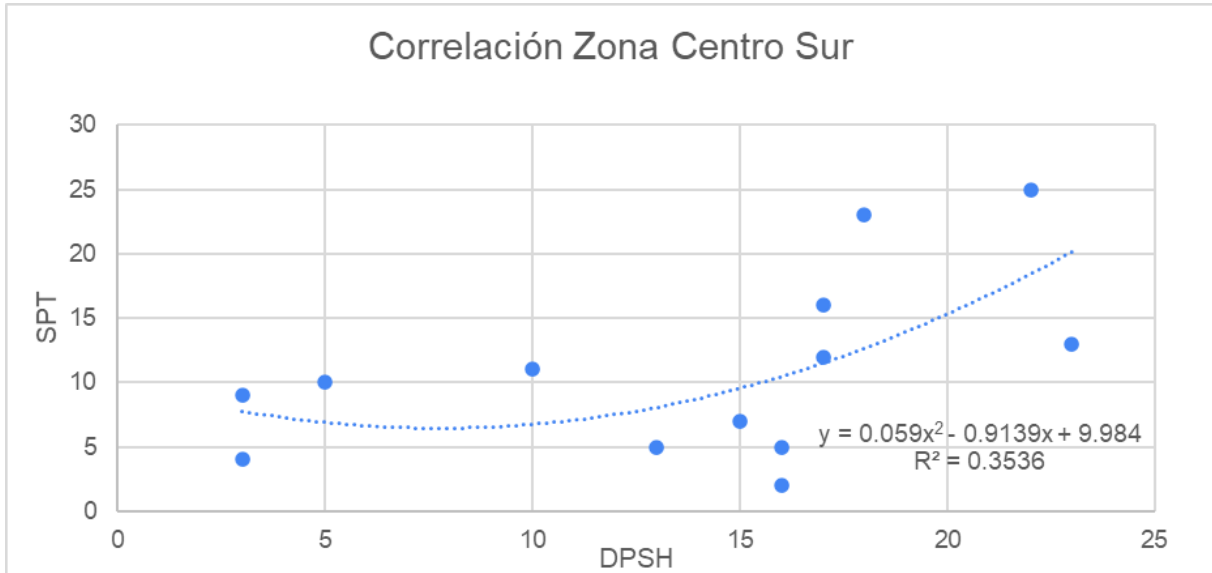


Gráfico 4.9: Zona Centro Sur - Correlación por interpolación

4.5.4.1- Tabla de resultados

Tabla 4.12: Tabla de resultados - Comparación por zona por tipo de correlación

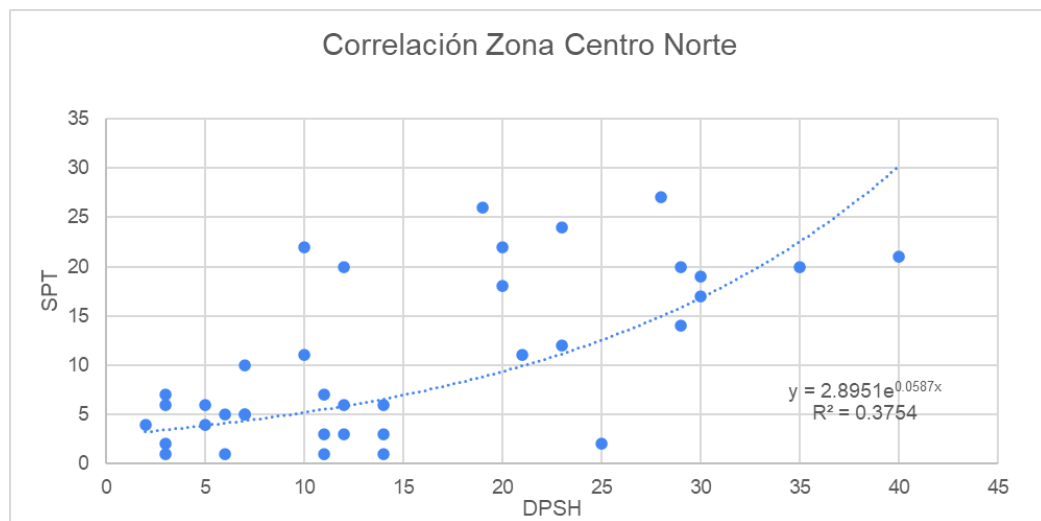
	Zona centro norte	Zona sur	Zona centro sur
Correlación simple	$R^2 = 0.3791$	$R^2 = 0.7607$	$R^2 = 0.1662$
Correlación promedio	$R^2 = 0.4531$	$R^2 = 0.7585$	$R^2 = 0.418$
Correlación int. lineal	$R^2 = 0.4365$	$R^2 = 0.6226$	$R^2 = 0.3536$

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 115 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



A partir de los resultados que se exponen en la *Tabla 21* es que se continuará trabajando a partir de la correlación promedio dada que es la que mejor se aproxima en la mayoría de los casos.

4.5.5- Aproximación exponencial en correlación promedio



Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 116 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Gráfico 4.10: Correlación Zona Centro Norte - Exponencial

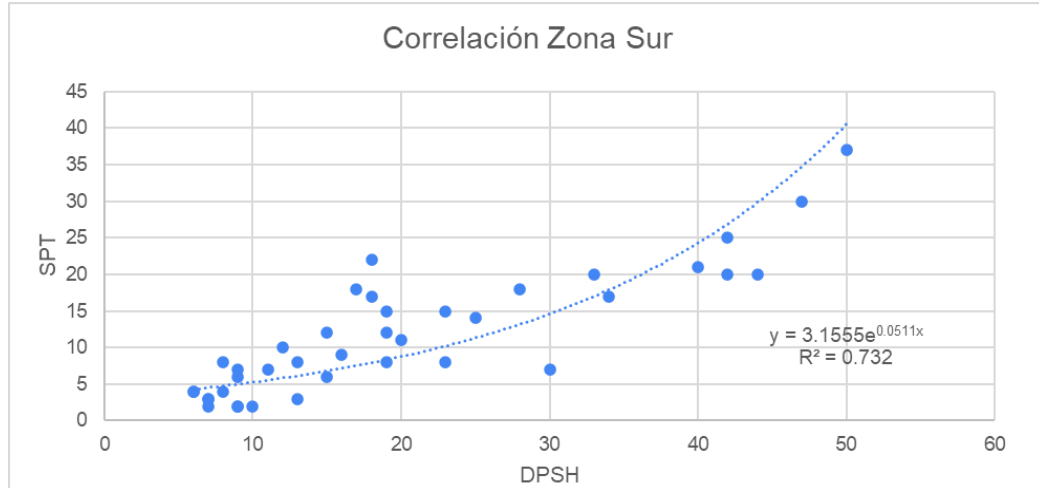
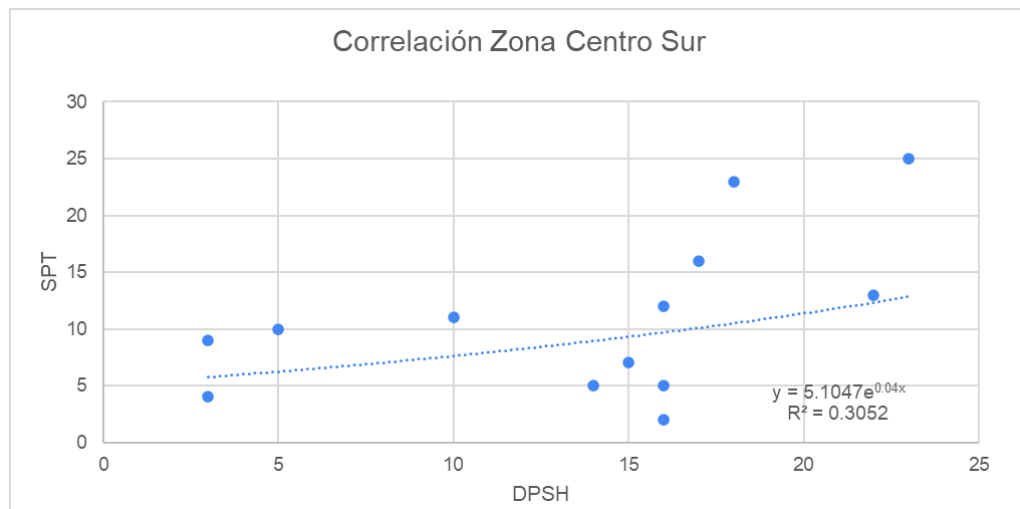


Gráfico 4.11: Correlación Zona Sur - Exponencial



Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 117 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Gráfico 4.12: Correlación Zona Centro Sur - Exponencial

4.5.5.1- Tabla de resultados

A continuación se expondrá la comparativa entre las aproximaciones exponenciales y cuadráticas para la correlación promedio:

Tabla 4.13: Tabla de resultados - Comparación por zona por tipo de aproximación

	Zona Centro Norte	Zona Sur	Zona Centro Sur
Aproximación cuadrática	$R^2 = 0.4531$	$R^2 = 0.7585$	$R^2 = 0.418$
Aproximación exponencial	$R^2 = 0.3754$	$R^2 = 0.732$	$R^2 = 0.3052$

4.5.6- Correlación promedio por profundidad

Tabla 4.14: Zona Centro Norte - Profundidades de 0 - 3 [m]

Zona centro norte (0-3 m)			
	Prof [m]	X[DPSH]	Y[SPT]
1	1	12	3
	3	30	19
2	2	14	6
	3	7	5
3	2	20	18
	3	28	27
4	1	7	5
	3	23	12
5	2	23	24
	3	10	22

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 118 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6	1	3	7
	3	5	4
7	1	2	4
	3	11	3
8	2	11	7
	3	12	20
9	2	3	2
	3	3	1

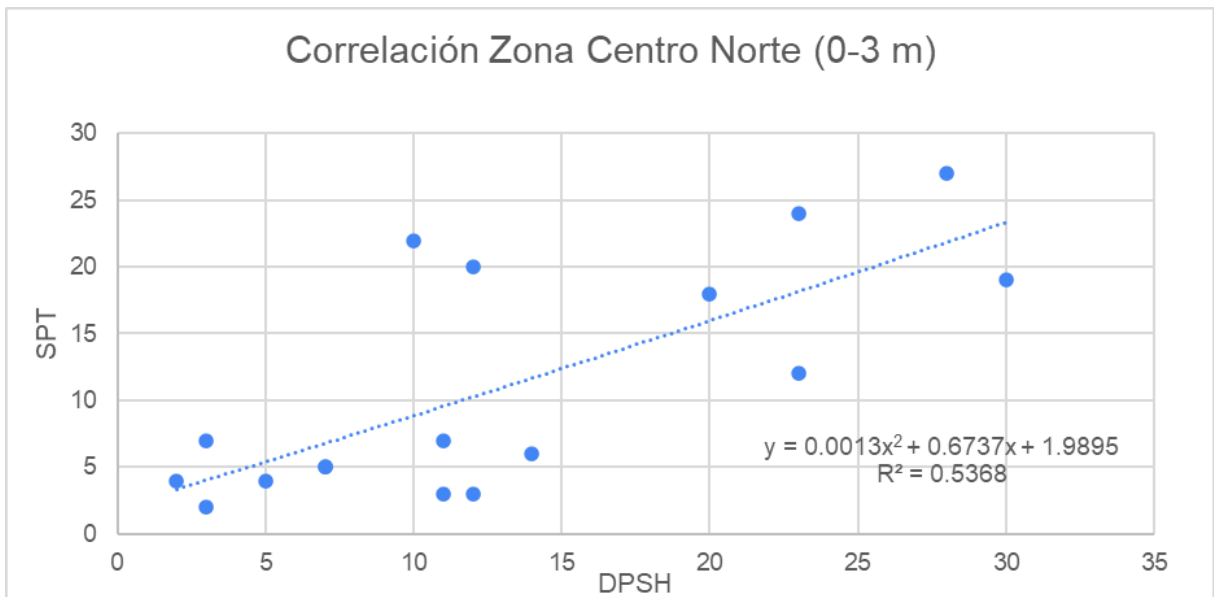


Gráfico 4.13: Zona Centro Norte - Profundidades de 0 - 3 [m]

Tabla 4.15: Zona Centro Norte - Profundidades de 3 - 6 [m]

Zona centro norte (3-6 m)			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y[SPT]
1	4	35	20
	5	14	3
2	6	3	6

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 119 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4	5	21	11
5	5	19	26
6	5	10	11
	6	25	2
7	5	14	1
	6	6	5
9	5	6	1
	6	5	6

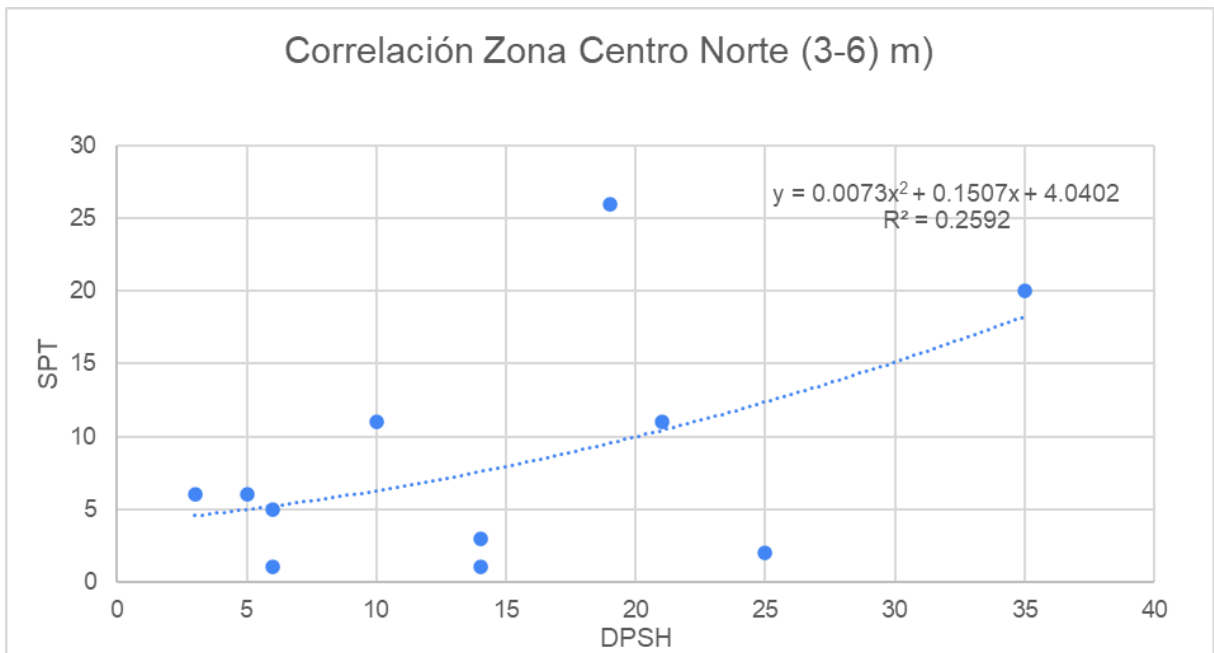


Gráfico 4.14: Zona Centro Norte - Profundidades de 3 - 6 [m]

Tabla 4.16: Zona Centro Norte - Profundidades de 6 - 9 [m]

Zona centro norte (6-9 m)			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
2	8	7	10

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 120 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4	7	29	14
	9	30	17
7	7	11	1
9	8	12	6
	9	20	22

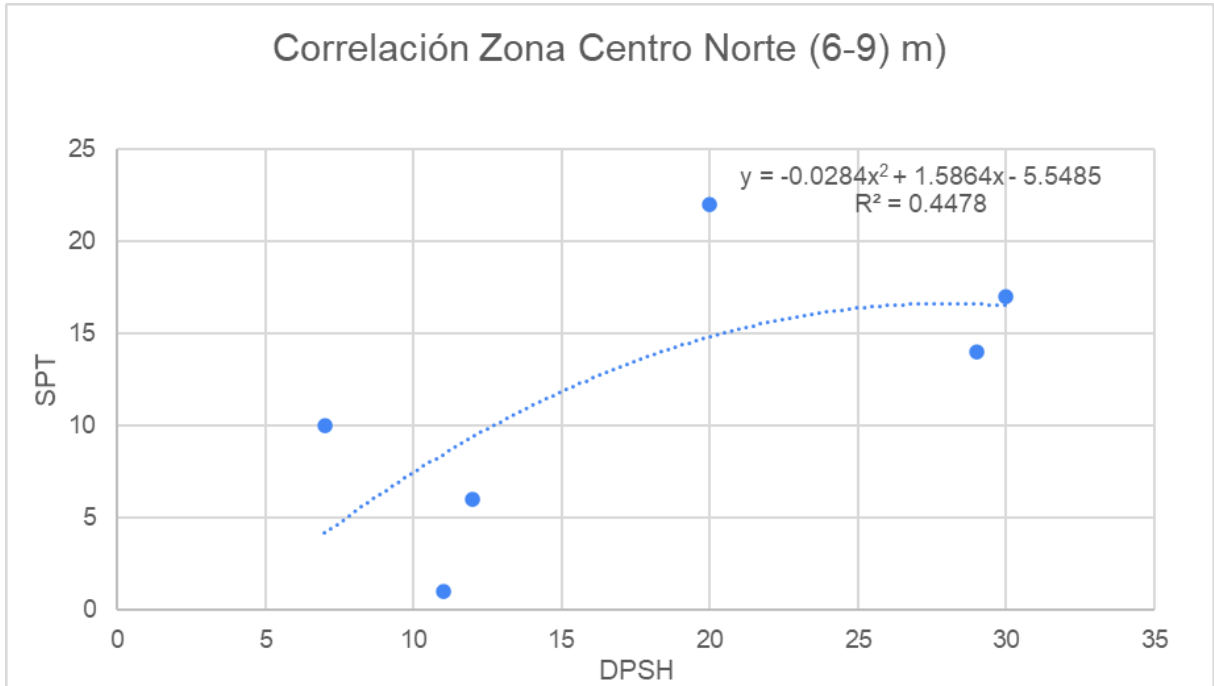


Gráfico 4.15: Zona Centro Norte - Profundidades de 6 - 9 [m]

Tabla 4.17: Zona Sur - Profundidades de 0 - 3 [m]

Zona Sur (0-3 m)			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	1	7	2
	3	8	4
	2	7	3

2

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 121 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	3	23	8
3	1	13	3
	3	8	8
4	2	9	6
	3	9	7
5	2	9	2
	3	6	4
6	11	44	20
	2	7	3

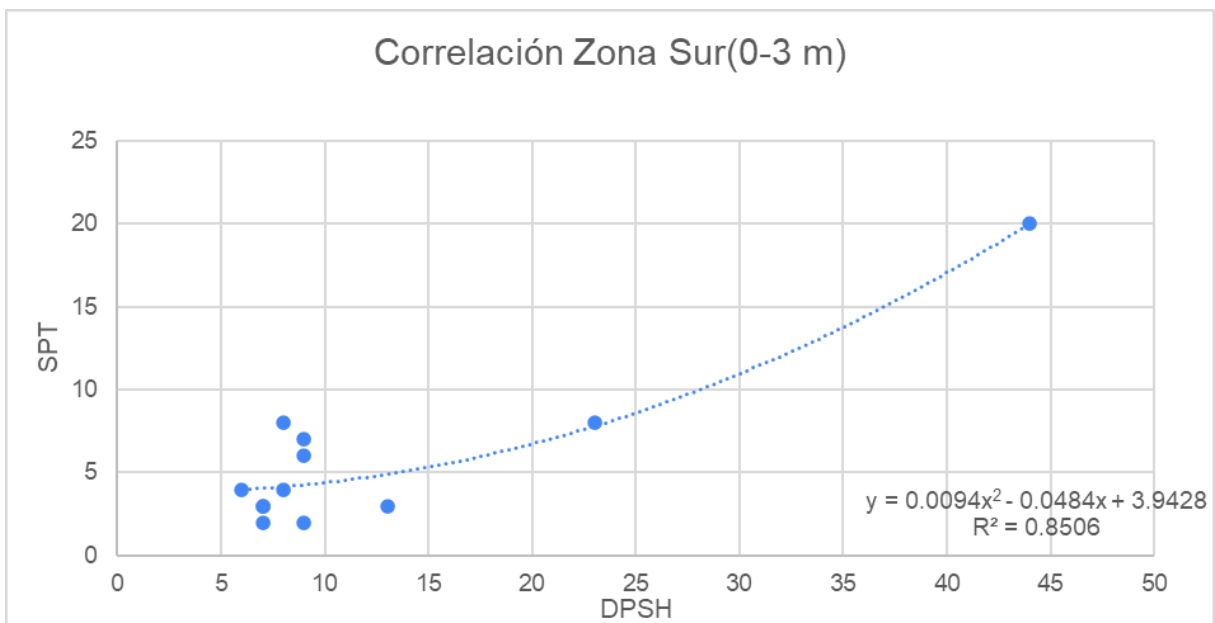


Gráfico 4.16: Zona Sur - Profundidades de 0 - 3 [m]

Tabla 4.18: Zona Sur - Profundidades de 3 - 6 [m]

Zona Sur (3-6 m)			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
	5	19	8

1

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 122 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



	6	20	11
2	5	11	7
	6	15	12
4	5	15	6
	6	12	10
5	5	19	12
	6	13	8
6	3	6	4
	5	18	17

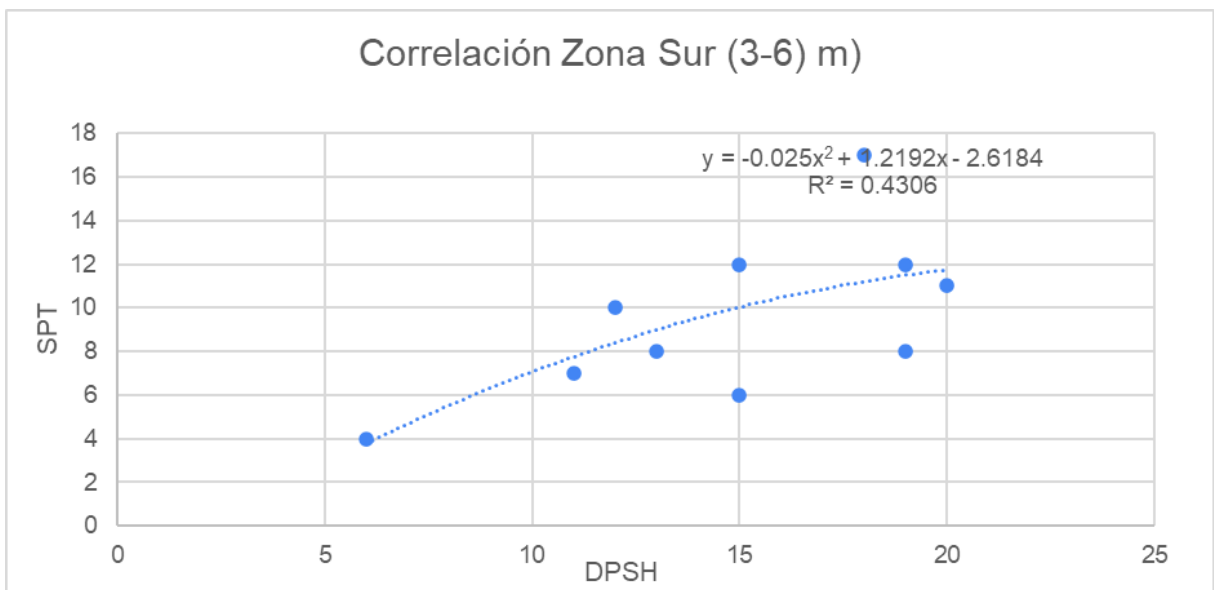


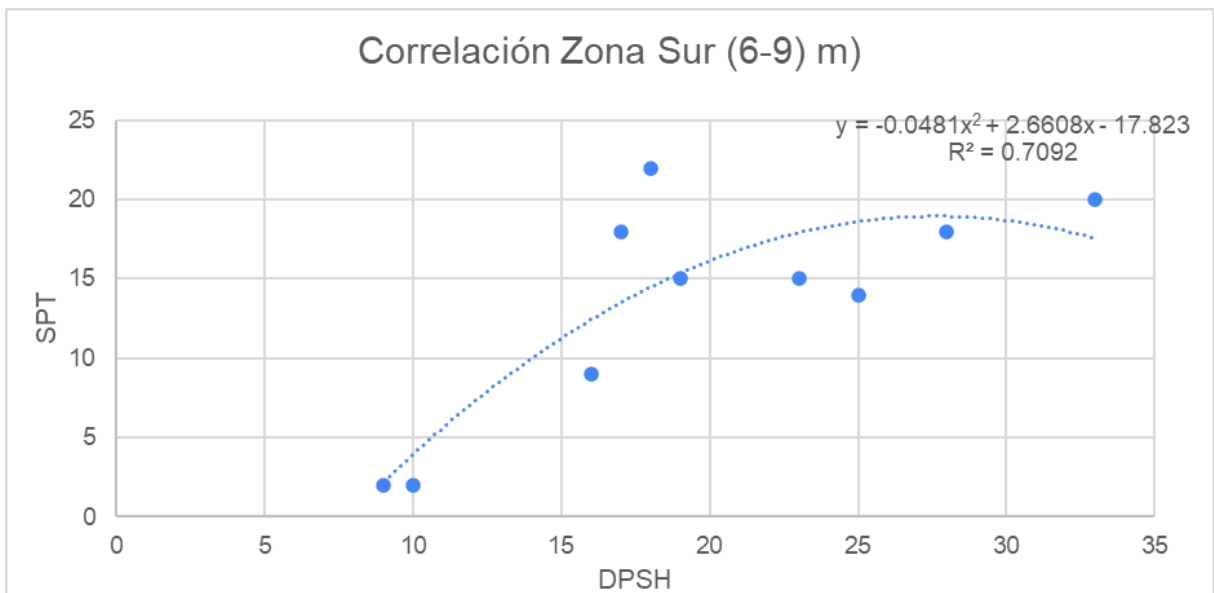
Gráfico 4.17: Zona Sur - Profundidades de 3 - 6 [m]

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 123 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.19: Zona Sur - Profundidades de 6 - 9 [m]

Zona Sur(6-9 m)			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	8	25	14
	9	33	20
2	8	23	15
	9	28	18
4	8	19	15
	9	17	18
5	8	18	22
	9	16	9
6	6	9	2
	8	10	2



Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 124 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Gráfico 4.18: Zona Sur - Profundidades de 6 - 9 [m]

Tabla 4.20: Zona Centro Sur - Profundidades de 0 - 3 [m]

Zona Centro Sur (0-3 m)			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	2	17	16
	9	18	23
2	1	3	9
	6	10	11
3	2	16	12

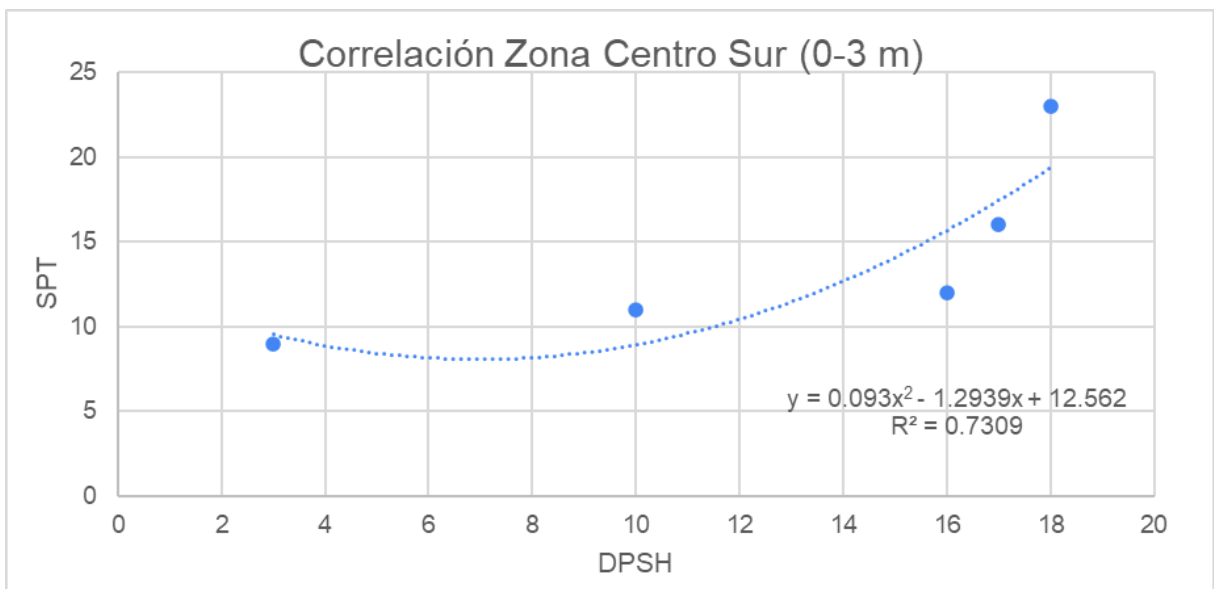


Gráfico 4.19: Zona Centro Sur - Profundidades de 0 - 3 [m]

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 125 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.21: Zona Centro Sur - Profundidades de 3 - 6 [m]

Zona Centro Sur (3-6 m)			
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]
1	3	15	7
	5	14	5
2	3	3	4
	4	5	10
3	3	16	5

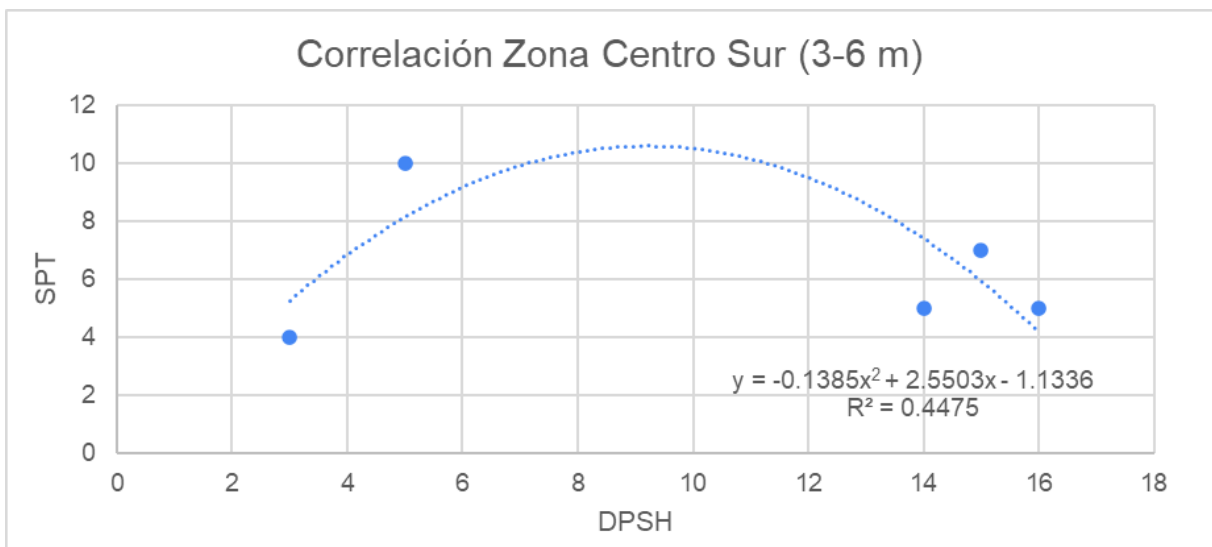


Gráfico 4.20: Zona Centro Sur - Profundidades de 3 - 6 [m]

4.5.7- Correlación cuadrática por zona filtrando datos

Con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos anteriormente, se ejecutó un filtrado de datos, eliminando aquellos valores que tuvieran una desviación ± 6 .

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 126 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



A las muestras descartadas se le pueden atribuir errores de ejecución, errores de apreciación y errores de puesta a punto del equipo.

Tabla 4.22: Zona Centro Norte - Correlación promedio con filtrado

Zona centro norte				
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]	Y' [SPT]
1	1	12	3	6,32
	3	30	19	-0,49
	4	35	20	0,40
2	2	14	6	4,52
	3	7	5	1,10
	5	14	3	7,52
	6	3	6	-2,69
	8	7	10	-3,90
3	2	20	18	-4,13
	3	28	27	-9,33
4	1	7	5	1,10
	3	23	12	3,38
	5	21	11	3,38
	7	29	14	4,10
	9	30	17	1,51
5	2	23	24	-8,62
	3	10	22	-13,94
	5	19	26	-12,66
6	1	3	7	-3,69
	3	5	4	0,73
	5	10	11	-2,94
	6	25	2	14,33
7	1	2	4	-1,41
	3	11	3	5,70
	5	14	1	9,52
	6	6	5	0,42
	7	11	1	7,70

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 127 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



8	2	11	7	1,70
	3	12	20	-10,68
9	2	3	2	1,31
	3	3	1	2,31
	5	6	1	4,42
	6	5	6	-1,27
	8	12	6	3,32
	9	20	22	-8,13
	11	29	20	-1,90
	12	40	21	0,99

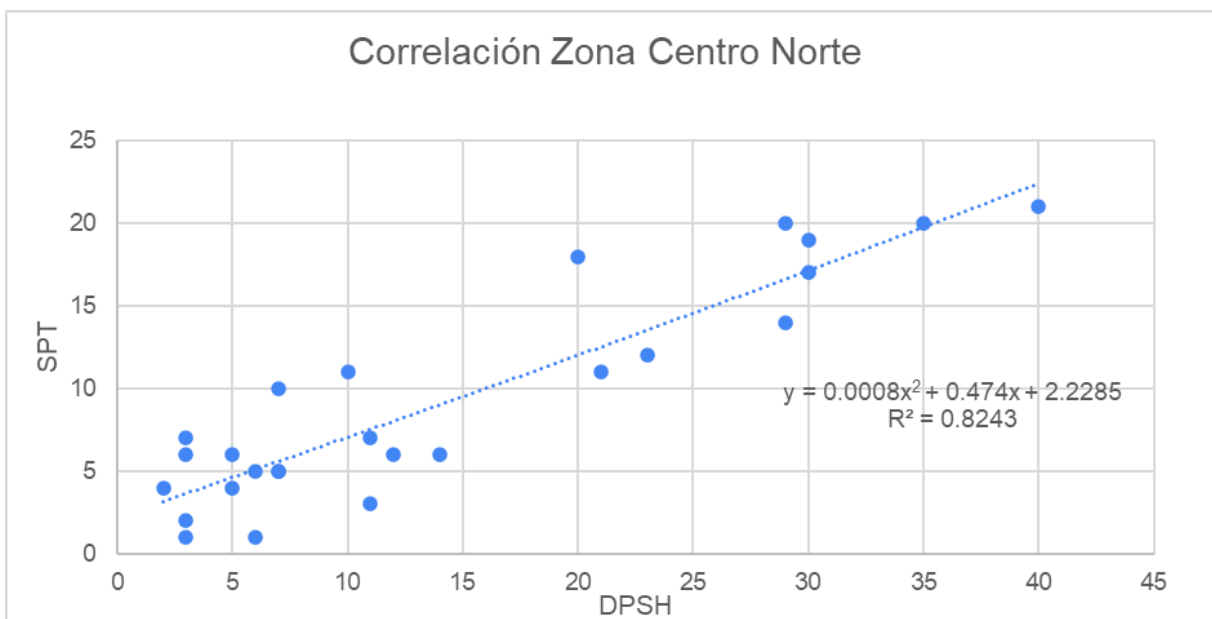


Gráfico 4.21: Zona Centro Norte - Correlación promedio con filtrado

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 128 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.23: Zona Sur - Correlación promedio con filtrado

Zona Sur				
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]	Y' [SPT]
1	1	7	2	2,50
	3	8	4	1,02
	5	19	8	2,92
	6	20	11	0,47
	8	25	14	0,28
	9	33	20	-1,08
	11	42	25	-0,64
2	2	7	3	1,50
	3	23	8	5,15
	5	11	7	-0,41
	6	15	12	-3,27
	8	23	15	-1,85
	9	28	18	-2,00
	11	42	20	4,36
3	1	13	3	4,66
	3	8	8	-2,98
4	2	9	6	-0,46
	3	9	7	-1,46
	5	15	6	2,73
	6	12	10	-2,88
	8	19	15	-4,08
	9	17	18	-8,18
	11	47	30	-2,53
	12	50	37	-7,62
5	2	9	2	3,54
	3	6	4	-0,02
	5	19	12	-1,08
	6	13	8	-0,34
	8	18	22	-11,63
	9	16	9	0,28
	11	44	20	5,59

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 129 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6	2	7	3	1,50
	3	6	4	-0,02
	5	18	17	-6,63
	6	9	2	3,54
	8	10	2	4,07
	9	30	7	10,16
	11	34	17	2,51
	12	40	21	2,13

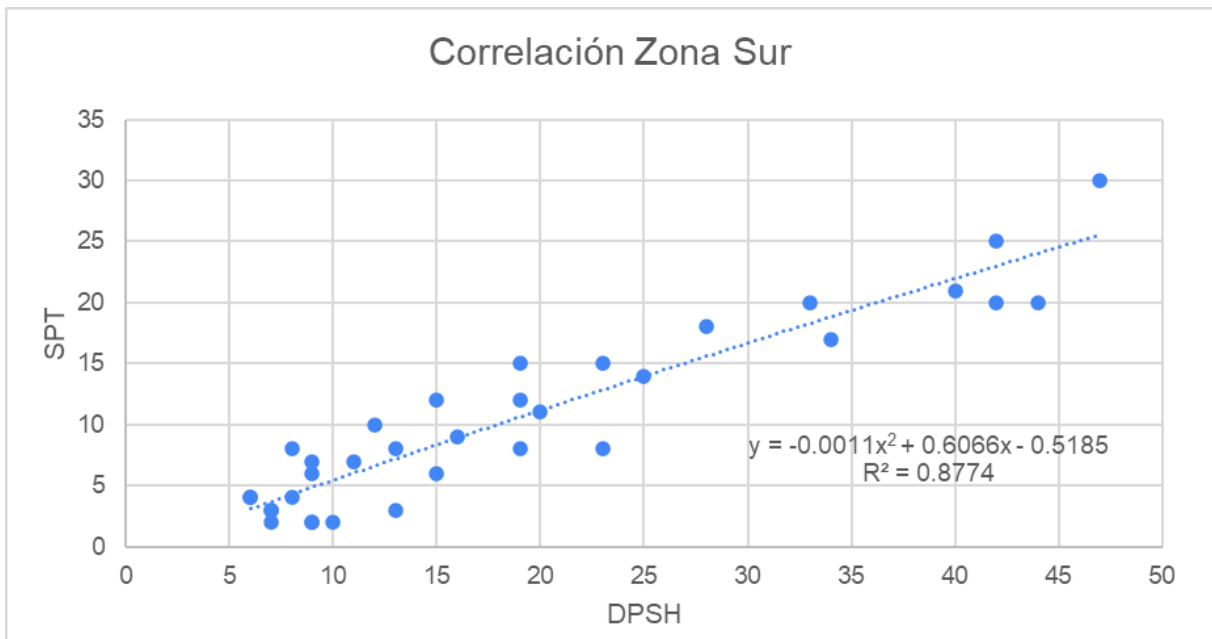


Gráfico 4.22: Zona Sur - Correlación promedio con filtrado

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 130 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Tabla 4.24: Zona Centro Sur - Correlación promedio con filtrado

Zona centro sur				
	Prof [m]	X [DPSH]	Y [SPT]	Y' [DPSH]
1	2	17	16	-4,65
	3	15	7	2,18
	5	14	5	3,30
	6	16	2	8,19
	8	23	25	-3,69
	9	18	23	-10,34
2	1	3	9	-0,91
	3	3	4	4,09
	4	5	10	-3,16
	6	10	11	-4,77
3	2	16	12	-1,81
	3	16	5	5,19
	5	22	13	6,29

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 131 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		

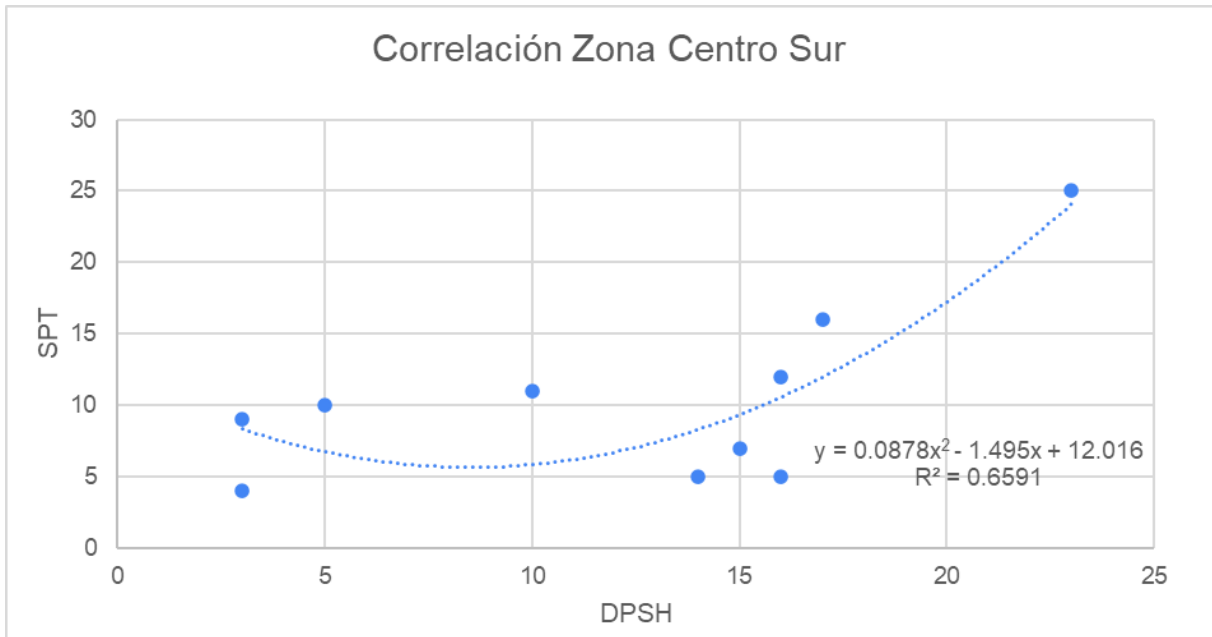


Gráfico 4.23: Zona Centro Sur - Correlación promedio con filtrado

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 132 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4.5.7.1- Tabla resumen

A continuación se muestran comparativamente los valores de R^2 para las muestras sin filtrar y aquellas a las que si se les ha aplicado las consideraciones anteriormente descritas.

Tabla 4.25: Tabla resumen - Comparación por zonas por correlación filtrada y no filtrada

	Zona centro norte	Zona sur	Zona centro sur
Sin filtrar	$R^2 = 0.4531$	$R^2 = 0.7585$	$R^2 = 0.418$
Con filtrado	$R^2 = 0.8243$	$R^2 = 0.8774$	$R^2 = 0.6591$

A partir de los valores obtenidos en la *Tabla 34* se puede apreciar que mediante el “filtrado de datos” aumentan considerablemente los valores del coeficiente de determinación R^2 .

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 133 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4.6- Recomendaciones y conclusiones

Con el objetivo de darle un cierre a dicho trabajo final, se mencionan algunas recomendaciones y conclusiones que surgen de nuestra experiencia investigando acerca de los temas mencionados y de un profundo análisis estadístico.

Las observaciones siguientes resaltan los aspectos favorables y desfavorables identificados en la adaptación de la correlación. Mientras que las sugerencias se centran en nuestra propuesta para abordar las limitaciones y desafíos identificados.

- 1) El estudio geotécnico antes de comenzar a ejecutar cualquier obra civil es fundamental no solamente para poder conocer el tipo de suelo y su capacidad portante, sino también para poder identificar cualquier tipo de suelos problemáticos como pueden ser los suelos colapsibles, arcillas expansibles y demás.
- 2) En nuestro país muchas veces se considera el estudio de suelo como “un gasto”, en el cual la empresas constructoras buscan ahorrar los máximo posible, sin embargo bajo este análisis no se tiene en cuenta que mediante un buen estudio de suelo se puede ahorrar mucho dinero en cuanto a la cantidad de armadura a colocar en las cimentaciones, además de los posibles “dolores de cabeza” que se pueden evitar en el futuro.
- 3) La prueba de SPT se lleva a cabo principalmente en suelos granulares, como las arenas; no obstante, para suelos arcillosos plantea considerables desafíos en términos de interpretación. Del mismo modo, en suelos que contienen gravas, se debe prestar atención a la posible influencia que ejerce el tamaño de las partículas del suelo.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 134 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- 4) La sistematización de los ensayos realizados y las técnicas utilizadas pueden contribuir a la mejora de los resultados obtenidos a través de dos enfoques: en primer lugar, evaluar la energía real aplicada en condiciones locales de ejecución del ensayo, lo que facilita la generación de factores de ajuste personalizados. Por otro lado, esta misma medición puede ser empleada para evaluar diversas metodologías y equipos, con el fin de seleccionar la mejor opción para optimizar los ensayos. Además, en el caso de utilizar el mismo equipo y metodología, es posible analizar la eficacia de los diferentes componentes y su posible impacto en los resultados.
- 5) Desde el punto de vista estadístico se analizaron 39 estudios de suelos, con un total de 18 SPT y 21 DPSH, agrupados en 3 grandes zonas de la provincia de Córdoba. Las técnicas de ejecución de los ensayos fueron las mismas sin embargo existen distintos tipo de errores que pueden afectar a los resultados, es por ello que se decidió no considerar algunos valores que tenían una gran dispersión con respecto a la media.
- 6) Es importante mencionar que el número de golpes del ensayo SPT estaban discretizado cada 1 metro de profundidad, mientras que el número de golpes del ensayo DPSH estaban discretizado cada 20 cm de profundidad. En base a ello se emplearon 3 métodos para poder correlacionar, el primero fue un promedio entre el número de golpes de los 2 estratos más próximos, el segundo método fue una interpolación y el último se basó en tomar el valor más cercano entre ambos. Finalmente el método que arrojó mejores resultados fue el promedio, por lo cual se continuó el análisis estadístico empleando el mismo.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 135 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



7) En primera instancia se correlacionaron los estudios por zona, mediante el uso de una regresión cuadrática, teniendo en cuenta todos los datos y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Zona Centro Norte:

$$SPT = -0,0058 DPSH^2 + 0,7543 DPSH + 1,1012$$

$$R^2 = 0,4531$$

En este caso al obtener un coeficiente de determinación $<0,7$ es posible concluir que la correlación no es tan buena y que para obtener mejores resultados habría que eliminar algunos datos con gran dispersión o realizar más estudios de suelo en dicha zona.

- Zona Sur:

$$SPT = 0,0014 DPSH^2 + 0,4988 DPSH + 0,9373$$

$$R^2 = 0,7585$$

En este caso al obtener un coeficiente de determinación $>0,7$ es posible decir que la correlación es buena y que podría empezar a ver si en la práctica realmente funciona dicha ecuación.

- Zona Centro Sur:

$$SPT = 0,0713 DPSH^2 - 1,1928 DPSH + 11,026$$

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 136 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$R^2 = 0,418$$

En este caso al obtener un coeficiente de determinación $<0,7$ se obtiene una correlación que no es buena y que para obtener mejores resultados habría que eliminar algunos datos con gran dispersión o realizar más estudios de suelo en dicha zona.

8) Luego con el objetivo de obtener mejores resultados, se decidió utilizar una regresión exponencial. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Zona Centro Norte:

$$SPT = 1,8951 e^{0,0587 x}$$

$$R^2 = 0,3754$$

En este caso al obtener un coeficiente de determinación $<0,7$ se puede decir que la correlación no es buena e incluso es peor que la regresión cuadrática.

- Zona Sur:

$$SPT = 3,1555 e^{0,0511 x}$$

$$R^2 = 0,732$$

En este caso se obtiene un coeficiente de determinación $<0,7$ por lo que, y como ya se ha mencionado, no es bueno.

- Zona Centro Sur:

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 137 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$SPT = 5,1047 e^{0,04x}$$

$$R^2 = 0,3052$$

En este caso al obtener un coeficiente de determinación $<0,7$ se puede concluir que la correlación no es buena e incluso es peor que la regresión cuadrática.

9) Después de haber obtenido resultados peores que mediante la regresión cuadrática, se decidió seguir trabajando con la regresión cuadrática y perfeccionarla. Para ello como se mencionó anteriormente se decidió eliminar algunos valores que tenían una gran dispersión con respecto a la media. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Zona Centro Norte:

$$SPT = -0,0008 DPSH^2 + 0,474 DPSH + 2,2285$$

$$R^2 = 0,8243$$

Para este caso podemos ver que el coeficiente de determinación casi que se duplicó, por lo cual en este caso la correlación comienza a ser buena, sin embargo habría que verificar en la práctica si los resultados coinciden

- Zona Sur:

$$SPT = -0,0011 DPSH^2 + 0,6066 DPSH - 0,5185$$

$$R^2 = 0,8774$$

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 138 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



En este caso al obtener un coeficiente de determinación casi perfecto, por lo cual sería muy apropiado emplear esta ecuación en dicha zona

- Zona Centro Sur:

$$SPT = 0,1158 DPSH^2 - 2,2812 DPSH + 16,305$$

$$R^2 = 0,6591$$

En dicha zona si bien aumentó considerablemente el coeficiente de determinación mediante la filtración de datos y se obtuvo un valor muy elevado del mismo, no se cuenta con una gran cantidad de datos, por lo cual se recomienda en un futuro aumentar la cantidad de datos analizados

Para concluir el análisis estadístico se decidió correlacionar los datos por zona y por profundidad. Para ello se definieron 4 intervalos de profundidad:

- De 0-3 m
- De 3-6 m
- De 6-9 m
- De 9 m en adelante
- Zona Centro Norte:

- De 0-3 m

$$SPT = 0,0013DPSH^2 + 0,6737 DPSH + 1,9895$$

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 139 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$R^2 = 0,5368$$

En esta profundidad podemos decir que la correlación no es tan buena debido a que contamos con un coeficiente de determinación inferior a 0,7

- De 3-6 m

$$SPT = 0,0073 DPSH^2 + 0,1507 DPSH + 4,0402$$

$$R^2 = 0,2592$$

En este rango de profundidad podemos decir que la correlación es muy mala ya que tenemos un coeficiente de determinación muy bajo.

- De 6-9 m en adelante

$$SPT = -0,0284 DPSH^2 + 1,5864 DPSH - 5,5485$$

$$R^2 = 0,4478$$

Luego de analizar las correlaciones para esta zona por rango de profundidades podemos decir que los resultados obtenidos no son buenos, esto se debe principalmente a que al colocar 2 condiciones en la correlación quedamos con muy pocos datos, por esto se tiene esa gran dispersión.

- Zona Sur:

- De 0-3 m

$$SPT = 0,0094 DPSH^2 - 0,0484 DPSH + 3,9428$$

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 140 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



$$R^2 = 0,8506$$

En este caso la correlación podemos decir que es buena, como lo venía siendo para dicha zona

- De 3-6 m

$$SPT = -0,025DPSH^2 + 1,2192DPSH - 2,6184$$

$$R^2 = 0,4306$$

En este rango de profundidad podemos decir que la correlación va disminuyendo y deja de ser buena.

- De 6-9 m en adelante

$$SPT = -0,0481DPSH^2 + 2,6608DPSH - 17,823$$

$$R^2 = 0,7092$$

Muy similar al rango de profundidades anterior, ya que la correlación deja de ser buena debido principalmente a la pequeña cantidad de datos de la que se dispone.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 141 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



- Zona Centro Sur:
 - De 0-3 m

$$SPT = 0,093 DPSH^2 - 1,2939 DPSH + 12,562$$

$$R^2 = 0,7309$$

Para este rango de profundidades podemos decir que la correlación es buena, sin embargo se requieren más cantidad de estudios para obtener mejores resultados

- De 3-6 m

$$SPT = -0,1385 DPSH^2 + 2,5503 DPSH - 1,1336$$

$$R^2 = 0,4475$$

Para este rango de profundidad se obtienen peores resultados que para el rango anterior, por lo cual al momento de trabajar en dicha zona se recomienda realizar análisis más profundos.

- De 6-9 m en adelante

Para esta zona en particular debido a la falta de datos no se pudo realizar un correcto análisis.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 142 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



5- Bibliografía

Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1980). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica* (2da ed.). El Ateneo.

Warpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Novena ed.). Pearson. 978-607-32-1417-9

Perret, H. (2015). *Estabilización de loess con silicato para uso vial*. Universidad Católica de Córdoba.

Olivares Seminario, E. y Ramírez Lozano, G. (2012). *Ajuste de la correlación de los resultados de las auscultaciones por cono de Peck con los resultados del ensayo de Penetración Estándar*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Quintana Crespo, E. (2005). *Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos*. Universidad Nacional de Córdoba.

Carpdevila, S. (2009). *Correlación del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y del ensayo Hinca Dinámica en suelos Limosos y Loessicos de Córdoba*. Universidad Católica de Córdoba.

Bolatti, A. (2019). *Ensayos de penetración SPT y DP: Teoría e implementación en la práctica profesional*. Universidad Nacional de Córdoba.

Vivar Romero, G. (01 - 05 Octubre 2007). *Aplicabilidad del “Cono Dinámico Tipo Peck”*. XVI CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL AREQUIPA – PERÚ.

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 143 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Peredo Andrade, V. y Carrasco Poll, R. (2018). Correlación entre el ensayo penetrómetro dinámico Grizzly (DPSH) y SPT en arenas potencialmente licuables del sector Punta Arenosa en la ciudad de Punta Arenas. *50 x congreso SOCHIGE*.

Cabrera, M. y Carcolé, A. (2007). Relación entre ensayos de penetración dinámica tipo SPT y DPSH. *Abstract: XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Madrid 2007*.

Dr. Ing. Redolfi, E. (2007). Suelos colapsables. *Grupo Geotécnico Córdoba - Argentina*. Universidad Nacional de Córdoba.

Martino, R., Guerreschi, A., Carignano, C., Sfragulla, J. y Bonalumi, A. (2020). Mapa Geológico de la Provincia de Córdoba. *Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales*.

González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación. González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.

Das, B. M. (2013). *Fundamentals of Geotechnical Engineering* (Cuarta ed.). Cengage Learning.

E. L. Salamanca-Medina, J. J. López-Domínguez, "Ensayo de penetración dinámica súper pesada (DPSH): equivalencia para el ensayo de penetración estándar (SPT) en Colombia" *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 21 (2), pp.47-56, julio. 2021.

Ventayol, A. L., & Fernandez, C. T. (n.d.). *Medida de la energía del ensayo SPT. Correcciones a aplicar*. Ensayos y pruebas de pilotes. Retrieved August 24, 2023, from <https://www.fernandeztadeo.com/Adobe/ARTICULO%20INGEOPRES%20208.pdf>

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 144 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



Martinez Blanca, M. A. (2011, July 22). GEOTÉCNICO PARA CENTRO DE EMPRENDEDORES EN C/ NOSQUERA, MÁLAGA. CTE: GERENCIA MUNICIPAL DE URBANISMO. EXP: 14.103/11 REG: 419. Retrieved August 24, 2023, from https://www.malaga.eu/recursos/economia/vivienda/pa-12_11_estudio_geot%C3%A9cnico.pdf

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 145 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6- Anexo

6.1- Ubicación

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS MUESTRAS		
MUESTRAS		
ZONA CENTRO NORTE		
N° GRÁFICO	UBICACIÓN	R ²
GRÁFICO 1	Roma esq, Suipacha	0,9759
GRÁFICO 2	San Alfonso	0,9617
GRÁFICO 3	Barrio Pueyrredon Buchardo esq, Ana Maria Janer	0,7027
GRÁFICO 4	Los Algarrobos H1	0,8674
GRÁFICO 5	Los Algarrobos H2	0,9312
GRÁFICO 6	Achaval Rodriguez 162	0,9906
GRÁFICO 7	Valle Escondido, Las Acacias Mz 70	0,9269
GRÁFICO 8	Valle Escondido Mz 69	0,9685
GRÁFICO 9	Valle Escondido Mz 70	0,9071
GRÁFICO 10	Ruta Provincial N°4 esq, 19 de Agosto JORVIC S,A,	0,7850
ZONA CENTRO SUR		
GRÁFICO 11	Camino San Carlos 7000, COMMISSO	0,7167
GRÁFICO 12	Brasil 168	0,9858
GRÁFICO 13	Rondeau 44/45	0,8757
ZONA SUR DE LA PROVINCIA		
GRÁFICO 14	Villa Maria, Jose Ingenieros 80 H1	0,7736
GRÁFICO 15	Villa Maria, Jose Ingenieros 80 H2	0,8979

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 146 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



GRÁFICO 16	Villa Maria, Catamarca 1462	0,8366
GRÁFICO 17	Las Perdices	0,8979
GRÁFICO 18	Villa Maria, Tucuman 1138	0,9795
GRÁFICO 19	Villa Maria, Tucuman 1372 H1	0,8969
GRÁFICO 20	Villa Maria, Tucuman 1372 H2	0,9720
GRÁFICO 21	Villa Maria, Buenos Aires esq, Mitre H2	0,7717

6.2- SPT - Zona centro norte

ESTUDIOS DE SUELOS: ROMA esq, SUIPACHA - D 01 S 16 Mz 14 L 18 - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,40) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,40 - 3,00) Limo arenoso	ML	3,00	19,20	3,20	24,60	21,40	-	70
2		-	-	-	-	-	-	-	-
3	(3,00 - 6,00) Arena gruesa c/gravas	SW	19,00	6,30	NP	NP	NP	-	10
4		SW	20,00	5,10	NP	NP	NP	-	8
5		-	-	-	-	-	-	-	-
6		SW	33,00	4,20	NP	NP	NP	-	9

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 147 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: SAN ALFONSO - Mz 34 L 8 - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,50) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,50 - 9,00) Limo pardo oscuro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	6,00	17,50	3,20	25,10	21,90	-	78
3		ML	5,00	18,20	3,40	24,90	21,50	-	74
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	3,00	21,30	3,30	24,80	21,50	-	76
6		ML	6,00	20,50	3,30	24,60	21,30	-	79
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	10,00	18,60	3,40	24,00	20,60	-	80
9	(9,00) Limo arenoso rojizo cementado	ML	48,00	15,00	NP	NP	NP	-	75

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 148 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: BUCHARDO esq, ANA MARÍA JANER - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,30) Rellenos heterogéneos	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,30 - 2,70) Limo Castaño claro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	18,00	15,60	2,90	24,80	21,90	-	65
3	(2,70 - 5,00) Arena entre fina seca	SW	27,00	3,50	NP	NP	NP	-	10
4		SW	25,00	4,10	NP	NP	NP	-	8
5		SW	35,00	3,60	NP	NP	NP	-	6

ESTUDIOS DE SUELOS: LOS ALGARROBOS - Mz 5 L 4 - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,30) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,30 - 14,00) Limo castaño claro	ML	5	19,2	3,3	25,1	21,8	-	72
2		-	-	-	-	-	-	-	-
3		ML	12,00	19,00	3,50	25,00	21,50	-	71
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	11,00	18,50	3,30	24,90	21,60	-	68
6		-	-	-	-	-	-	-	-
7		ML	14,00	19,00	3,20	24,80	21,60	-	69

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 149 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



8		-	-	-	-	-	-	-	-
9		ML	17,00	18,20	3,30	25,00	21,70	-	73
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11		ML	20,00	17,90	2,90	25,10	22,20	-	75
12		-	-	-	-	-	-	-	-
13		ML	30,00	18,20	3,00	24,70	21,70	-	69
14		-	-	-	-	-	-	-	-

ESTUDIOS DE SUELOS: ACHAVAL RODRIGUEZ 162 - D04 Z09 Mz040 P025 - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,40) Rellenos	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,40 - 6,00) Limo pardo oscuro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	24,00	17,30	3,90	23,90	20,00	-	68
3		ML	22,00	20,20	3,80	24,10	20,30	-	72
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	26,00	19,10	3,30	23,60	20,30	-	75
6	(6,00 - 7,00) Arena gruesa	SW	46,00	7,30	NP	NP	NP	-	10
7		SW	60,00	5,20	NP	NP	NP	-	5

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 150 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: VALLE ESCONDIDO Mz 70 L5 (LAS ACACIAS)									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,30) Rellenos	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,30 - 7,50) Limo arenoso 4,2 Nivel freático	ML	7,00	18,90	3,30	24,00	21,70	-	85
2		-	-	-	-	-	-	-	-
3		ML	4,00	18,30	3,10	24,10	21,00	-	83
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	11,00	21,10	3,20	24,20	21,00	-	82
6		ML	2,00	20,90	3,10	24,00	20,90	-	87
7	(7,50 - 7,80) Limos con gravas	-	-	-	-	-	-	-	-
8	(7,80 - 8,00) Arena limosa rojiza	SM	60,00	18,20	NP	NP	NP	-	48

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 151 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: VALLE ESCONDIDO Mz 69 L10 (LAS ACACIAS)									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,30) Suelo vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,30 - 7,50) Limo arenoso 5,8 Nivel freático	ML	4,00	20,20	3,20	24,20	21,00	-	82
2		-	-	-	-	-	-	-	-
3		ML	3,00	18,80	3,10	24,30	21,20	-	80
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	1,00	22,00	3,30	24,50	21,20	-	85
6		ML	5,00	21,90	2,90	24,30	21,40	-	83
7	(7,50 - 9,00) Arena limosa rojiza cementada	SM	1,00	21,10	NP	NP	NP	-	52
8		SM	70,00	18,20	NP	NP	NP	-	50
9		-	-	-	-	-	-	-	-

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 152 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: LAS ACACIAS Mz 70 L 14 - VALLE ESCONDIDO - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,40) Suelo vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,40 - 5,00) Limo arenoso rojizo	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	7,00	17,20	3,20	23,15	19,95	-	80
3		ML	20,00	17,50	3,00	24,30	21,30	-	75
4		ML	46,00	18,10	2,80	23,90	21,10	-	72
5	(5,00) Limo rojizo cementado	ML	100,00	7,60	NP	NP	NP	-	45

ESTUDIOS DE SUELOS: RUTA PROVINCIAL N°4 esq, 19 de AGOSTO - ETRURIA - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,30) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,40 - 12,00) Limo arenoso pardo claro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	2,00	18,60	3,20	24,60	21,40	-	78
3		ML	1,00	19,10	3,30	24,80	21,50	-	76
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	1,00	24,20	3,50	24,90	21,40	-	75
6		ML	6,00	24,30	3,40	24,80	21,40	-	76
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	6,00	24,60	3,30	24,50	21,20	-	81

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 153 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



9		ML	22,00	24,80	3,30	24,70	21,40	-	83
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11		ML	20,00	23,50	2,90	25,10	22,20	-	79
12		ML	21,00	23,60	3,10	25,20	22,10	-	78

6.3- DPSH - Zona centro norte

ESTUDIO DE SUELOS ROMA esq, SUIPACHA - D 01 S 16 Mz 14 L 18 CÓRDOBA	
HINCA DINÁMICA - H1	
PROFUNDIDAD	NG
0,30	3
0,60	8
0,90	12
1,20	11
1,50	8
1,80	5
2,10	7
2,40	15
2,70	22
3,00	30
3,30	30
3,60	31
3,90	35
4,20	34

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 154 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4,50	31
4,80	35
5,10	51

ESTUDIO DE SUELOS SAN ALFONSO Mz 34 L 8 CÓRDOBA	
HINCA DINÁMICA - H2	
PROFUNDIDAD	NG
0,30	6
0,60	6
0,90	7
1,20	7
1,50	7
1,80	12
2,10	15
2,40	9
2,70	8
3,00	7
3,30	16
3,60	6
3,90	4
4,20	4
4,50	10
4,80	22

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 155 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



5,10	5
5,40	2
5,70	3
6,00	3
6,30	3
6,60	3
6,90	9
7,20	6
7,50	7
7,80	9
8,10	5
8,40	37
8,70	48
9,00	90
9,30	7
9,60	3
9,90	4

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 156 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS BUCHARDO esq, ANA MARÍA JANER CÓRDOBA	
HINCA DINÁMICA - H3	
PROFUNDIDAD	NG
0,30	27
0,60	19
0,90	15
1,20	14
1,50	14
1,80	17
2,10	22
2,40	21
2,70	20
3,00	28
3,30	35
3,60	37
3,90	52
4,20	55
4,50	71

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 157 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS LOS ALGARROBOS Mz5 L4 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H4a			
PROFUNDIDAD	NG	PROFUNDIDAD	NG
0,30	15	10,20	29
0,60	8	10,50	35
0,90	6	10,80	40
1,20	5	11,10	40
1,50	10	11,40	37
1,80	13	11,70	40
2,10	12	12,00	51
2,40	14	12,30	62
2,70	18	12,60	49
3,00	20	12,90	44
3,30	22	13,20	48
3,60	23	13,50	41
3,90	19	13,80	54
4,20	20	14,10	57
4,50	21	14,40	74
4,80	18		
5,10	21		
5,40	22		
5,70	25		
6,00	39		
6,30	41		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 158 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,60	37		
6,90	34		
7,20	27		
7,50	22		
7,80	24		
8,10	24		
8,40	24		
8,70	24		
9,00	25		
9,30	28		
9,60	27		
9,90	28		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 159 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS LOS ALGARROBOS Mz 5 L4 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H4b			
PROFUNDIDAD	NG	PROFUNDIDAD	NG
0,30	21	10,20	35
0,60	11	10,50	46
0,90	7	10,80	46
1,20	10	11,10	41
1,50	18	11,40	41
1,80	19	11,70	50
2,10	24	12,00	60
2,40	30		
2,70	35		
3,00	26		
3,30	35		
3,60	29		
3,90	24		
4,20	23		
4,50	23		
4,80	21		
5,10	22		
5,40	23		
5,70	20		
6,00	17		
6,30	19		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 160 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,60	46		
6,90	29		
7,20	27		
7,50	29		
7,80	33		
8,10	32		
8,40	27		
8,70	33		
9,00	35		
9,30	45		
9,60	48		
9,90	41		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 161 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS ACHAVAL RODRIGUEZ 162 D04 Z09 Mz040 P025 CÓRDOBA	
HINCA DINÁMICA - H5	
PROFUNDIDAD	NG
0,30	-
0,60	12
0,90	7
1,20	4
1,50	77
1,80	31
2,10	14
2,40	12
2,70	18
3,00	10
3,30	7
3,60	6
3,90	9
4,20	13
4,50	20
4,80	24
5,10	14
5,40	20
5,70	70
6,00	85

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 162 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS VALLE ESCONDIDO Mz 70 L5 (LAS ACACIAS)	
HINCA DINÁMICA - H6	
PROFUNDIDAD	NG
0,30	7
0,60	3
0,90	3
1,20	2
1,50	3
1,80	7
2,10	8
2,40	8
2,70	7
3,00	5
3,30	5
3,60	4
3,90	2
4,20	3
4,50	2
4,80	14
5,10	6
5,40	11
5,70	6
6,00	25

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 163 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,30	34
6,60	78
6,90	55
7,20	44
7,50	92
7,80	100

ESTUDIO DE SUELOS VALLE ESCONDIDO Mz 69 L5 (LAS ACACIAS)	
HINCA DINÁMICA - H7	
PROFUNDIDAD	NG
0,30	3
0,60	2
0,90	1
1,20	2
1,50	2
1,80	9
2,10	14
2,40	8
2,70	7
3,00	11
3,30	29
3,60	10
3,90	4

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 164 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



4,20	7
4,50	11
4,80	12
5,10	15
5,40	19
5,70	13
6,00	6
6,30	7
6,60	9
6,90	9
7,20	12
7,50	40
7,80	104

ESTUDIO DE SUELOS LAS ACACIAS Mz 70 L 14 - VALLE ESCONDIDO CÓRDOBA	
HINCA DINÁMICA - H8	
PROFUNDIDAD	NG
0,30	25
0,60	14
0,90	10
1,20	10
1,50	11

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 165 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



1,80	11
2,10	11
2,40	10
2,70	9
3,00	12
3,30	16
3,60	30
3,90	80
4,20	100

ESTUDIO DE SUELOS LOS ALGARROBOS Mz5 L4 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H9			
PROFUNDIDAD	NG	PROFUNDIDAD	NG
0,30	15	10,20	18
0,60	15	10,50	24
0,90	19	10,80	27
1,20	5	11,10	30
1,50	2	11,40	33
1,80	3	11,70	35
2,10	3	12,00	40
2,40	4	12,30	36
2,70	3	12,60	37
3,00	3	12,90	36

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 166 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



3,30	1	13,20	40
3,60	1		
3,90	1		
4,20	2		
4,50	4		
4,80	3		
5,10	8		
5,40	5		
5,70	3		
6,00	5		
6,30	2		
6,60	6		
6,90	1		
7,20	13		
7,50	12		
7,80	9		
8,10	15		
8,40	17		
8,70	16		
9,00	20		
9,30	20		
9,60	18		
9,90	17		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 167 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6.4- SPT - Zona centro sur

ESTUDIOS DE SUELOS: COMISSO Camino SAN CARLOS 7000 - CORDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,60) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,60 - 10,00) Limo arenoso de coloración castaño claro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	10,00	14,15	3,50	24,60	21,10	-	75
3		ML	7,00	17,45	3,70	35,20	21,50	-	72
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	5,00	19,05	4,10	25,10	21,00	-	81
6		ML	2,00	26,41	4,20	24,90	20,70	-	80
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	25,00	20,10	3,30	25,00	21,70	-	75
9		ML	23,00	19,70	3,30	24,70	21,40	-	74
10		-	-	-	-	-	-	-	-

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 168 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: FIDEICOMISO BRASIL 168 - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 1,10) Rellenos	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(1,10 - 7,50) Limo pardo oscuro	ML	9,00	15,30	3,70	25,50	21,80	-	56
2		-	-	-	-	-	-	-	-
3		ML	4,00	18,20	3,90	24,70	20,80	-	73
4		ML	10,00	16,40	4,20	24,30	20,10	-	71
5		-	-	-	-	-	-	-	-
6		ML	11,00	17,10	3,60	25,10	21,50	-	68
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8	(7,50 - 8,00) Arena gruesa c/ gravas	SW	72,00	7,15	NP	NP	NP	-	25

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 169 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: RUTA PROVINCIAL N°4 esq, 19 de AGOSTO - ETRURIA - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	NG	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 5,20) Limo castaño claro	-	-	-	-	-	-	-	-
1		-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	12,00	17,20	4,20	24,90	20,70	-	65
3		ML	5,00	18,30	4,30	25,40	21,10	-	63
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5	(5,20 - 8,00) Arena gruesa c/gravas	SW	13,00	7,20	NP	NP	NP	-	15
6		SW	65,00	5,30	NP	NP	NP	-	10
7		SW	-	-	-	-	-	-	-
8		SW	-	-	-	-	-	-	-
9	(8,00 - 11,00) Limo castaño	ML	-	18,60	4,10	25,20	21,10	-	58
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11	(11,00 - 12,00) Arena entrefina	SW	-	6,10	NP	NP	NP	-	6
12	(12,00 - 20,00) Limo castaño	-	-	-	-	-	-	-	-
13		-	-	-	-	-	-	-	-
14		-	-	-	-	-	-	-	-
15		-	-	-	-	-	-	-	-
16		-	-	-	-	-	-	-	-
17		-	-	-	-	-	-	-	-
18		ML	-	19,20	4,50	25,90	21,40	-	67
19		-	-	-	-	-	-	-	-
20		ML	-	18,10	4,30	25,80	21,50	-	68

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 170 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6.5- DPSH - Zona centro sur

ESTUDIO DE SUELOS CAMINO SAN CARLOS 7000, COMMISSO CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H1			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	5,00	10,20	16,00
0,60	6,00	10,50	22,00
0,90	12,00	10,80	21,00
1,20	16,00	11,10	16,00
1,50	15,00	11,40	21,00
1,80	18,00	11,70	19,00
2,10	16,00	12,00	25,00
2,40	17,00	12,30	21,00
2,70	15,00	12,60	26,00
3,00	15,00	12,90	27,00
3,30	11,00	13,20	29,00
3,60	14,00		
3,90	13,00		
4,20	10,00		
4,50	17,00		
4,80	15,00		
5,10	12,00		
5,40	19,00		
5,70	15,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 171 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,00	16,00
6,30	15,00
6,60	14,00
6,90	13,00
7,20	13,00
7,50	22,00
7,80	27,00
8,10	19,00
8,40	16,00
8,70	15,00
9,00	18,00
9,30	19,00
9,60	19,00
9,90	17,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 172 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS BRASIL 168 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H2			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDA D [m]	NG
0,30	11,00	10,20	38,00
0,60	18,00	10,50	35,00
0,90	3,00	10,80	90,00
1,20	3,00		
1,50	3,00		
1,80	3,00		
2,10	4,00		
2,40	2,00		
2,70	2,00		
3,00	3,00		
3,30	5,00		
3,60	5,00		
3,90	5,00		
4,20	5,00		
4,50	4,00		
4,80	8,00		
5,10	12,00		
5,40	12,00		
5,70	10,00		
6,00	10,00		
6,30	12,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 173 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,60	10,00
6,90	20,00
7,20	44,00
7,50	55,00
7,80	44,00
8,10	47,00
8,40	65,00
8,70	50,00
9,00	48,00
9,30	50,00
9,60	49,00
9,90	30,00

ESTUDIO DE SUELOS RONDEAU 44/45 CÓRDOBA	
HINCA DINÁMICA - H3	
PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	3,00
0,60	5,00
0,90	5,00
1,20	4,00
1,50	13,00
1,80	14,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 174 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



2,10	18,00
2,40	22,00
2,70	17,00
3,00	16,00
3,30	12,00
3,60	13,00
3,90	13,00
4,20	25,00
4,50	16,00
4,80	20,00
5,10	24,00
5,40	35,00
5,70	34,00
6,00	33,00
6,30	45,00
6,60	50,00
6,90	55,00
7,20	71,00
7,50	70,00
7,80	100,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 175 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6.6- SPT - Zona sur

ESTUDIOS DE SUELOS: JOSÉ INGENIEROS 80 - VILLA MARIA - CORDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,50) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,50 - 14,00) Limo arenoso castaño	ML	2,00	19,15	3,90	25,30	21,40	-	80,00
2		-	-	-	-	-	-	-	-
3		ML	4,00	19,30	4,20	25,50	21,30	-	81,00
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	8,00	20,15	4,10	25,20	21,10	-	75,00
6		ML	11,00	21,00	4,30	25,20	20,80	-	73,00
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	14,00	19,90	4,10	24,80	20,80	-	68,00
9		ML	20,00	19,70	4,00	24,80	20,80	-	69,00
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11		ML	25,00	20,10	4,20	25,20	21,00	-	68,00
12		ML	25,00	21,30	4,20	25,00	20,80	-	64,00
13		-	-	-	-	-	-	-	-
14		ML	30,00	20,30	4,30	25,20	20,90	-	62,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 176 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: CATAMARCA 1462 - VILLA MARIA - CORDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,50) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,50 - 14,00) Limo arenoso castaño oscuro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	3,00	18,30	3,50	25,10	21,60	-	80,00
3		ML	8,00	18,50	3,40	25,00	21,60	-	81,00
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	7,00	19,10	3,10	24,70	21,60	-	79,00
6		ML	12,00	21,20	3,20	24,80	21,60	-	79,00
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	15,00	24,10	3,30	25,20	21,90	-	78,00
9		ML	18,00	23,70	3,20	24,80	21,60	-	69,00
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11		ML	20,00	23,00	3,30	25,00	21,70	-	70,00
12		ML	23,00	22,10	NP	NP	NP	-	72,00
13		-	-	-	-	-	-	-	-
14		ML	17,00	22,90	NP	NP	NP	-	75,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 177 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: LAS PERDICES - RÍO CUARTO - CÓRDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,50) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,50 - 10,00) Arena limosa	SM	3,00	11,36	NP	NP	NP	-	34,00
2		-	-	-	-	-	-	-	-
3		SM	8,00	28,46	NP	NP	NP	-	30,00
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		SM	25,00	27,38	NP	NP	NP	-	25,00
6		-	-	-	-	-	-	-	-
7		SM	20,00	27,56	NP	NP	NP	-	24,00
8		-	-	-	-	-	-	-	-
9		SM	25,00	28,10	NP	NP	NP	-	20,00
10		SM	24,00	28,05	NP	NP	NP	-	13,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 178 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: TUCUMAN 1138 - VILLA MARIA - CORDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,50) Relleno	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,50 - 14,00) Limo castaño oscuro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	6,00	17,60	3,20	24,10	20,90	-	65,00
3		ML	7,00	18,10	3,30	24,00	20,70	-	68,00
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	6,00	22,10	3,00	23,90	20,90	-	70,00
6		ML	10,00	23,20	3,20	23,80	20,60	-	71,00
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	15,00	19,50	3,40	24,30	20,80	-	72,00
9		ML	18,00	19,60	3,30	24,00	20,70	-	75,00
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11		ML	30,00	20,50	3,10	23,90	20,80	-	70,00
12		ML	37,00	21,10	3,20	24,10	20,90	-	73,00
13		-	-	-	-	-	-	-	-

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 179 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: TUCUMAN 1372 - VILLA MARIA - CORDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,50) Suelo Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,50 - 14,00) Limo arenoso castaño oscuro	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	2,00	17,80	3,40	25,10	21,70	-	70,00
3		ML	4,00	18,30	3,30	24,90	21,60	-	71,00
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5		ML	12,00	19,20	3,10	25,20	22,10	-	81,00
6		ML	8,00	21,90	3,60	24,80	21,20	-	82,00
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	21,50	3,00	24,70	21,70	21,70	-	79,00
9		ML	9,00	21,50	3,20	25,00	21,80	-	75,00
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11		ML	20,00	22,10	3,00	25,30	22,30	-	71,00
12		ML	22,00	21,60	2,60	24,20	21,60	-	81,00
13		ML	35,00	21,50	2,70	24,00	21,30	-	79,00
14		-	-	-	-	-	-	-	-

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 180 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIOS DE SUELOS: BUENOS AIRES esq, MITRE - VILLA MARIA - CORDOBA									
Prof [m]	Descripción	CU	N,G	W%	IP	LL	LP	Pn [kg/cm ²]	T200
0	(0,00 - 0,40) Relleno	-	-	-	-	-	-	-	-
1	(0,40 - 4,50) Limo pardo	-	-	-	-	-	-	-	-
2		ML	3,00	19,15	3,10	24,20	21,10	-	80,00
3		ML	4,00	18,10	3,00	24,50	21,50	-	81,00
4		-	-	-	-	-	-	-	-
5	(4,50-5,50) Limo pardo cementado	ML	17,00	20,10	3,30	25,10	21,80	-	79,00
6	(5,50-9,00) Limo arenoso (6,20 nivel freático)	ML	2,00	24,15	3,20	25,00	21,80	-	75,00
7		-	-	-	-	-	-	-	-
8		ML	2,00	24,10	NP	NP	NP	-	72,00
9	(9,00-12,00) Limo pardo	ML	7,00	20,10	3,00	24,60	21,60	-	81,00
10		-	-	-	-	-	-	-	-
11		ML	17,00	20,00	3,20	24,70	21,50	-	79,00
12	(12-13,50) Limo arenoso	ML	21,00	19,90	NP	NP	NP	-	70,00
13		ML	20,00	18,10	NP	NP	NP	-	72,00
14		-	-	-	-	-	-	-	-

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 181 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6.7- DPSH - Zona sur

ESTUDIO DE SUELOS VILLA MARIA, JOSE INGENIEROS 80 H1 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H1a			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	10,00	10,20	28,00
0,60	15,00	10,50	37,00
0,90	9,00	10,80	39,00
1,20	11,00	11,10	45,00
1,50	8,00	11,40	48,00
1,80	5,00	11,70	50,00
2,10	5,00	12,00	65,00
2,40	6,00	12,30	66,00
2,70	6,00	12,60	68,00
3,00	8,00	12,90	70,00
3,30	10,00		
3,60	12,00		
3,90	37,00		
4,20	30,00		
4,50	35,00		
4,80	26,00		
5,10	20,00		
5,40	17,00		
5,70	14,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 182 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,00	18,00
6,30	19,00
6,60	17,00
6,90	16,00
7,20	15,00
7,50	21,00
7,80	19,00
8,10	26,00
8,40	22,00
8,70	23,00
9,00	26,00
9,30	24,00
9,60	30,00
9,90	32,00

ESTUDIO DE SUELOS CAMINO SAN CARLOS 7000, COMMISSO CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H1b			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	8,00	10,20	28,00
0,60	5,00	10,50	37,00
0,90	5,00	10,80	39,00
1,20	3,00	11,10	45,00
1,50	6,00	11,40	48,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 183 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



1,80	6,00	11,70	50,00
2,10	10,00	12,00	65,00
2,40	7,00	12,30	66,00
2,70	6,00	12,60	68,00
3,00	8,00	12,90	70,00
3,30	17,00		
3,60	35,00		
3,90	33,00		
4,20	25,00		
4,50	20,00		
4,80	16,00		
5,10	15,00		
5,40	17,00		
5,70	17,00		
6,00	22,00		
6,30	23,00		
6,60	22,00		
6,90	24,00		
7,20	18,00		
7,50	27,00		
7,80	24,00		
8,10	28,00		
8,40	30,00		
8,70	32,00		
9,00	40,00		
9,30	38,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 184 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



9,60	44,00
9,90	40,00

ESTUDIO DE SUELOS VILLA MARIA, CATAMARCA 1462 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H2			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	7,00	10,20	28,00
0,60	3,00	10,50	37,00
0,90	2,00	10,80	39,00
1,20	3,00	11,10	45,00
1,50	8,00	11,40	48,00
1,80	8,00	11,70	50,00
2,10	5,00	12,00	65,00
2,40	6,00	12,30	66,00
2,70	9,00	12,60	68,00
3,00	23,00	12,90	70,00
3,30	28,00		
3,60	13,00		
3,90	15,00		
4,20	13,00		
4,50	15,00		
4,80	13,00		
5,10	8,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 185 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



5,40	6,00
5,70	8,00
6,00	15,00
6,30	6,00
6,60	8,00
6,90	10,00
7,20	11,00
7,50	33,00
7,80	22,00
8,10	24,00
8,40	28,00
8,70	22,00
9,00	28,00
9,30	26,00
9,60	28,00
9,90	28,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 186 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS LAS PERDICES, RÍO CUARTO CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H3			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	3,00	10,20	28,00
0,60	15,00	10,50	37,00
0,90	10,00	10,80	39,00
1,20	16,00	11,10	45,00
1,50	9,00	11,40	48,00
1,80	6,00	11,70	50,00
2,10	6,00	12,00	65,00
2,40	4,00	12,30	66,00
2,70	6,00	12,60	68,00
3,00	8,00	12,90	70,00
3,30	8,00		
3,60	10,00		
3,90	17,00		
4,20	28,00		
4,50	43,00		
4,80	43,00		
5,10	66,00		
5,40	78,00		
5,70	62,00		
6,00	60,00		
6,30	58,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 187 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,60	58,00
6,90	55,00
7,20	56,00
7,50	65,00
7,80	72,00
8,10	70,00
8,40	74,00
8,70	74,00
9,00	80,00
9,30	82,00
9,60	75,00
9,90	75,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 188 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS VILLA MARIA, TUCUMAN 1138 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H4			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	10,00	10,20	30,00
0,60	19,00	10,50	35,00
0,90	11,00	10,80	44,00
1,20	12,00	11,10	50,00
1,50	10,00	11,40	50,00
1,80	9,00	11,70	55,00
2,10	8,00	12,00	50,00
2,40	10,00	12,30	55,00
2,70	12,00	12,60	50,00
3,00	9,00	12,90	60,00
3,30	10,00	13,20	65,00
3,60	11,00		
3,90	26,00		
4,20	36,00		
4,50	29,00		
4,80	21,00		
5,10	8,00		
5,40	12,00		
5,70	13,00		
6,00	12,00		
6,30	11,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 189 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,60	10,00
6,90	37,00
7,20	24,00
7,50	18,00
7,80	22,00
8,10	16,00
8,40	15,00
8,70	15,00
9,00	17,00
9,30	20,00
9,60	18,00
9,90	24,00

ESTUDIO DE SUELOS VILLA MARIA, TUCUMAN 1372 H1 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H5a			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	-	10,20	26,00
0,60	-	10,50	27,00
0,90	-	10,80	32,00
1,20	-	11,10	38,00
1,50	14,00	11,40	48,00
1,80	14,00	11,70	45,00
2,10	10,00	12,00	50,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 190 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



2,40	10,00	12,30	48,00
2,70	11,00	12,60	55,00
3,00	8,00	12,90	64,00
3,30	10,00	13,20	85,00
3,60	9,00		
3,90	11,00		
4,20	10,00		
4,50	11,00		
4,80	17,00		
5,10	9,00		
5,40	10,00		
5,70	11,00		
6,00	9,00		
6,30	14,00		
6,60	12,00		
6,90	15,00		
7,20	14,00		
7,50	21,00		
7,80	26,00		
8,10	18,00		
8,40	15,00		
8,70	15,00		
9,00	13,00		
9,30	15,00		
9,60	20,00		
9,90	21,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 191 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS VILLA MARIA, TUCUMAN 1372 H2 CÓRDOBA			
HINCA DINÁMICA - H5b			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	-	10,20	20,00
0,60	-	10,50	23,00
0,90	-	10,80	42,00
1,20	-	11,10	65,00
1,50	13,00	11,40	55,00
1,80	4,00	11,70	45,00
2,10	9,00	12,00	55,00
2,40	10,00		
2,70	3,00		
3,00	4,00		
3,30	9,00		
3,60	9,00		
3,90	5,00		
4,20	11,00		
4,50	20,00		
4,80	26,00		
5,10	25,00		
5,40	16,00		
5,70	14,00		
6,00	17,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 192 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,30	13,00	
6,60	7,00	
6,90	8,00	
7,20	10,00	
7,50	10,00	
7,80	11,00	
8,10	15,00	
8,40	13,00	
8,70	13,00	
9,00	19,00	
9,30	25,00	
9,60	33,00	
9,90	22,00	

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 193 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



ESTUDIO DE SUELOS VILLA MARÍA, BUENOS AIRES esq. AVENIDA MITRE			
HINCA DINÁMICA - H6			
PROFUNDIDAD [m]	NG	PROFUNDIDAD [m]	NG
0,30	2,00	10,20	32,00
0,60	1,00	10,50	29,00
0,90	2,00	10,80	32,00
1,20	4,00	11,10	36,00
1,50	7,00	11,40	34,00
1,80	7,00	11,70	34,00
2,10	7,00	12,00	45,00
2,40	6,00	12,30	44,00
2,70	6,00	12,60	45,00
3,00	6,00	12,90	40,00
3,30	7,00	13,20	41,00
3,60	3,00	13,50	53,00
3,90	2,00	13,80	53,00
4,20	2,00	14,10	60,00
4,50	12,00	14,40	69,00
4,80	10,00		
5,10	26,00		
5,40	17,00		
5,70	12,00		
6,00	9,00		
6,30	8,00		

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 194 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		



6,60	8,00
6,90	8,00
7,20	9,00
7,50	20,00
7,80	12,00
8,10	8,00
8,40	13,00
8,70	17,00
9,00	30,00
9,30	27,00
9,60	25,00
9,90	25,00

Elaboró: Pedrueza, Bautista - Theaux, Franco Alberto	Código: TFD-2023	
Revisó: Ing. Fontana – Ing. Ganancias	Emisión: Diciembre 2023	
Autorizó: Ing. Arnaudo	Revisión: 02	Página 195 de 197
DOCUMENTO C CONTROLADO CÁTEDRA TRABAJO FINAL – INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA		