

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En el ámbito de la Ingeniería Civil, acorde con el avance tecnológico del contexto regional, se generan cambios no sólo en los procedimientos de construcción, sino también en las metodologías y equipos para la determinación de la resistencia admisible de un suelo, esto se manifiesta claramente en el área de la construcción, debido a que en varias obras civiles se requiere como dato necesario, la resistencia que posee un determinado tipo de suelo, el cual es un factor importante al momento del diseño estructural de las construcciones civiles.

Esto conlleva que al momento de realizar el diseño de una estructura (edificios, puentes, etc.) se conozcan las características propias del suelo de fundación como la resistencia admisible del suelo.

Uno de los ensayos más utilizados para la determinación de la resistencia del suelo, para posteriormente diseñar fundaciones de estructuras, tales como edificios o puentes, es el llamado “ENSAYO DE SPT” (Standart Penetration Test).

El ensayo de penetración estándar (SPT) consiste en hincar una puntaza y/o un sacamuestras, contabilizando los números de golpes y mediante la aplicación de un ábaco se estima la capacidad portante del suelo. Con el pasar de los años se ha ido adecuando el equipo para una mayor comodidad del operador, tal es el caso del SPT TRIPODE 107 que se cuenta en el laboratorio de suelos de la de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El equipo SPT TRIPODE 107, cuenta con un trípode el cual es más liviano y fácil de transportar, también cuenta con un motor para poder facilitar el trabajo, martillo manual de 63 kilogramos, barras y muestreadores.

Ahora teniendo en cuenta la versatilidad del equipo mencionado, su uso será frecuente en los estudios geotécnicos, por lo tanto, es importante realizar un análisis de confiabilidad del mismo.

La confiabilidad de un instrumento es el grado en el que produce resultados coherentes e iguales cuando se aplica en una misma zona u objeto.

1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA

Es una realidad el crecimiento poblacional en todas las ciudades y con ello la necesidad de construir más estructuras, tal es el caso de la ciudad de Tarija, que ha tenido un aumento poblacional considerable en los últimos tiempos, y con ello la implementación de condominios en edificios, es ese sentido, al construirse estructuras de mayor envergadura, las mismas adquieren un grado de importancia técnico mayor, lo que implica realizar adecuados estudios de suelos que reduzcan al mínimo las deficiencias que podrían presentarse en las fundaciones, mismas que generalmente son detectadas en etapa de construcción y otras en etapa de operación, pero ambas no son previstas en el diseño. Estas deficiencias responden en gran parte a la carencia de correctos estudios geotécnicos sobre el suelo de fundación o a un valor de capacidad portante admisible errado.

Minimizar el riesgo que una fundación presente problemas, dependerá tanto del estudio geotécnico que se realice y del tipo de fundación superficial que se apoye sobre el terreno; por tanto, la falta y/o una interpretación deficiente de estos estudios, como la selección de una fundación que sea inadecuada, generarán incertidumbre a la hora de diseñar. Es así que el resultado del cálculo de capacidad portante es compensado con factores de seguridad grandes, llevando a un sobredimensionamiento de las fundaciones. Realizar este procedimiento es muy común en nuestro medio y tiene una incidencia directa en el encarecimiento de la estructura, además que en algunos casos particulares el suelo aún presenta deformaciones por lo que buscar una solución a estas patologías de la fundación resulta en un incremento adicional a la estructura.

Dentro de los ensayos de resistencia mecánica del suelo, más realizado en el medio local está el SPT, se pudo evidenciar que por la versatilidad del equipo SPT TRÍPODE 107, su utilización está en pleno auge, sin embargo, presenta una carencia, falta de un análisis de la consistencia de los resultados obtenidos de este equipo.

La confiabilidad en un equipo de medición, se refiere al grado de precisión que éste presenta en la medida tomada, de forma que, si se vuelven a realizar las medidas en el mismo lugar de estudio, deben presentar similares resultados.

Si no se tiene la confianza que el equipo brinda datos correctos, no podemos tener la certeza de que los resultados obtenidos son adecuados para su aplicación en posteriores cálculos.

1.3 PROBLEMA

¿Cómo determinar el grado de confiabilidad de los resultados obtenidos con el equipo SPT TRÍPODE 107, aplicándolo en suelos finos?

1.3.1 Relevancia y factibilidad del problema

Relevancia:

En el ámbito de la construcción de obras de ingeniería, es importante realizar una correcta evaluación de las propiedades de resistencia del suelo de cimentación, para minimizar patologías futuras de la estructura, por eso es necesario tener una certidumbre de la confiabilidad del resultado que nos brinda el equipo.

Es factible determinar el grado de confiabilidad ya que se cuenta con acceso a información, el equipo de laboratorio y herramientas informáticas necesarias.

1.3.2 Delimitación temporal y espacial del problema

Delimitación del tiempo

Tiempo: El tiempo de ejecución de la investigación será aproximadamente 3 meses.

Delimitación del espacio

Área de trabajo: Barrió San Blas con presencia de suelos finos.

Ubicación: 21°35'09.54'' S 64°42'34.08'' O

1.4 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que la prueba de penetración estándar (SPT) es un ensayo de resistencia mecánica de suelo muy conocido y probado a nivel mundial que, debido a su configuración, bajo costo y practicidad es el ensayo más usado para proporcionar parámetros geotécnicos del suelo.

Es por esta razón que se justifica la implementación del presente trabajo, busca que tanto docentes, personal de laboratorio y estudiantes de la universidad tengan una mayor

información acerca del nivel de confianza que presenta el equipo SPT TRÍPODE 107 debido a que es un equipo relativamente nuevo, el cual cuenta con un trípode desmontable que facilita el transporte e instalación del mismo, también cuenta con un motor que ayuda con el trabajo al momento de jalar la soga y al ser un equipo que tiene mayor alcance al momento de extraer muestras de suelo a una mayor profundidad sin la necesidad de realizar una previa excavación, es importante saber cuál es la confiabilidad de los resultados que se obtienen y estimar el grado de precisión con el que están midiendo las variables.

Es importante saber la consistencia del proceso de medición con la que trabaja un equipo, para realizar adecuados estudios de suelos en los cuales se realizarán edificaciones de envergadura. En Tarija, la mayor parte del suelo es fino con presencia de arcillas, por ese motivo es de vital importancia realizar análisis de este tipo de suelos y determinar de forma correcta la capacidad portante del terreno de fundación y así de esta manera definir el tipo de cimentación, por lo tanto, el presente trabajo de investigación busca obtener estadísticamente, la consistencia de los resultados que se obtienen con el equipo SPT TRIPODE 107 aplicado a suelo finos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Determinar la confiabilidad de los resultados de equipo SPT TRIPODE 107 a través de un análisis estadístico a los datos obtenidos por este equipo en campo y así establecer la consistencia de las mediciones realizadas, para calcular un valor adecuado de capacidad de carga del suelo que servirá en el diseño de diferentes obras de infraestructura.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar el ensayo SPT TRIPODE 107 y las estrategias empleadas para la medición de la confiabilidad.

- Ensayar los suelos en las zonas de trabajo, aplicando el equipo SPT TRIPODE 107.
- Caracterizar las muestras de suelo fino mediante ensayos de laboratorio.
- Realizar un procesamiento estadístico de los resultados obtenidos de los ensayos SPT TRIPODE 107, para determinar el grado de confiabilidad.

1.6 HIPÓTESIS

Si, se realiza un análisis estadístico a los datos obtenidos del ensayo SPT TRIPODE 107, entonces será posible establecer el grado de confiabilidad de los resultados de la prueba, a partir de un análisis estadístico.

1.7 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1.7.1 Variable independiente

Número de golpes.

Tabla 1. Variable independiente

Variable Independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Acción
Número de golpes.	Es el número de golpes obtenidos en el ensayo.	Ensayos con el equipo SPT TRÍPODE 107	Nº de golpes.	Valores obtenidos de diversos ensayos en un mismo tipo de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

1.7.2 Variable dependiente

Parámetros de la confiabilidad en el equipo SPT TRIPODE 107.

Tabla 2. Variable dependiente

Variable Dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Acción
Parámetros de la confiabilidad en el equipo SPT TRIPODE 107	La confiabilidad es el grado en el que un instrumento produce resultados coherentes, donde una repetida aplicación produce resultados iguales.	Confiabilidad del equipo.	Porcentaje (%)	Mediante probabilidad estadística de que se repitan los resultados en el mismo tipo de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

1.8 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de experimentación será cuasi experimental ya que se trabajará con un determinado número de ensayos para así poder determinar la confiabilidad que presenta el equipo SPT TRIPODE 107.

1.9 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL

1.9.1 Unidad de estudio

- Punto de SPT TRIPODE 107

1.9.2 Población

- Todos los ensayos realizados con el SPT TRIPODE 107

1.9.3 Muestra

De acuerdo a consideraciones de tiempo se decidió trabajar con una población de 30 puntos de ensayos,

$N = 30$ puntos de ensayo

Se utilizará la fórmula para población finita (muestreo aleatorio) para determinar la cantidad de ensayos a realizar.

$$n = \frac{Z^2 * N * \sigma}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * \sigma}$$

Ecuación N°1 Tamaño de población

Donde:

n = Tamaño de población

N = Población

Z = Variable estandarizada del nivel de confianza

σ^2 = Varianza

e = Margen de error

Tabla 3. Valores Z utilizados en investigación de acuerdo al nivel de confianza

Nivel de Confianza (NC) %	Variable (Z)
90	1,64
95	1,96
97	2,17
98	2,33
99	2,58

Fuente: Elaboración propia.

De esta tabla se seleccionó un nivel de confianza del 95 %, lo cual nos da un Z de 1,96

Tabla 4. Valores de varianza en función al tiempo

Varianza	Valor	Tiempo
σ^2	0,25	Investigaciones de mayor tiempo
σ^2	0,15	Investigaciones con un promedio de 6 meses
σ^2	0,10	Investigaciones de 4 a 6 meses

Fuente: Elaboración propia.

De esta tabla tomó un valor de 0.12 de acuerdo al tiempo de investigación.

El margen de error es de un 5 %, por tanto e es igual a 0.05

$$n = \frac{1,96^2 * 30 * 0,12}{(30 - 1) * 0,05^2 + 1,96^2 * 0,12}$$

$$n = 25,92 \approx 26$$

Mediante la fórmula obtenemos que el tamaño de población para trabajar será de 26 ensayos.

1.9.4 Selección de las técnicas de muestreo

Se realizará un muestreo por cuotas de una determinada zona, la cual tendrá el mismo tipo de suelo fino y el cual estará dividido en 4 cuadras.

En cada cuadra se realizará como mínimo 6 ensayos de SPT hasta obtener los 26 ensayos con los que se trabajará.

1.10 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.10.1 Métodos

- Verificar el cumplimiento de los elementos y características del método ASTM 1586 para el ensayo SPT. – Se pesará el martillo de golpeo de medirá la longitud de caída y se medirán los diámetros internos y externos del sacamuestras.
- División de la zona en 26 puntos. – Para realizar los ensayos se dividirá la zona en 26 de manera que una cuadra tendrá 8 puntos, dos cuadras tendrán 7 puntos y la última cuadra tendrá 4 puntos.
- Ensayo de penetración. – Una vez verificado el correcto cumplimiento y funcionamiento del equipo, se procederá a realizar los ensayos de penetración en cada punto.
- Análisis de los ensayos. – Verificar que se realizó de forma correcta el ensayo de penetración en cada punto y cumpliendo con las normas.
- Corrección de valores obtenidos. – Una vez obtenidos los números de golpes de cada punto, se procederá a corregir el número de golpes de acuerdo a la energía y usando una correcta nomenclatura.

- Clasificación del tipo de suelo. – Se clasificará el tipo de suelo en cada punto, obteniendo el límite plástico, índice de plasticidad, granulometría y clasificación del tipo de suelo según el sistema SUCS.
- Análisis de confiabilidad. – Después de tener el número de golpes corregido con el equipo SPT TRIPODE 1047, el tipo de suelo y después de realizar los respectivos cálculos, mediante un proceso estadístico se analizará la confiabilidad que se tiene en los resultados.

1.10.2 Técnicas

Tabla 5. Técnicas utilizadas

Conceptos	Acciones			Productos
	Gabinete	Campo	Laboratorio	
SPT TRÍPODE 107	Analizar las características de la adaptación del equipo al motor.			Verificar el cumplimiento del método ASTM 1586.
Medición de los componentes del equipo.			Medir las dimensiones del tomamuestras y el peso del martillo.	Verificar que cumpla el método ASTM 1586.
Ensayos de penetración.	Establecer los tiempos para la obtención de los datos.	Aplicar los tiempos establecidos.		Mejor organización para realizar los ensayos.
Tipo de suelo			Realizando ensayos de granulometría y límites de Atterberg.	Se obtendrá el tipo de suelo en el que se realiza los ensayos.

Análisis de la confiabilidad	Con procesos estadísticos determinar la confiabilidad.			Establecer la confianza que presenta el equipo SPT TRIPODE 107.
------------------------------	--	--	--	---

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Productos

Productos	
General	Específico
Técnica, normativa y equipos	Mayor comprensión del tema.
	Respaldo en lo que se busca realizar.
	Conocimiento para una buena ejecución de ensayos.
	Conocer los métodos y pasos para una correcta corrección.
	Conocimiento de los términos utilizados
	Conocimiento e identificación del equipo SPT TRIPODE 107.
Características	Profundizar y tomar una decisión del método a utilizar.
	Tener los pasos a aplicar en el ensayo.
	Aplicación correcta de la nomenclatura para una mejor comprensión de los resultados del ensayo.
Propiedades	Ensayos con una correcta ejecución.
	Datos definidos para cada muestra tomada.
Integración funcional	Mejores resultados para una correcta aplicación.
	Establecer la confianza que nos brindan estos resultados.

Fuente: Elaboración propia.

1.11 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez verificado el cumplimiento de longitudes, dimensiones y peso del martillo se procederá a realizar los ensayos para obtener el número de golpes que nos brinda el equipo, se procederá a corregir los datos brindados y de acuerdo al tipo de suelo en el que se realizaron los ensayos y utilizando ábacos y tablas se determinará mediante procesos estadísticos analizar el nivel de confianza en los resultados obtenidos aplicados a un tipo de suelo.

1.12 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de este tema servirá para determinar el nivel de confianza que se tiene en el equipo SPT TRIPODE 107 aplicados a suelo fino.

La confiabilidad que presenta un instrumento o equipo de medición se refiere a la capacidad que tiene de arrojar los mismos resultados o medidas sobre un determinado punto o una misma muestra, en este caso se obtendrá el nivel de confiabilidad que se tiene en el equipo, mediante un proceso estadístico en el cual se trabajará con los resultados obtenidos de los ensayos aplicados a un tipo de suelo fino.

El equipo a utilizar para estos ensayos es el SPT TRIPODE 107 cuyo equipo cuenta con un trípode que hace un poco más fácil la instalación, también cuenta con un motor el cual ayuda al momento de jalar la cuerda de forma manual, haciendo el trabajo más liviano.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL CONOCIMIENTO ENSAYO SPT Y CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA

CAPÍTULO II

ESTADO DEL CONOCIMIENTO ENSAYO SPT Y CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA

2.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Hacia 1902, el Coronel Charles R. Gow (1872-1949), propietario fundador de la compañía Gow Construction Co. en Boston, en 1899; comenzó a hacer perforaciones exploratorias utilizando muestreadores hincados, de 1 pulgada de diámetro, utilizando golpes repetidos de un martillo de 110 lb, para contribuir en la estimación de costos de excavación manual de caissons con campana, y con ello desarrolló la práctica de hincar en el suelo un tubo para obtener muestras, marcando el inicio del muestreo dinámico de los suelos.

Alrededor del año 1902, Gow comenzó a tomar "muestras secas" con un muestreador del tipo 'chopping bit' (punta cortadora), en busca de la capa dura. Gow comenzó entonces con la práctica de la toma de muestras hincadas, cada vez que había un cambio notable en el tipo de suelo.

En 1922, la Gow Construction Co. se transformó en una subsidiaria de Raymond Concrete Pile Co. (al venderla a sus propietarios), con sede en Nueva York y dirigida en ese momento por Linton Hart, y fue la nueva compañía, la que difundió esta metodología para estimar la resistencia del material y densificación del suelo, en base al trabajo de hinca del tubo. Originalmente los penetrómetros dinámicos fueron concebidos para apreciar la compacidad de los suelos sin cohesión (gravas y arenas), ante la dificultad de obtener muestras inalteradas.

Harry Mohr (1885-1971) se unió a la División de Gow RCPC en 1926, en su oficina de Boston y comenzó la recolección de datos del número de golpes para hincar muestreadores de 22" de longitud, con martillos de 140 libras de peso, que caían desde una altura de 30". Luego también lo registrarían sistemáticamente L. Hart y G. Fletcher en sus respectivas ciudades.

La cuchara partida de 2 pulgadas de diámetro exterior, fue diseñada en el año 1927 por H.A. Mohr (gerente regional de Gow Company en Nueva Inglaterra, USA), basándose en el trabajo de campo realizado en Philadelphia por G. A. Fletcher, y el desarrollo de

investigaciones realizadas. En 1930, Harry Mohr comenzó a reglamentar el método de ensayo con la realización de mediciones de la resistencia a la penetración de una cuchara partida (de 2 pulgadas de diámetro) bajo una carrera de 12 pulgadas (1 pie), empleando una maza de 63,5 kg. (140 lb) que caía desde 76,2 cm. de altura (30 pulgadas). Este procedimiento fue establecido en 1937 y posteriormente publicado en su trabajo para graduarse de la Universidad de Harvard en 1940 como: H.A. Mohr, 1940, Exploration of Soil Conditions and Sampling Operations: Bull 269, Graduate School of Eng'g, Harvard University.

En 1925, un perforador de la Raymond Concrete Pile Co., propuso a Terzaghi, contar el número de golpes necesarios para hincar un tubo muestreador, que tenía por costumbre utilizar, asumiéndolo como un ensayo. Después de haber acumulado una gran cantidad de resultados, Terzaghi nunca quiso modificar el muestreador que había utilizado originalmente y creó como procedimiento una rutina que era costumbre en la época.

Terzaghi y Arthur Casagrande, enérgicamente patrocinaron la adopción del procedimiento de muestreo con cuchara partida bajo los auspicios del Comité ASCE sobre 'Muestreo y Ensayos' de la División de Mecánica de Suelos y Fundaciones de ASCE, formada en 1938

El concepto de Terzaghi de utilizar un número de golpes "estándar" para estimar las propiedades del suelo (consistencia y densidad del terreno) no se comprendió hasta 1947, cuando éste se sentó a trabajar con Harry Mohr, y desarrolló correlaciones entre la presión de carga admisible y el número de golpes [SPT] en arenas, mientras completaba su proyecto de libro titulado 'Mecánica de Suelos en la Práctica de la Ingeniería'.

Gracias a la gran cantidad de tipos de ensayos de penetración que existen, como los relacionados por G. Sanglerat, la prueba está muy lejos de ser 'estándar' y solamente Terzaghi y Peck son los únicos que se refieren a la prueba como estandarizada. En la actualidad, son esencialmente el material y el procedimiento de ejecución, que tanto interesaron a Terzaghi en 1925, los más extendidos y los únicos susceptibles de una interpretación con los ábacos que presenta la literatura técnica.

La prueba del "muestreador estándar hincado" fue posteriormente adoptada por la ASCE y por el Cuerpo de Ingenieros con base en el documento de J. Hvorslev: "Exploración

subsuperficial y Muestreo de Suelos para fines de la Ingeniería Civil" ("Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes"), que apareció en noviembre de 1949 (reimpreso por la Ingeniería de Fundaciones en 1962 y 1965). Sprague & Henwood comenzaron a producir el muestreador Mohr de cuchara partida, de 2 pulgadas de diámetro, a comienzos de la década de 1950 y se convirtió en un estándar en todo Estados Unidos en 1958, cuando el aparato y los procedimientos fueron oficialmente adoptados por ASTM como Método de Prueba D1586 (y revisado por última vez en 1984).

2.2 METODOLOGÍA ORIGINAL DEL ENSAYO SPT

La metodología propuesta por G.A. Flechter en la década de los años 20, presentaba las siguientes actividades:

Ejecutar una perforación en la zona donde se analizaba el subsuelo, la cual se limpia por medio de inyección de agua hasta la profundidad a la que se deseaba extraer la muestra.

Bajar la cuchara partida enroscada al extremo de las barras de sondeo. Una vez que la cuchara llega al fondo de la perforación, comienza el ensayo de penetración propiamente dicho, materializado por medio de un dispositivo que deja caer libremente una maza de 140 libras (63.5 kg), desde una altura de 30" (762 mm) sobre la cabeza de golpeo de las barras de sondeo para que el muestreador penetre primero 6" (15 cm). A continuación, se hinca el muestreador 12" (30 cm) más. Se anota entonces el N° de golpes necesarios para cada 6" (15 cm) de carrera. Las primeras 6" de penetración, se denominan "hinca de asiento". El N° de golpes necesarios para la hinca de las restantes 12", se llama "resistencia normal a penetración (N)". Una vez finalizada la hinca, se extrae la muestra, abriendo longitudinalmente la cuchara, se coloca en un recipiente hermético y se rotula indicando: Obra, N° de sondeo, N° de muestra, profundidad y el valor (N).

En todo momento las muestras deben estar al resguardo de heladas o el sol hasta su llegada al laboratorio para la determinación de los parámetros correspondientes.

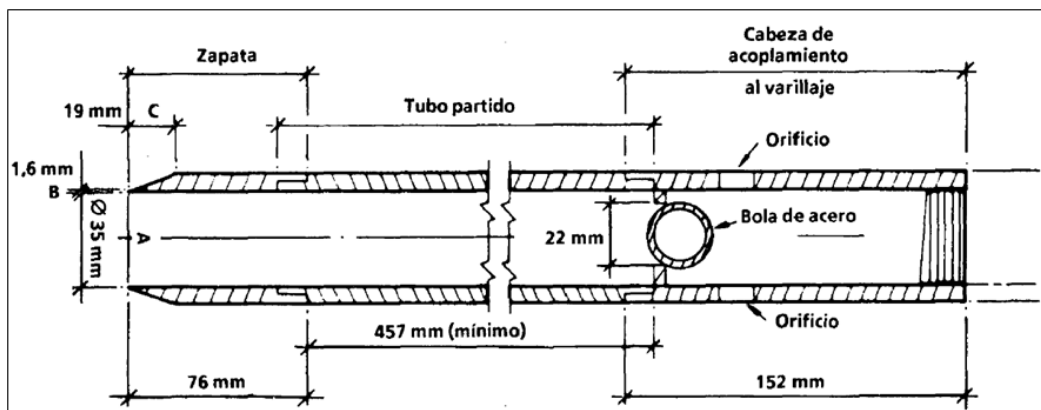
2.3 METODOLOGÍA SEGÚN LA NORMA ASTM 1586

La primera descripción de la ASTM sobre el SPT fue publicada en abril de 1958 y se denominó “Método tentativo de ensayo de penetración y toma de muestras del suelo con tubo testigo hendido longitudinalmente”. En 1967 la ASTM lo transformó en método normalizado. La normalización actual D 1586 – 84 (reaprobada 1992) no contiene grandes cambios desde sus ediciones originales.

2.3.1 Elementos y características relevantes de la norma ASTM 1586

1. Maza de 63,5 kg.
2. Altura de caída: 76,00 cm
3. Toma muestras: de diámetro externo = (50 mm ó 2 pulgadas). Figura 3
4. Saca muestras: de diámetro interno = (35 mm ó 1 3/8 pulgadas).
5. Variante con diámetro interno 38mm y tubo tomamuestras (diámetro interno final 35mm)
6. Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
7. Barras de sondeo.
8. Cabeza de golpeo.

Figura 1. Toma muestras o cuchara bipartida



Fuente: SPT. UNE 103-800-92 - ASTM D 1586/84

El rechazo se define de acuerdo a las siguientes alternativas: 1) total de 50 golpe aplicados en cualquiera de las tres carreras de 6"; 2) cuando se han acumulado un total de 100 golpes; 3) cuando no se observa ningún avance del tomamuestras durante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martinete. (Lopez & Frank, 2003)

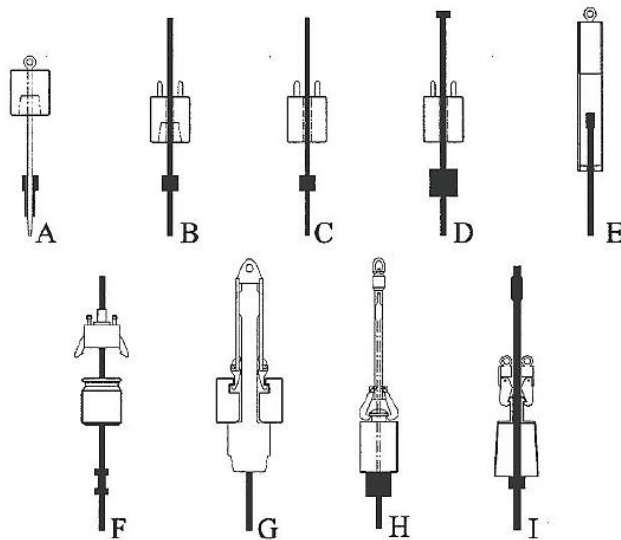
2.3.2 Tipos de martillo

El ensayo de penetración estándar SPT, presenta algunas variantes del tipo de martillo, que se ve influenciado directamente en la forma de realizar el ensayo. Por lo tanto, la energía aplicada tendrá sus variaciones respecto de la energía teórica.

Equipos automáticos ofrecen un accionamiento del martillo de forma hidráulica, la energía aplicada es constante pero inferior comparado con equipos manuales. Equipos manuales aplican diferentes valores de energía, según el tipo de matillo (figura 2), pero que son superiores a los equipos automáticos.

El problema que presentan estos equipos manuales, es que su energía de aplicación no es constante. Al iniciar el ensayo la energía es alta, pero al transcurrir ésta va disminuyendo debido al factor humano.

Figura 2. Tipos de martillos



Fuente: Schnaid F. (2008), Ensayos in situ en Geomecánica, El ensayo principal.

Donde:

A= Martillo brasileño, con guía unida al martillo.

B= Martillo de dona brasileño, con guía fija al yunque.

C= Martillo de dona de EE.UU., con guía fija al yunque.

D= Martillo de dona de EE.UU., con guía fija al yunque y tope superior para el martillo.

E= Martillo de seguridad de EE.UU.

F= Martillo de dona de Booros Co Ltda, accionado con gatillo.

G= Martillo de dona de EE.UU., accionado con gatillo.

H= Martillo de dona británico, accionado con gatillo.

I= Martillo de dona japonés, accionado con gatillo.

La geometría y las propiedades de los materiales de estos diferentes penetrómetros varían según su configuración de empleo en el ensayo, en la tabla (7) se puede apreciar la variación que puede tener el equipo respecto de una norma a otra, cada dispositivo entrega diferentes energías de entrada.

Como consecuencia, el proceso de penetración y la penetración real del muestreador reflejan la energía suministrada a la muestra en cada configuración de prueba.

Tabla 7. Detalles del SPT

Detalle	SPT^a	SPT^b
Peso de martillo (kg)	65,00	63,50
Altura de caída de martillo (m)	0,75	0,76
Altura de martillo (m)	0,23	0,53
Diámetro de martillo (m)	0,20	14,00
Área de barras (cm ²)	4,10	8,00
Peso de barras (kg/m)	3,230	6,30
Velocidad de impacto de martillo (m/s)	3,84	3,87
Área de muestreador (cm ²)	10,81	8,80

Longitud de muestreador (m)	0,45	0,45
Peso de muestreador (kg/m)	8,516	6,93
Energía Potencial (J)	478,00	474,00

Fuente: Schnaid F. (2008), Ensayos in situ en Geomecánica, El ensayo principal.

Donde:

a = Norma Brasileira NBR 6484.

b = ASTM D 1586.

De la discusión anterior se desprende claramente que, a pesar de su definición como prueba de penetración estándar, el SPT está lejos de estar estandarizado. A pesar de que el equipo y los procedimientos siguen los requisitos generales de IRTE, se utilizan diferentes equipos y técnicas en todo el mundo.

2.3.3 Aplicabilidad del ensayo SPT

El ensayo SPT es por naturaleza simple y puede ser intercalado con facilidad en cualquier sondeo de reconocimiento. Puede ejecutarse en casi cualquier tipo de suelo, incluso en rocas blandas o meteorizadas. Los resultados de la prueba, difundida ampliamente en todo el mundo, se correlacionan empíricamente con las propiedades específicas in situ del terreno. Existe una abundante bibliografía a este respecto. La gran mayoría de datos y correlaciones corresponden a terrenos arenosos. La presencia de gravas complica la interpretación, cuando no impide su realización. En resumen, el ensayo resulta apropiado para terrenos en los que predomina la fracción arena, con reserva tanto mayor cuanto mayor es la proporción de la fracción limo-arcilla o de fracción grava.

Tabla 8. Aplicabilidad del SPT

Parámetros del subsuelo	Aplicabilidad de SPT
Tipo de suelo	B
Perfil estratigráfico	B
Densidad relativa (Dr)	B
Ángulo de fricción Φ	C

Resistencia al corte	C
Presión neutra (U)	N
Relación de preconsolidación	N
Módulos E y G	N
Compresibilidad	C
Consolidación (cv)	N
Permeabilidad (k)	N
Curva (σ - ϵ)	N
Resistencia a licuefacción	A

Fuente: Elaboración propia

Donde:

A= Aplicabilidad alta.

B= Aplicabilidad moderada.

C= Aplicabilidad limitada.

N= Aplicabilidad nula.

2.4 FACTORES QUE AFECTAN EL RESULTADO

Este ensayo es uno de los más antiguos en geotecnia, y su uso universal y durante décadas, en todo tipo de terrenos, ha permitido establecer numerosas correlaciones con otros parámetros geotécnicos, así como la difusión de fórmulas empíricas para cálculos directos de capacidad portante y asentamientos, entre otros.

Inicialmente, el sistema de elevación y caída de la maza era de tipo manual, mediante un sistema de cabrestante, poleas y cuerdas. Evidentemente la energía de golpeo que suministraba este método no correspondía al 100% de energía teórica de una caída totalmente libre, ya que las pérdidas por rozamiento y otros factores restaban parte de la energía teóricamente disponible.

Esta energía teórica es de:

$$63,5 \text{ kg} * g * 0,76 \text{ m} = 473 \text{ Nm} = 473 \text{ J.}$$

Diversos estudios efectuados a lo largo del tiempo (Seed et al., 1985; Skempton, 1986; Cestari, 1990) han demostrado que los *SPT* realizados con el método antiguo (en uso en España al menos hasta 1.990), desarrollan una energía del orden del 60% de la teórica.

A partir de la fecha citada empezaron a utilizarse sistemas automáticos de elevación y caída, con lo que el rendimiento aumentó, ya que se eliminaron parte de la fricción y otras pérdidas existentes con anterioridad.

En cualquier caso, para el cálculo de correlaciones con otros parámetros geotécnicos se continúan aplicando las mismas fórmulas desarrolladas con el método antiguo, que proporciona el 60% de la energía. Resulta pues evidente que, si los *SPT* modernos dan mayor energía, el golpeo *N* resultante debe corregirse por un factor de energía, de manera que se obtenga un valor *SPT* normalizado, denominado *N60*.

2.4.1 N60

El *N60* es un factor de corrección de energía. De este modo: $N60 = N * Er/60$ siendo *Er* el porcentaje de energía de golpeo obtenida con los métodos automáticos y *N* el valor *SPT* medido en campo. Bosch & Ventayol Geoserveis, S.L. fue una de las primeras empresas españolas en disponer (1990) de un equipo de golpeo *SPT* automático, y desde aquel momento ha sido consciente de la necesidad de aplicar dicha corrección (Ventayol, 1999).

Existen también otras correcciones al valor *SPT* por factores variados como longitud de varillaje, presencia o no de camisa interior metálica, y por el grado de confinamiento; todas ellas recogidas por McGregor y Duncan (1998), así como en la nueva norma UNE EN ISO 22476-3:2006.

2.5 SPT TRÍPODE 107

Este equipo cuenta con un trípode que favorece al momento de instalar todo el equipo ya que se puede realizar de manera más fácil, también se encuentra adaptado un motor marca honda que va asegurado a una de las patas del trípode, la soga se sujeta a la bobina del motor dando dos vueltas. Para realizar el ensayo se debe hacer toda la instalación, ver que

la punta se encuentre debidamente alineada de forma vertical al punto donde se desea realizar el ensayo para así evitar que exista mayor rozamiento a la caída del martillo. Para facilitar el trabajo se debe encender el motor para que al momento de jalar la soga y soltarla sea más fácil para el operador.

2.6 CORRECCIONES

Según la norma actual del ensayo SPT, UNEEN ISO 22476-3:2006, el valor N de campo obtenido en el SPT debe sufrir la siguiente corrección:

$$N_{60} = N * \left(\frac{Er}{60}\right) * a * s * Cn$$

Donde:

Er = Factor de energía.

a = Factor de corrección por pérdidas de energía debidas a la longitud del varillaje.

s = Factor de corrección por tipo de muestreador.

Cn = Factor de corrección por tensión vertical debida a la sobrecarga del terreno en arenas.

2.6.1 Corrección por energía

La Norma UNE-EN-ISO-3:2006 especifica los siguientes valores a partir de mediciones realizadas:

- $Er/60 = 80/60 = 1,33 * N$, para ensayos SPT a partir de 10 m de profundidad.
- $Er/60 = 75/60 = 1,25 * N$, para ensayos SPT entre 6 m y 10 m de profundidad.
- $Er/60 = 65/60 = 1,10 * N$, para ensayos SPT entre 2 m y 6 m de profundidad.

Alternativamente, puede aplicarse la corrección con el factor multiplicador máximo de 1,33.

2.6.2 Corrección por longitud de varillaje

Longitud de varilla Factor de corrección a

Tabla 9. Corrección por longitud de varillaje

Longitud (m)	Corrección a
> 10	1,00
6 - 10	0,95
4 - 6	0,85
< 4	0,75

Fuente: Elaboración propia

2.6.3 Corrección por tipo de muestreador

Casi todos los tomamuestras SPT fabricados y utilizados aquí, no disponen de la camisa interior de zinc que sí utilizaba Terzaghi (1948). En consecuencia, la muestra tiene menor dificultad de entrar en la toma muestras, lo que reduce el golpeo. Según la Norma vigente nos da los siguientes valores:

Tabla 10. Corrección por tipo de muestreador

Característica	Corrección
Sin encamisamiento	1,00
Con encamisamiento	1,00
Arena densa, arcilla	0,80
Arena suelta	0,90

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Corrección por sobrecarga del terreno

Finalmente, y a efectos de comparación de resistencia entre suelos a distintas profundidades, existe una última corrección debido a la sobrecarga del terreno, C_n , que según la Norma UNE-EN es de 1,0 para tensiones verticales efectivas, al nivel del punto ensayado, de 100 kPa (1,0 kp/cm²), aumentando hasta 1,5 en ensayos con tensiones menores, y disminuyendo hasta 0,4 – 0,5 a profundidades que generen tensiones verticales efectivas de 400 kPa (4,0 kp/cm²).

A efectos prácticos, puede adoptarse la relación

$$C_n = (98/p')^{0,5} \quad CN = \left(\frac{1}{\sigma_{vo}}\right)^{0,56} \quad \text{Michele Jamiolkowski}$$

siendo p' (en kPa) la tensión vertical efectiva a la profundidad de ensayo.

Así pues, la aplicación de la normativa actual del ensayo **SPT** implica la necesidad de hacer una medida real de la energía librada por el dispositivo de golpeo de cada sonda.

Experiencias efectuadas en los últimos años determinan que, aun utilizando dispositivos automáticos con peso de la masa y altura de caída correctos, los valores de energía medidos difieren según modelos y marcas de sondas de perforación. (Ventayol & Fernández) $Da = \frac{m}{v}$ $V = \pi * r^2 * h$ $\sigma_{vo} = Da * H$

2.7 GRANULOMETRÍA

2.7.1 Generalidades

Se denomina granulometría a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Dentro de los suelos, se encuentran el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo.

Tabla 11. Escala granulométrica

Escala granulométrica	
Partícula	Tamaño
Arcillas	< 0,002mm
Limos	0,002 mm – 0,06 mm
Arenas	0,06 mm – 2 mm
Gravas	2 mm – 60 mm

Cantos rodados	60 mm – 250 mm
Bloques	> 250 mm

Fuente: Elaboración propia, Según Norma ASTM y AASTHO

Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASTHO, en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica.

Si bien se realiza una distribución de tamaños, esto no incide en la forma que puedan tener los granos del suelo, ya que al retener material en una malla se observa de diferentes tamaños y el porcentaje que se observa está basado estrictamente en los pesos que se retiene en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

El factor fundamental del ensayo es la curva granulométrica, que se dibuja en una escala demasiado grande.

Tabla 12. Tamaños de abertura de tamices

Tamaños nominales de abertura	
(mm)	ASTM
75	3"
63	2 ½"
50	2"
37.5	1 ½"
25	1"
19	¾"
9,5	3/8"
4,75	N°4
2	N°10
0,425	N°40
0,075	N°200

Fuente: Normativa ASTM

2.7.2 Metodología

Las cantidades ensayadas, dependerán del tipo de suelo que se tiene, así, por ejemplo: para suelos granulares se estima aproximadamente unos 500 gramos, para suelos arcillosos sin presencia de piedras puede variar entre 300 a 500 gramos.

- Método mecánico

Se procede a separar el material, hasta que los granos no se encuentren pegados o formados grumos, en caso de existir grumos hay que disgregarlos con la ayuda de rodillos u otro objeto, pero sin triturar las partículas verdaderas del suelo.

Los tamices para disponer para la parte gruesa del material son 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ⅜", N°4, N°10.

Los tamices para la parte final del suelo son: N°40 y N°200.

El método consiste en hacer pasar el material por los tamices de acuerdo a la disposición mencionada, para ellos se tiene que realizar un agitado de los tamices por un tiempo de 15 minutos.

Este tamizado puede ser manual o mecánico utilizando el Rop Tap, aunque luego hay que realizar una revisión para observar si ya no pasa material por cada malla.

Si el tamizado es manual, es muy práctico utilizar bandejas en donde se depositará cada material que pasa, luego estos identificarlos de acuerdo a la malla que se haya utilizado

Se procede a realizar el pesaje del material retenido en cada malla y lo que pasa el tamiz N°200.

- Método de lavado para suelos finos

Este método se usa para el material que pasa el tamiz N°10, donde también se puede realizar con una representación menor del peso total. Esto quiere decir que se puede usar un peso de 300 gramos aproximadamente.

La muestra se debe dejar reposar en agua hasta que ésta se sature completamente, logrando con el suelo una pasta suave, con características similares al barro o lodo. Generalmente se usa un tiempo de 24 horas o más, si es que se requiere un tiempo más corto utilizar 5 horas.

Sin perder el material se introduce la muestra en la malla N°200, luego con ayuda del agua se puede lavar el suelo, hasta que el agua pasante tome aspectos más claros sin sedimentación.

Luego el material que se retiene en la malla N°200, disponer dentro de un recipiente para realizar el secado del suelo y proceder a tamizar por las mallas N°40 y N°200.

Pesar el material retenido en cada malla dispuesta para el fino.

Se tienen que corregir los porcentajes que pasan de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\%Tci = \frac{Ti * T_{10}}{100}$$

Donde:

$\%Tci$ = Porcentaje que pasa corregido en cada malla de la fracción fina.

Ti = Porcentaje que pasa calculado para cada tamiz en la fracción fina

T_{10} = Porcentaje que pasa el tamiz N°10

2.8 LÍMITES DE ATTERBERG

Los límites de Atterberg se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan.

Entonces, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso.

- Límite líquido (LL). Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico.

- Límite plástico (LP). Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plástico y semisólido.

El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varia de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para

el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad). Se trata de la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por el científico sueco Albert Atterberg en el año 1911. Los límites de Atterberg son propiedades, valores de humedad de los suelos que se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

Atterberg (1911) realizó una serie de experimentos con suelos finos haciendo variar su contenido de humedad, con el objetivo de encontrar la relación que existe entre el contenido de humedad y la consistencia del suelo. Este investigador observó que para ciertos contenidos de humedad el suelo presentaba uno de los cuatro estados distintos de consistencia, que son: sólido, semisólido, plástico y líquido. Posteriormente Terzaghi y Casagrande idearon métodos para determinar estos contenidos de humedad específicos para los distintos estados de consistencia, en la actualidad a estos contenidos de humedad especiales se los conoce como límites de Atterberg o de consistencia. Puede hablarse de los límites de Atterberg en suelos que tienen un tamaño de partículas que pasan por el tamiz Nro. 40.

Los límites de Atterberg son las determinaciones que con más frecuencia se practican en los laboratorios de Mecánica del Suelo. Su utilidad deriva de que, gracias a la experiencia acumulada en miles de determinaciones, es suficiente conocer sus valores para poderse dar una idea bastante clara del tipo de suelo y sus propiedades. Como, por otra parte, se trata de determinaciones sencillas y rápidas, permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más complicados.

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo.

Debe tenerse en cuenta, no obstante, que todos los límites e índices, a excepción del límite de retracción, se determinan en suelos que han sido amasados para formar una mezcla

uniforme suelo-agua. Este proceso de amasado conduce al ablandamiento de la masa como consecuencia de la destrucción del ordenamiento de las moléculas bipolares de agua, a la reorientación de las láminas de arcilla y a la ruptura de la estructura que el suelo adquiere durante su formación por sedimentación o consolidación. Al cesar el proceso de amasado, las láminas de arcilla vuelven a orientarse y las moléculas de agua adquieren ligazón, pero la estructura del suelo no vuelve a ser la misma. Por tanto, habrá que señalar que los límites no dan indicación alguna sobre la estructura del suelo o de los enlaces residuales entre partículas que pudieran haberse desarrollado en el terreno natural.

Tabla 13. Estados de consistencia

Incremento del contenido de humedad (%)	Límite líquido	Estado líquido:	Fácilmente deformable. Tiene una consistencia similar a la mantequilla suave.
	Límite plástico	Estado plástico:	Se deforma sin romperse. Tiene una consistencia de mantequilla suave a masilla en endurecimiento.
	Límite de contracción	Estado de semisólido:	Al deformarse no recupera su forma inicial. Su consistencia es quebradiza similar a un queso.
		Estado sólido:	Se rompe antes de deformarse. Su consistencia es similar a un dulce duro.

Fuente: (Upcommons, s.f.) (Scribd, s.f.)

2.8.1 Límite líquido (LL)

Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semilíquido y plástico.

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela,

hasta que la zanja que previamente se ha recortado, se cierra en una longitud de 12 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. Dado que no siempre es posible que la zanja se cierre en la longitud de 12 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido: - graficar el número de golpes en coordenada semilogarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes. La humedad obtenida es el límite líquido. - según el método puntual, multiplicar por un factor (que depende del número de golpes) la humedad obtenida y obtener el límite líquido como el resultado de tal multiplicación.

2.8.2 Límite plástico (LP)

Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semisólidos y plástico.

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al límite plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición. (Scribd, s.f.)

Suelo plástico: Es un suelo que tiene un rango de contenido de humedad sobre el cual mantendrá su forma bajo secado.

2.8.3 Índice de plasticidad (IP)

Es la diferencia entre los límites líquido y plástico:

$$IP = LL - LP$$

Tabla 14. Indicación de la plasticidad de suelos

IP	Descripción
0	No plástico
1 – 5	Ligeramente plástico
5 – 10	Baja plasticidad
10 – 20	Mediana plasticidad
20 – 40	Alta plasticidad
> 40	Muy alta plasticidad

Fuente: Clasificación según normativa AASHTO

2.9 CLASIFICACIÓN

2.9.1 Generalidades

El objetivo de la clasificación de suelos es de ordenarlos en grupos en base a su granulometría, esto nos facilita la comparación de sus propiedades entre distintos tipos de suelos.

Existen dos métodos estándar de clasificación de suelos según su granulometría que son:

Sistema de clasificación según AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte). La clasificación AASHTO se usa en vías.

Sistema de clasificación según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). La clasificación SUCS se usa para cimentaciones. (Civilgeeks, s.f.)

2.9.2 S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Fue Arthur Casagrande quien en 1942 ideó este sistema genérico de clasificación de suelos, q fue empleado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los EE.UU. para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II Guerra Mundial.

Diez años más tarde, y vista la gran utilidad de este sistema en Ingeniería Civil, fue adoptado tentativamente por el Departamento de Ingeniería de los EE.UU. en 1942 y definitivamente presentado a la ASCE en 1948 (Casagrande 1932,1948).

La U.S.Army Corps of Engineers comenzó a emplearla en 1953 en tanto que fue ligeramente modificado por el *Bureau of Reclamation* en 1974, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados. (Crespo Villalaz, 2004)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS (IRAM 10509 y ASTM D 2487 y 2488) es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos.

Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En el siguiente esquema se muestran dichos símbolos y su significación:

Tabla 15. Simbología de los suelos según SUCS.

Símbolos de grupo (SUCS)			
Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Baja plasticidad	L
Turba	Pt	Alta plasticidad	H

Fuente: Terzaghi, K.y Peck, R. (1978). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.

Editorial El Ateneo. España.

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo:

Tabla 16. Tipología de suelos

Tipología de suelos SUCS			
Símbolo	Características generales		
GW	Gravas (>50% en tamiz N°4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente graduadas
GM		Con finos	Componente limoso
GC		(Finos > 12%)	Componente arcilloso
SW	Arenas (<50% en tamiz N°4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
SP			Pobremente graduadas
SM		Con finos	Componente limoso
SC		(Finos > 12%)	Componente arcilloso
ML	Limos	Baja Plasticidad (LL < 50)	
MH		Alta Plasticidad (LL < 50)	
CL	Arcillas	Baja Plasticidad (LL < 50)	
CH		Alta Plasticidad (LL < 50)	
OL	Suelos orgánicos	Baja Plasticidad (LL < 50)	
OH		Alta Plasticidad (LL < 50)	
Pt	Turba	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Terzaghi, K.y Peck, R. (1978). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Editorial El Ateneo. España.

Como puede deducirse de la anterior tabla, existe una clara distinción entre tres grandes grupos de suelos:

Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz N°200 (0,075 mm).

Suelos de grano fino (M y C): Formados por suelos con al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.

Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación.

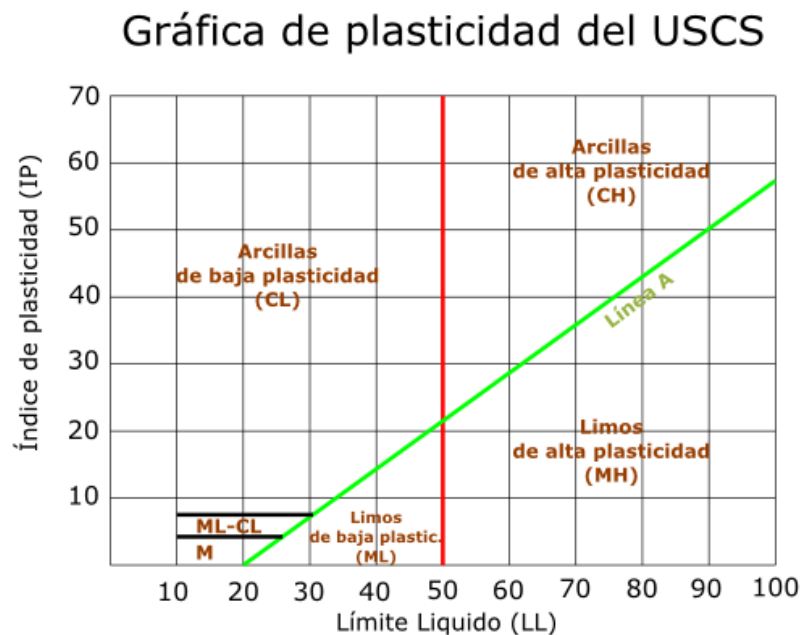
Asimismo, dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5% y un 12% de finos se clasificará como GW-GM.

Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (Ip). En este diagrama, conocido como la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan grandes líneas que actúan a modo de límites:

Línea A: $IP = 0,73 (LL - 20)$

Línea B: $LL = 50$

Figura 3. Carta de plasticidad



Fuente: Terzaghi, K.y Peck, R. (1978). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Editorial El Ateneo. España.

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio		Clasificación de suelos	
		Símbolo de grupo	Nombre del grupo
	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	Grava bien graduada GW
	Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	Grava mal graduada GP
Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Cumple los criterios para GW y GM	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	Grava limosa GM
	Cumple los criterios para GW y GC	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Grava arcillosa GC
	Cumple los criterios para GP y GM		Grava bien graduada con limo GW-GM
	Cumple los criterios para GP y GC		Grava mal graduada con limo GP-GM
Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	Arena bien graduada SW
	Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	Arena mal graduada SP
	Cumple los criterios para SW y SM	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	Arena limosa SM
	Cumple los criterios para SW y SC	IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	Arena arcillosa SC
Arenas El 50% o mas de la tracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	Cumple los criterios para SW y SM	Arena bien graduada con limo SW-SM
		Cumple los criterios para SW y SC	Arena bien graduada con arcilla SW-SC
		Cumple los criterios para SP y SM	Arena mal graduada con limo SP-SM
		Cumple los criterios para SP y SC	Arena mal graduada con arcilla SP-SC
Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	Arcilla de baja plasticidad CL
	Orgánicos	IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	Limo de baja plasticidad ML
Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno limite liquido - no secado < 0.75	Arcilla orgánica OL
	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	Arcilla de alta plasticidad CH
Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Orgánicos	IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	Limo de alta plasticidad MH
	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno limite liquido - no secado < 0.75	Arcilla orgánica OH
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro		Turba PT

Fuente: Terzaghi, K.y Peck, R. (1978). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.

Figura 4. Tabla de clasificación S.U.C.S.

El SUCS está basado en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. El tamaño de las partículas determina la naturaleza de las fuerzas que gobiernan el comportamiento de los suelos. Fuerzas de naturaleza eléctrica (fuerzas atractivas y repulsivas de van der Waals) predominan en partículas menores a 75 mm (Tamiz #200). (Bowles)

Desde el punto de vista del diseño, la velocidad de disipación del exceso de presión de poros discrimina entre análisis en condiciones “drenadas” o en condiciones “no drenadas”. Típicamente, las condiciones de carga “drenadas” están asociadas a suelos de grano grueso, en tanto que las de carga “no drenadas”, a suelos de grano fino. Sin embargo, un suelo de grano grueso, pero con la presencia de sólo ~10% de finos ve afectada grandemente su permeabilidad, haciendo que su valor cambie en órdenes de magnitud.

Consecuentemente, el SUCS tiene un rango del 5% al 12% de contenido de finos que modifica la clasificación de suelos. En efecto, un suelo granular con relación de vacíos $e \sim 0,6$ colma su espacio intersticial con ~5% a 15% de finos.

Por otro lado, los límites de Atterberg son escogidos para clasificar los suelos finos. Los ensayos de límites de consistencia deben ser realizados con el mismo fluido que estará involucrado durante la vida útil del proyecto ya que diferentes iones y concentraciones afectan la capa difusa y las fuerzas de repulsión. (Materias, s.f.)

2.10 ANÁLISIS DE DATOS CUANTITATIVOS

La estadística es una ciencia que estudia los métodos científicos, para reunir, organizar, resumir y analizar datos, así como para sacar conclusiones y tomar decisiones sobre la base de tales análisis.

Básicamente la estadística se clasifica de dos ramas, las cuales son estadística descriptiva y estadística inferencial.

2.10.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la ciencia que estudia a los métodos para reunir, clasificar, presentar y describir un conjunto de datos. Se considera que el estudio de un conjunto de datos es descriptivo, cuando simplemente se describen o analizan los datos.

Distribución de frecuencias

Las distribuciones de frecuencia se exponen, por lo general al inicio del estudio de los métodos estadísticos, debido a que proveen un método de organización de los datos que facilitan su comprensión y una base para simplificar el cálculo de medidas representativas de la población.

Una distribución de frecuencias consiste en la agrupación en diversas categorías o clases de las observaciones tomadas de una población, indicando el número de elementos que pertenecen a cada clase, así como la porción del total de datos que le corresponde a cada una de esas clases. Esta agrupación de los datos permite realizar un mejor análisis del comportamiento de los mismos e inclusive permite llegar a conclusiones sobre su distribución.

La distribución de frecuencias puede ser Discreta o Continua, según la variable sea cuantitativa discreta o cuantitativa continua.

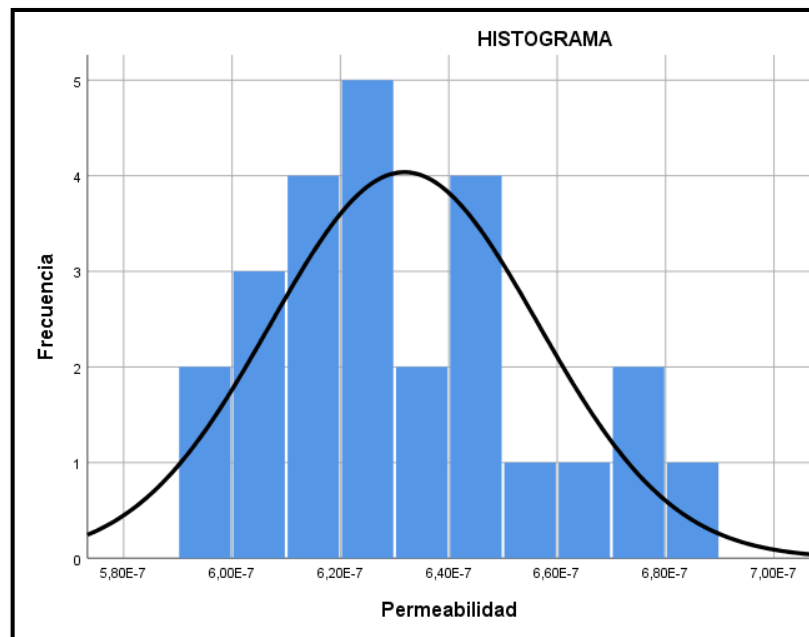
La representación gráfica de una distribución de frecuencias depende del tipo de datos que la constituya. Los datos agrupados en intervalos correspondientes a un carácter cuantitativo, pueden ser representados mediante un histograma.

Se llama histograma a una representación de rectángulos sobre un sistema de ejes coordenados XY. La altura de los rectángulos será proporcional a la frecuencia de clase. El ancho será proporcional a la amplitud de clase. Los rectángulos deben estar unidos entre sí.

Entonces sobre el eje de ordenadas (OY) se indica la frecuencia de clase, sobre el eje de abscisas (OX) se sitúan las marcas de clases, en la parte central de las bases de los rectángulos.

Se emplean los histogramas para representar a una clasificación de datos que es como usualmente se expresan los datos de variable continua, o también a una gran cantidad de datos de variable discreta.

Figura 5. Histograma de frecuencias



Fuente: Elaboración propia

Medidas estadísticas

Deben su nombre a la característica de que sus valores tienden a ocupar posiciones centrales o intermedias entre el menor y mayor valor del conjunto de datos. Por lo tanto, brindan información sobre el centro de la distribución. Las más usuales son: la media aritmética, la mediana, la media geométrica, la media armónica y la media cuadrática.

Media. - Se define media aritmética de una serie de valores como el resultado producido al sumar todos ellos y dividir la suma por el número total de valores.

Mediana. - Dado un conjunto de valores ordenados, su mediana se define como un valor numérico tal que se encuentra en el centro de la serie, con igual número de valores superiores a él que inferiores. Normalmente, la mediana se expresa como Me.

Moda. - En una serie de valores a los que se asocia una frecuencia, se define moda como el valor de la variable que posee una frecuencia mayor que los restantes. La moda se simboliza normalmente por M_o .

Medidas de variabilidad

Indican cuan dispersos o concentrados están los datos. Los más usuales son las que indican la concentración de los valores del conjunto de datos alrededor del valor medio, los más importantes son la desviación media, varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el recuento estándar.

Rango: El rango de un conjunto de datos es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo.

Desviación estándar: Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza

Varianza: Se define como la media de las diferencias cuadráticas de n puntuaciones con respecto a su media aritmética.

Asimetría y curtosis

Asimetría

Es una medida de forma de una distribución que permite identificar y describir la manera cómo los datos tienden a reunirse de acuerdo con la frecuencia con que se hallen dentro de la distribución. Permite identificar las características de la distribución de datos sin necesidad de generar el gráfico. Compara la simetría de una curva de frecuencias, respecto a la curva normal.

Tipos de asimetría:

- Asimetría negativa o a la izquierda: Se da cuando en una distribución la minoría de los datos está en la parte izquierda de la media. Este tipo de distribución presenta un alargamiento o sesgo hacia la izquierda.
- Simétrica: Se da cuando en una distribución se distribuyen aproximadamente la misma cantidad de los datos a ambos lados de la media aritmética. No tiene alargamiento o sesgo.
- Asimetría positiva o a la derecha: e da cuando en una distribución la minoría de los datos está en la parte derecha de la media aritmética. Este tipo de distribución presenta un alargamiento o sesgo hacia la derecha.

Curtosis

La curtosis mide el grado de agudeza o achatamiento de una distribución con relación a la distribución normal, es decir, mide cuán puntiaguda es una distribución. Compara el perfil de una curva de frecuencia, respecto a la curva normal.

Tipos de curtosis:

- Leptocúrtica= Existe una gran concentración.
- Mesocúrtica= Existe una concentración normal.
- Platicúrtica= Existe una baja concentración.

2.10.2 Confiabilidad

Bajo la denominación genérica de confiabilidad se agrupan todo un conjunto de métodos y técnicas utilizadas por los investigadores para estimar el grado de precisión con el que están midiendo sus variables; “la confiabilidad indica la consistencia del proceso de medición o de los resultados. Por lo tanto, no es correcto hablar de la confiabilidad de la una prueba o instrumento” (Bonilla, 2006; p. 1).

Referentes conceptuales

Hace más de cuarenta años, Robert L. Thorndike (en Muñiz, 1998) empezaba su famoso trabajo sobre confiabilidad con estas palabras: “Cuando medimos algo, bien sea en el campo de la física, de la biología o de las ciencias sociales, esa medición contiene una

cierta cantidad de error aleatorio. La cantidad de error puede ser grande o pequeña, pero está siempre presente en cierto grado” (p. 6). Sus palabras siguen vigentes en la actualidad, pues en lo esencial los problemas de la medición cambian poco, aunque los instrumentos de medida vayan y vengan.

Se refiere al grado en que la aplicación repetida del instrumento (a las mismas unidades de estudio en idénticas condiciones), produce iguales resultados. Implica precisión en la medición. Cuanto mayor en la diferencia entre medidas de las mismas características, realizadas en diferentes momentos, menos es la confiabilidad del instrumento. (Magnusson, 1975)

A partir de estas consideraciones, los autores definen la confiabilidad como la ausencia relativa de errores de medición en un instrumento de medida. (Magnusson, 1978).

Diversas definiciones de la confiabilidad son dadas partiendo de ciertas características del instrumento de medición. Sin embargo, una característica común a varios de ellos es la de considerar que mientras la validez se refiere a que se mide lo que se desea medir, la confiabilidad se refiere a la exactitud con que un instrumento de medida mide lo que mide (Magnusson, 1978). Tan solo denota algo que es consistente, no necesariamente consistentemente bueno o malo, sino tan solo consistente (Cohen y Swerdlik, 2001).

En otras palabras, grado en que una prueba, un experimento o un instrumento de medición entrega los mismos resultados cada vez.

Factores que pueden afectar la confiabilidad

La improvisación. - Algunas personas creen que elegir un instrumento de medición o desarrollar uno es algo fácil y que no requiere de supervisión alguna. Para poder construir un instrumento se requiere conocer muy bien la variable que se pretende medir y la teoría que la sustenta.

El no estar validados en el contexto donde se aplican. - Traducir un instrumento, aun cuando adaptemos los términos a nuestro lenguaje no es ni remotamente validarlo. Es simplemente un primer paso ya que validar un instrumento implica realizar una investigación extensa y compleja. Los grupos, las personas cambian y tienen valores

diferentes de acuerdo a la cultura. Por lo tanto, se deben aplicar instrumentos ya validados en el contexto.

El instrumento es inadecuado o no es empático. - Hay instrumentos que tienen un lenguaje muy elevado para el entrevistado o no toma en cuenta diferencias de sexo, edad nivel ocupacional y educativo; todo esto puede resultar en errores de validez y confiabilidad del instrumento de medición

Condiciones en que se aplica el instrumento. – Que esté instalado de manera correcta, segura y con estabilidad.

Aspectos mecánicos. - Que el instrumento tenga instrucciones precisas.

Técnicas para medir la confiabilidad

Cuando un investigador aplica un ensayo, prueba, o cualquier otro instrumento de medida, obtiene información, datos. Pero como saber, ¿cuánto error entrega los resultados de ese instrumento?

Responder estas preguntas es el objetivo de la confiabilidad, para tal propósito se han creado un conjunto de estrategias con este propósito, entre las que destacan:

- La correlación entre dos formas paralelas del test,
- La correlación entre dos mitades aleatorias del test corregida mediante la fórmula de Spearman-Brown.
- La correlación entre dos aplicaciones del mismo test a una muestra.

De manera simultánea a estas estrategias se desarrollaron un conjunto de fórmulas para medir la consistencia interna de la prueba, por lo que se estableció un nuevo rubro de la confiabilidad centrada en la consistencia interna. Entre las fórmulas más conocidas tenemos el coeficiente KR20 y KR21 (Kuder y Richardson), o el popular Coeficiente Alfa de Cronbach.

Aunque existen distintas formas de evaluar la confiabilidad de la medición realizada por el instrumento, se puede afirmar que las estrategias test-retest y las de consistencia interna suelen ser las más utilizadas (Muñiz, 1996 y 2003).

La estrategia test-retest consiste en la aplicación de un mismo instrumento a una misma muestra al menos dos momentos diferentes. No existe un criterio único respecto de cuál

debe ser el lapso adecuado entre la primera y segunda aplicación. Éste se establece en función de los fines del instrumento o la investigación (Muñiz, 1996).

Por su parte, las estrategias de consistencia interna permiten aplicar el instrumento tan sólo una vez. Las dos estrategias más utilizadas son la confiabilidad por mitades y el coeficiente alfa de cronbach.

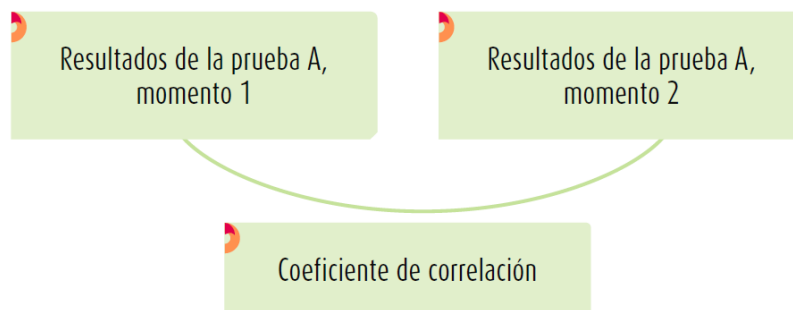
El procedimiento más utilizado (Muñiz, 1996 y 2003) para evaluar la consistencia interna de una prueba es el coeficiente Alfa de Cronbach.

La confiabilidad en Alfa de Cronbach es una generalización de las fórmulas KR para ítems de alternativas múltiples. El Alfa de Cronbach, cuyo cálculo emplea el promedio de todas las correlaciones existentes entre los ítems del instrumento que tributan al concepto latente que se pretende medir.

- **Test-retest**

Medida de estabilidad (confiabilidad por test-retest). En este procedimiento un mismo instrumento de medición se aplica dos o más veces a un mismo grupo de personas o casos, después de cierto periodo. Si la correlación entre los resultados de las diferentes aplicaciones es muy positiva, el instrumento se considera confiable (Rodríguez, 2006a y Krauss y Chen, 2003). Se trata de una especie de diseño de panel. Desde luego, el periodo entre las mediciones es un factor que hay que considerar. Si el periodo es largo y la variable o el contexto son susceptibles de cambios, ello suele confundir la interpretación del coeficiente de fiabilidad obtenido por este procedimiento. El proceso de cálculo con dos aplicaciones se representa en la figura 6.

Figura 6. Medida de estabilidad



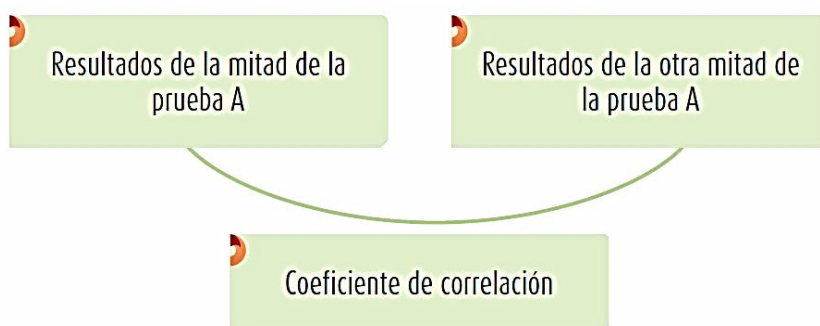
Fuente: Hernández Sampieri, R., (2014)

- **Método de mitades partidas (Split-Halves)**

El procedimiento anterior requiere cuando menos dos administraciones de la medición en la muestra. En cambio, el método de mitades partidas necesita sólo una aplicación de la medición.

Específicamente, el conjunto total de ítems o reactivos se divide en dos mitades equivalentes y se comparan las puntuaciones o resultados de ambas. Si el instrumento es confiable, las puntuaciones de las dos mitades deben estar muy correlacionadas (Rodríguez, 2006c y McKelvie, 2003). Una medición con baja puntuación en una mitad tenderá a mostrar también una baja puntuación en la otra mitad. El procedimiento se diagrama en la figura 7.

Figura 7. Medida de estabilidad



Fuente: Hernández Sampieri, R., (2014)

- **Medida de consistencia interna Alfa de Cronbach**

Alfa representa la consistencia interna del test, el grado que todos los ítems del test covarían entre sí. Se supone que las variables están relacionadas con la magnitud inobservable de interés. En particular, las N variables deberían realizar mediciones estables y consistentes, con un elevado nivel de correlación entre ellas.

El alfa de Cronbach permite cuantificar el nivel de fiabilidad de una escala de medida para la magnitud inobservable construida a partir de las n variables observadas.

El alfa de Cronbach no deja de ser una medida ponderada de las correlaciones entre las variables que forman parte de la escala.

Según el estudio de Hogan y Cols. (2000), el 75% de los artículos publicados utilizan el alfa de Cronbach como coeficiente para estimar la fiabilidad, entendida como consistencia

interna de los ítems que miden un constructo. Y, a pesar de las críticas que ha recibido (Green y cols., 1977; Green y Yang, 2015; Green y Hershberger, 2000; Huysamen, 2006; Kelley y Cheng, 2012; Raykov, 1998; Sijtsma, 2009; Zimmerman y cols., 1993; Zinbarg y cols., 2005) sigue siendo el estadístico de consistencia interna más utilizado en la actualidad.

Puede calcularse de dos formas: a partir de las varianzas o de las correlaciones de los ítems.

A partir de las varianzas, el alfa de Cronbach se calcula con la siguiente ecuación.

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i=0}^k S_i^2}{S_t^2} \right)$$

Dónde:

S_i^2 = Varianza del ítem i.

S_t^2 = Varianza de los valores totales observados.

k = Número de ítems.

El alfa de Cronbach no es un estadístico al uso, por lo que no viene acompañado de ningún p-valor que permita rechazar la hipótesis de fiabilidad en la escala. No obstante, cuanto más se aproxime a su valor máximo, 1, mayor es la fiabilidad de la escala. Además, en determinados contextos y por tácito convenio, se considera que los valores de alfa superiores a 0,7 o 0,8 son suficientes para garantizar la fiabilidad de la escala. (Frias-Navarro, D.(2022)

2.10.3 Análisis estadístico inferencial

Estadística inferencial

La estadística inferencial es la ciencia que estudia a los métodos que permiten generalizar o tomar decisiones en base a la información particular o parcial que presenta la estadística descriptiva. Se considera que el estudio de datos es inferencial, cuando se trata de inferir o predecir conclusiones de tal conjunto de datos. Sin embargo, cualquier generalización o predicción no será absoluta, estando su validez restringida por cierta probabilidad.

Entonces, la estadística inferencial se utiliza fundamentalmente para dos procedimientos vinculados:

- a) Probar hipótesis poblacionales
- b) Estimar parámetros

Distribución muestral

Una distribución de muestral es una distribución de probabilidad de una estadística obtenida de un mayor número de muestras extraídas de una población específica. La distribución muestral de una población dada es la distribución de frecuencias de un rango de resultados diferentes que posiblemente podrían ocurrir para una estadística de una población.

Generalmente nos interesa conocer una o más de las siguientes características de la distribución muestral.

- 1.- Su forma funcional (como aparece en su representación gráfica).
- 2.- Su media.
- 3.- Su desviación estándar (error estándar)

Nivel de significancia o significación

Es un nivel de la probabilidad de equivocarse y se fija antes de probar hipótesis inferenciales.

Existen dos niveles convenidos en las ciencias:

El nivel de significancia de 0,05, el cual implica que el investigador tiene 95% de seguridad para generalizar sin equivocarse y solo el 5% en contra. En términos de probabilidad, 0,95 y 0,05, respectivamente, ambos suman la unidad.

El nivel de significancia de 0,01, el cual implica que el investigador tiene 99% en su favor y 1% en contra para generalizar sin temor. Muy utilizado cuando las generalizaciones implican riesgos vitales para las personas.

Relación entre distribución muestral y el nivel de significancia

El nivel de significancia o significación se expresa en términos de probabilidad y la distribución muestral también como probabilidad.

Para ver si existe o no confianza al generalizar acudimos a la distribución muestral, con una probabilidad adecuada para la investigación. Dicho nivel se toma como un área bajo la distribución muestral. Es decir, que el valor estimado en la muestra no se encuentre en el área de riesgo y este lejos del valor de la distribución muestral.

El nivel de significación representa áreas de riesgo o confianza en la distribución muestral.

Prueba de hipótesis

La hipótesis estadística es la suposición que se realiza acerca de las características de una población. Es utilizada para verificarla o rechazarla tras realizar el estudio estadístico pertinente.

(<https://economipedia.com/definiciones/hipotesis-estadistica.html>.)

Hay dos tipos de análisis estadísticos que pueden realizarse para probar hipótesis: los análisis paramétricos y los no paramétricos. Cada tipo posee sus características y presuposiciones que lo sustentan; la elección de qué clase de análisis efectuar depende de los supuestos. De igual forma, cabe destacar que en una misma investigación es posible llevar a cabo análisis paramétricos para algunas hipótesis y variables, y análisis no paramétricos para otras. Asimismo, los análisis a realizar dependen del planteamiento, tipo de hipótesis y el nivel de medición de las variables que las conforman.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos decir si la hipótesis planteada acerca de la confiabilidad del N60 es correcta.

Análisis paramétrico

Para realizar análisis paramétrico debe partirse de los siguientes supuestos:

- 1.- La distribución poblacional de la variable dependiente es normal.
- 2.- El nivel de medición de las variables es por intervalos o razón.
- 3.- Cuando dos o más poblaciones son estudiadas, tienen una varianza homogénea.

A continuación, se muestra algunos de los métodos o pruebas estadísticas paramétricas:

- Coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal.
- Prueba t.
- Análisis de varianza de un factor ANOVA.

Coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal.

Regresión y correlación

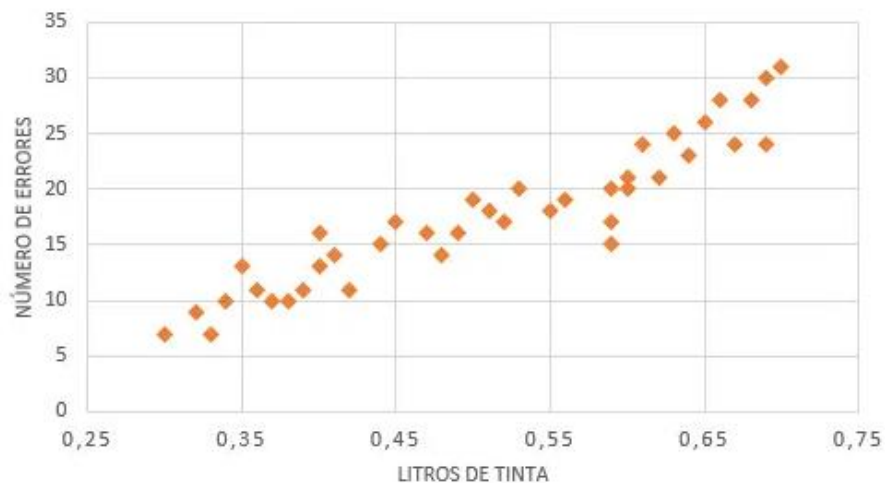
El análisis de regresión que trata de establecer la forma de la relación entre variables, es decir se trata de encontrar una relación funcional, que para el caso de dos variables será de la forma $Y = f(x)$, de manera que se pueda calcular el valor de una variable de acuerdo al valor que tome la otra variable.

El análisis de correlación que trata de establecer el grado de relación entre dos variables, es decir se trata de medir cuan relacionadas están entre si las variables.

Diagrama de dispersión

A los datos de una tabla, expresados como puntos en el plano coordenado se llama diagrama de dispersión. Las coordenadas rectangulares están conformadas por dos rectas perpendicularmente dispuestas. La recta horizontal se llama eje de abscisas, la recta vertical se llama eje de ordenadas. Todo punto en el plano se expresa como (X, Y) en forma general un punto conocido se designa por (X_i, Y_i) . Al conjunto de puntos en el plano se lo llama también nube de puntos.

Figura 8. Diagrama de dispersión



Fuente: https://www.ecured.cu/Medidas_de_dispersi%C3%B3n

Regresión

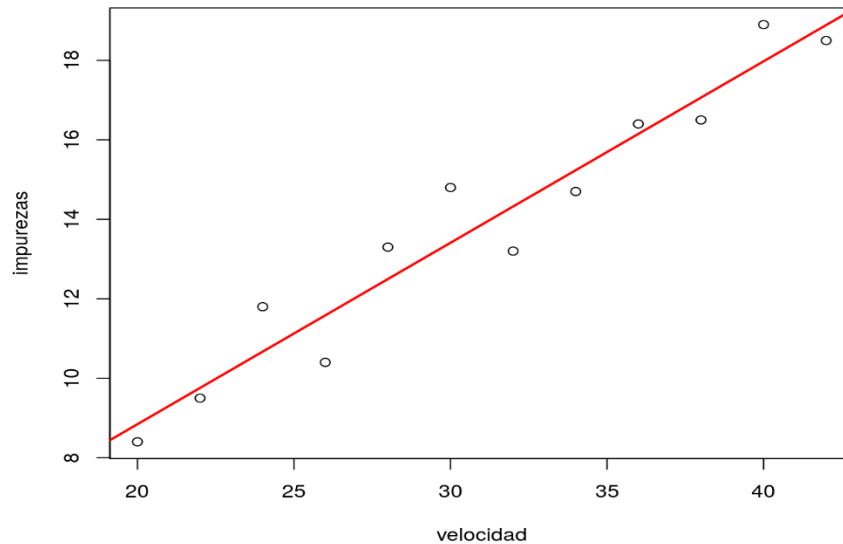
El análisis de regresión se procura conocer una ecuación o función que exprese la relación entre dos variables, sin embargo, debido a que existiera diversidad de ecuaciones posibles, debe buscarse aquella que mejor se represente la relación.

Regresión lineal simple

Cuando a los puntos de un diagrama de dispersión se trata de expresarlos por una recta, se llama regresión lineal simple. De acuerdo al diagrama de dispersión, donde se ubicaron todos los puntos conocidos, se aprecia que es posible insertar una recta que estará razonablemente cercana a todos los puntos. Es decir que es posible representar a todos los

puntos por la ecuación de una recta. Cuando se presenta un diagrama de dispersión de este tipo se dice que hay una relación lineal.

Figura 9. Regresión lineal simple



Fuente: https://www.ecured.cu/Regresi%C3%B3n_lineal

Regresión no lineal

La regresión no lineal es un método para encontrar un modelo no lineal para la relación entre la variable dependiente y un conjunto de variables independientes. A diferencia de la regresión lineal tradicional, que está restringida a la estimación de modelos lineales, la regresión no lineal puede estimar modelos con relaciones arbitrarias entre las variables independientes y las dependientes. Esto se lleva a cabo usando algoritmos de estimación iterativos.

Ecuaciones de curvas de tendencia

Otras formas de ecuaciones generales con las cuales se puede procurar el ajuste de curvas de un diagrama de dispersión son:

Lineal (Línea recta)	$Y = a_0 + a_1 \cdot X$
Lineal múltiple (Plano)	$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2$
Curva cuadrática (Parábola)	$Y = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2$
Curva cubica	$Y = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + a_3 \cdot X^3$
Hipérbola	$Y = \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot X}$

Curva exponencial

$$Y = a \cdot e^{b \cdot x}$$

Curva potencial

$$Y = a \cdot X^b$$

Para elegir la ecuación a emplear, es conveniente trazar previamente el diagrama de dispersión, para observar su tendencia general y de acuerdo a la forma obtenida decidir.

Una decisión más precisa se obtiene luego de calcular en cada caso sus coeficientes de correlación.

Correlación

El análisis de correlación trata de establecer el grado de relación entre dos variables, es decir se trata de medir cuán dependiente es una variable de la otra. Se entiende que existe correlación entre dos variables, cuando es evidente que al variar una de ellas, también se produce variación de la otra. Cuando se trata de la relación entre dos variables, se llama correlación simple. A la relación entre tres o más variables se llama correlación múltiple. Cuando la relación entre dos variables se la representa por una recta se la llama correlación lineal. Si la relación se la representa por una curva cualquiera, se tiene una correlación no lineal. Si de un conjunto de puntos, se traza su diagrama de dispersión, es posible observar las tendencias que muestran, para concluir razonablemente cual es el tipo de correlación que muestran.

Coefficiente de correlación de Pearson

Para medir el grado de relación existente entre variables, se usa el coeficiente de correlación. Si entre las variables X, Y logra establecerse una relación funcional de la forma $Y=f(X)$.

$$R = \pm \sqrt{\frac{\sum(Y_{Est} - \bar{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

Donde:

Y = Dato inicial de esta variable.

\bar{Y} = Media aritmética.

Y_{Est} = Valor de Y obtenido en la ecuación.

El cálculo de este coeficiente de correlación requiere que se conozca plenamente la relación funcional entre las variables $Y = f(X)$.

Interpretación: El coeficiente R puede variar de -1 a +1, donde:

-1,00 = Correlación negativa perfecta.

-0,90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0,75 = Correlación negativa considerable.

-0,50 = Correlación negativa media.

-0,25 = Correlación negativa débil.

0,00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0,10 = Correlación positiva muy débil.

+0,25 = Correlación positiva débil.

+0,50 = Correlación positiva media.

+0,75 = Correlación positiva considerable.

+0,90 = Correlación positiva muy fuerte.

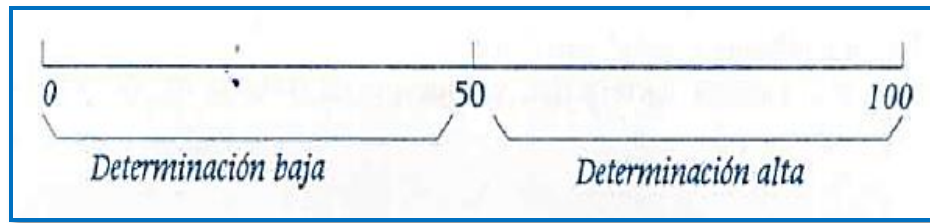
+1,00 = Correlación positiva perfecta.

Coefficiente de determinación

Para efectuar comparaciones, se emplea el coeficiente de determinación. El coeficiente de determinación es el cuadrado del coeficiente de correlación: R^2 .

El coeficiente de determinación es un número positivo que varía entre 0 y 1, permite indicar el grado de certeza con que una variable depende de la otra. Al multiplicar por 100 el coeficiente de determinación será un porcentaje de validez con que se afirma que una variable depende de otra.

Figura 10. Interpretación del coeficiente de determinación



Fuente: Estadística y Probabilidades, Víctor Chungara Castro

- **Prueba T**

Es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias en una variable.

La prueba t se basa en una distribución muestral o poblacional de diferencia de medias conocida como la distribución t de Student que se identifica por los grados de libertad, los cuales constituyen el número de maneras en que los datos pueden variar libremente. Son determinantes, ya que nos indican qué valor debemos esperar de t, dependiendo del tamaño de los grupos que se comparan.

Cuanto mayor número de grados de libertad se tengan, la distribución t de Student se acercará más a ser una distribución normal y usualmente, si los grados de libertad exceden los 120, la distribución normal se utiliza como una aproximación adecuada de la distribución t de Student.

Los grados de libertad se calculan con la fórmula siguiente, en la que n1 y n2 son el tamaño de los grupos que se comparan:

$$gl = (n1 + n2) - 2$$

Vogt (1999) señala que los grados de libertad indican cuántos casos fueron usados para calcular un valor estadístico en particular.

- **Análisis de varianza de un factor anova**

Es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos diferentes significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas. La prueba t se aplica para dos grupos y el

análisis de varianza unidireccional se usa para tres, cuatro o más grupos. Aunque con dos grupos se puede utilizar también.

Hipótesis: De diferencia entre más de dos grupos. La hipótesis de investigación propone que los grupos difieren significativamente entre sí y la hipótesis nula propone que los grupos no difieren significativamente entre sí.

VARIABLES: Una variable independiente y una variable dependiente.

Nivel de medición de las variables: La variable independiente es categórica y la dependiente es por intervalos o razón.

El hecho de que la variable independiente sea categórica significa que es posible formar grupos diferentes. Puede ser una variable nominal, ordinal, por intervalos o de razón.

Interpretación: el análisis de varianza unidireccional produce un valor conocido como F o razón F, que se basa en una distribución muestral, conocida como distribución F, la cual es otro miembro de la familia de la familia de distribuciones muestrales. La razón F compara las variaciones en las puntuaciones debidas a dos diferentes fuentes: variaciones entre los grupos que se comparan y variaciones dentro de los grupos. Si el valor de F es significativo implica que los grupos difieren entre sí en sus promedios. Entonces se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la nula.

Análisis no paramétrico

Para realizar los análisis no paramétricos debe partirse de las siguientes consideraciones:

- La mayoría de estos análisis no requieren de presupuestos acerca de la forma de la distribución poblacional. Aceptan distribuciones no normales (distribuciones “libres”).
- Las variables no necesariamente tienen que estar medidas en un nivel por intervalos o de razón; pueden analizar datos nominales u ordinales. De hecho, si se quieren aplicar análisis no paramétricos a datos por intervalos o razón, éstos necesitan resumirse a categorías discretas (a unas cuantas). Las variables deben ser categóricas.

Las pruebas no paramétricas más utilizadas son:

- **Pruebas para una muestra:** Chi-cuadrado (bondad de ajuste con variables categóricas),

Binomial (proporciones y cuantiles), Rachas (aleatoriedad) y Kolmogorov-Smirnov (bondad de ajuste con variables cuantitativas).

- **Pruebas para dos muestras independientes:** U de Mann-Whitney, Kolmogorov-Smirnov, Reacciones extremas de Moses y Rachas de Wald-Wolfowitz.
- **Pruebas para varias muestras independientes:** H de Kruskal-Wallis y Mediana.
- **Pruebas para dos muestras relacionadas:** Wilcoxon, Signos y McNemar.
- **Pruebas para varias muestras relacionadas:** Friedman, W de Kendall y Q de Cochran.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras. -

En estadística, la prueba de Kolmogórov-Smirnov (también prueba K-S) es una prueba no paramétrica que determina la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

Esta prueba sirve para contrastar la hipótesis de que dos muestras proceden de la misma población. Para ello, compara las funciones de distribución (funciones de probabilidad acumuladas) de ambas muestras: $F_1(X_i)$ y $F_2(X_i)$. A diferencia de lo que ocurre con la prueba U de Mann-Whitney, que permite comparar dos promedios poblacionales, la prueba de Kolmogorov-Smirnov es sensible a cualquier tipo de diferencia entre las dos distribuciones (tendencia central, simetría, variabilidad, etc.).

2.11 ESTRATEGIAS PARA DETERMINAR LA CONFIABILIDAD

2.11.1 Programas estadísticos para determinar la confiabilidad

- **Statgraphics**

Statgraphics es un paquete estadístico profesional, es decir, proporciona los tipos de análisis estadísticos más comunes, y proporciona otros instrumentos necesarios en el análisis de los datos, tales como editor de datos, utilidades para manejar los ficheros de datos, opciones para cambiar parámetros del sistema y ayudas. Statgraphics usa varios tipos de ficheros, entre ellos, los siguientes:

1. Ficheros de dato: En ellos introducimos los datos a analizar. Para realizar un análisis estadístico es necesario que haya un fichero de datos abierto.
2. Ficheros Statfolio: Estos son ficheros que podemos grabar con los resultados de nuestros análisis, para tenerlos disponibles en el futuro. El Statfolio incluye también el

fichero de datos, así como todas las ventanas de resultados que no se hubieran cerrado al grabar el Statfolio.

3. Statreporter: A medida que se analizan los datos.

Regresión y correlación con Statgraphics

En Statgraphics hay varios programas relacionados con la correlación y regresión. Uno de ellos se obtiene a partir de las opciones DEPENDENCIA – REGRESIÓN SIMPLE, cuya ventana de entrada de variables nos pide las variables que tomamos como Y (variable dependiente o explicada) y X (variable independiente o explicativa).

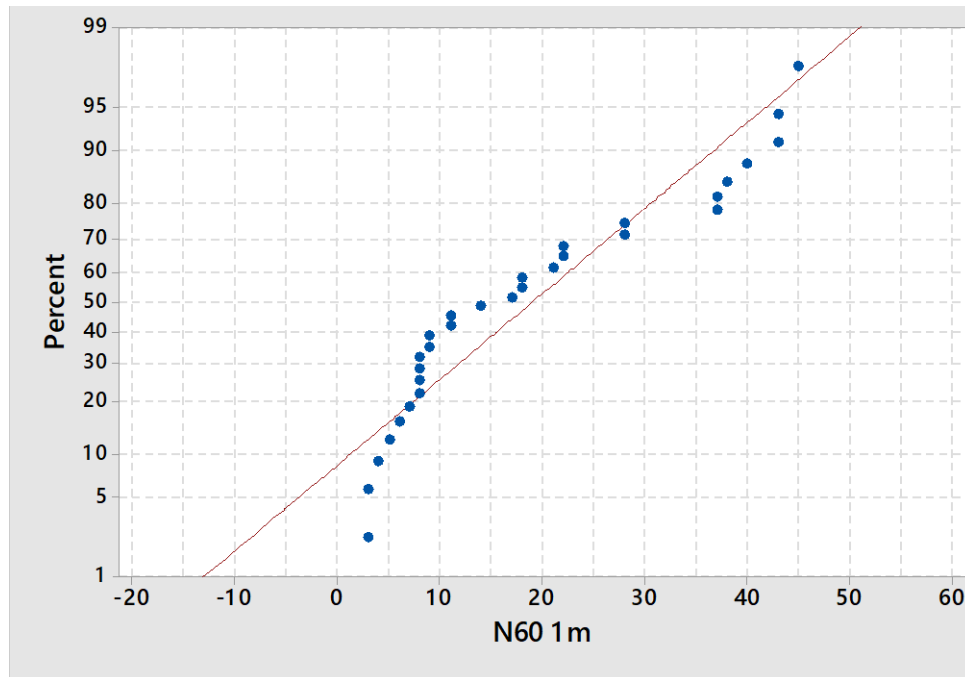
Es importante darse cuenta cuál variable tomamos como Y y como X, porque el programa encontrará una ecuación de Y en función de X (que no siempre coincide con la ecuación que da X en función de Y).

Este programa presenta una gran cantidad de información:

- Modelo ajustado: Se indica en la primera línea (Modelo Lineal: $Y = a + b \cdot X$);
- Variables dependiente e independiente: (líneas segunda y tercera);
- Parámetros del modelo (a es la intersección con el origen o "ordenada"; Coeficiente de correlación; en nuestro caso Coeficiente de Correlación = 1, que es el máximo valor del coeficiente de correlación;
- Coeficiente de determinación o correlación al cuadrado.

El programa tiene diversas representaciones gráficas. La más útil es la de gráfico del modelo ajustado que dibuja la curva ajustada sobre la nube de puntos. Cambiando el tipo de función en opciones de análisis podemos ver también visualmente cuál de los modelos es más ajustado a los datos. El coeficiente de correlación calculado para cada modelo y su cuadrado (proporción de varianza explicada) nos permite elegir entre varios modelos aquél que proporciona la mayor proporción de varianza explicada para el conjunto de datos.

Figura 11. Dibujo del modelo ajustado a la nube de puntos



Fuente: Statgraphics

Evaluación de la normalidad de una distribución

Para decidir si podemos describir una distribución de datos dada por una curva normal, debemos comprobar si en nuestros datos se cumplen las propiedades de las distribuciones normales.

- En primer lugar, comprobaremos que nuestra variable es numérica, pues la distribución normal se refiere a variables numéricas y no a variables cualitativas. Será también necesario que la variable sea continua o que, si es discreta, el número de valores distintos sea numeroso y la forma del histograma se aproxime a la distribución normal.
- Conviene representar los datos gráficamente y comparar con la función de densidad normal. Un histograma, un diagrama de tallos y hojas o un gráfico de caja, pueden revelar aspectos no normales de una distribución, tales como asimetría pronunciada, intervalos vacíos, o demasiados valores atípicos.

- **IBM SPSS Statistics**

Correlación

El procedimiento Correlaciones bivariadas calcula el coeficiente de correlación de Pearson, la rho de Spearman y la tau-*b* de Kendall con sus niveles de significación. Las correlaciones miden cómo están relacionadas las variables o los órdenes de los rangos. Antes de calcular un coeficiente de correlación, inspeccione los datos para detectar valores atípicos (que pueden generar resultados equívocos) y evidencias de una relación lineal. El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de asociación lineal. Dos variables pueden estar perfectamente relacionadas, pero si la relación no es lineal, el coeficiente de correlación de Pearson no será un estadístico adecuado para medir su asociación.

Los valores de intervalo de confianza están disponibles para Pearson y Spearman.

Normalidad

Diagramas de caja

Estas alternativas controlan la presentación de los diagramas de caja cuando existe más de una variable dependiente. Niveles de los factores juntos genera una presentación para cada variable dependiente. En cada una se muestran diagramas de caja para cada uno de los grupos definidos por una variable de factor. Dependientes juntas genera una presentación para cada grupo definido por una variable de factor. En cada una se muestran juntos los diagramas de caja de cada variable dependiente. Esta disposición es de gran utilidad cuando las variables representan una misma característica medida en momentos distintos.

Descriptivos

La sección Descriptivos permite seleccionar gráficos de tallo y hojas e histogramas.

Gráficos con pruebas de normalidad

Muestra los diagramas de probabilidad normal y de probabilidad sin tendencia. Se muestra el estadístico de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significación de Lilliefors para contrastar la normalidad. Si se especifican ponderaciones no enteras, se calculará el estadístico de Shapiro-Wilk cuando el tamaño de la muestra ponderada esté entre 3 y 50.

Si no hay ponderaciones o éstas son enteras, se calculará el estadístico cuando el tamaño de la muestra esté entre 3 y 5.000.

Análisis de fiabilidad

El análisis de fiabilidad permite estudiar las propiedades de las escalas de medición y de los elementos que componen las escalas. El procedimiento Análisis de fiabilidad calcula un número de medidas de fiabilidad de escala que se utilizan normalmente y también proporciona información sobre las relaciones entre elementos individuales de la escala. Se pueden utilizar los coeficientes de correlación intraclase para calcular estimaciones de la fiabilidad inter-evaluadores.

Estadísticos: descriptivos para cada variable y para la escala, estadísticos de resumen comparando los elementos, correlaciones y covarianzas entre elementos, estimaciones de la fiabilidad, tabla de ANOVA, coeficientes de correlación intraclase, T cuadrado de Hotelling y prueba de aditividad de Tukey.

Modelos: Están disponibles los siguientes modelos de fiabilidad:

Alfa (Cronbach)= Este modelo es un modelo de consistencia interna, que se basa en la correlación entre elementos promedio.

Dos mitades= Este modelo divide la escala en dos partes y examina la correlación entre dichas partes.

Guttman= Este modelo calcula los límites inferiores de Guttman para la fiabilidad verdadera.

Paralelo= Este modelo asume que todos los elementos tienen varianzas iguales y varianzas error iguales a través de las réplicas.

Paralelo estricto= Este modelo asume los supuestos del modelo paralelo y también asume que las medias son iguales a través de los elementos.

- **Minitab 18**

Prueba de normalidad

La hipótesis nula es que los datos se comportan como una distribución Normal contra la alternativa de que no siguen tal función. En el caso de que el p-valor sea menor que el alfa,

nivel de significación fijado por el investigador (por defecto de 0,05), se rechaza el que los valores de la variable continua de interés se distribuyen Normalmente. Existen procedimiento de transformación de datos, uno de ellos es estandarizar (tipificar), esto es, restar la media y dividir por la desviación típica cada valor de la variable para que, de esta manera, se cumpla la normalidad. Otras operaciones que se utilizan pueden ser la de aplicar logaritmos, como puede ser el logaritmo neperiano, fácilmente revertible después la transformación con su inversa, la exponencial, además de algunas otras transformaciones. (<https://estamatica.net/minitab-estadistica-para-ingenieros/>)

Realizar una prueba de normalidad

Los resultados de la prueba indican si usted debe rechazar o no puede rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una población distribuida normalmente. Puede realizar una prueba de normalidad y producir una gráfica de probabilidad normal en el mismo análisis. La prueba de normalidad y la gráfica de probabilidad suelen ser las mejores herramientas para evaluar la normalidad.

Tipos de pruebas de normalidad

Los siguientes son tipos de pruebas de normalidad que puede utilizar para evaluar la normalidad.

Prueba de Anderson-Darling

Esta prueba compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Si la diferencia observada es adecuadamente grande, usted rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población.

Prueba de normalidad de Ryan-Joiner

Esta prueba evalúa la normalidad calculando la correlación entre los datos y las puntuaciones normales de los datos. Si el coeficiente de correlación se encuentra cerca de 1, es probable que la población sea normal. El estadístico de Ryan-Joiner evalúa la fuerza de esta correlación; si se encuentra por debajo del valor crítico apropiado, usted rechazará

la hipótesis nula de normalidad de la población. Esta prueba es similar a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales. Si esta diferencia observada es adecuadamente grande, la prueba rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población. Si el valor p de esta prueba es menor que el nivel de significancia (α) elegido, usted puede rechazar la hipótesis nula y concluir que se trata de una población no normal. (<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>)

Correlación

La gráfica de matriz se usa para evaluar visualmente la relación entre cada combinación de variables. Las relaciones pueden ser lineales, monótonas o ninguna de estas.

- El coeficiente de correlación de Pearson más alto se encuentra entre Empleo y Residencia. Este valor de 0.952 representa una relación positiva entre las variables. A medida que Empleo aumenta, Residencia también aumenta. El intervalo de confianza de 95% es 0,901 – 0,977.
- El coeficiente de correlación de Pearson entre Tarjetas de crédito y Ahorros es – 0,410. A medida que aumenta el número de tarjetas de crédito, los ahorros tienden a disminuir. El intervalo de confianza de 95% oscila de –0,671 a –0,059.

Se utiliza también la gráfica de matriz para buscar valores atípicos que pueden influir en gran medida en los resultados. Por ejemplo, la fila 6 incluye un punto de datos extremo que pudiera influir en la correlación entre las variables. (<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>)

2.11.2 Verificar que el equipo cumpla con todas las condiciones establecidas por la Norma ASTM 1586

Verificar que el equipo cumpla con las normas establecidas del ASTM 1586, las cuales son:

- Maza de 63,5 kg.
- Altura de caída: 76,00 cm
- Toma muestras: de diámetro externo = (50 mm ó 2 pulgadas). Figura 3
- Saca muestras: de diámetro interno = (35 mm ó 1 3/8 pulgadas).
- Variante con diámetro interno 38mm y tubo tomamuestras (diámetro interno final 35mm)
- Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
- Barras de sondeo.
- Cabeza de golpeo.

Nos garantiza que el equipo se encuentra en buenas condiciones y permite tener una mayor credibilidad en los resultados obtenidos, los cuales ayudan a la confianza que se obtiene de los mismos.

Otro punto es verificar que el personal ejecute el ensayo de manera correcta, ya que estos influyen en los resultados del ensayo.

2.11.3 Contar con personal capacitado

Al momento de realizar los ensayos se debe contar con personal adecuado, el cual debe estar capacitado ya que esto influye de manera directa en los resultados obtenidos.

Al no contar con personal adecuado el cual no cuente con conocimientos previos se puede tener diversos errores al momento de realizar los ensayos, lo cual influye en el tiempo en el que se realiza y la calidad de los resultados obtenidos. Estos pueden afectar desde la instalación del equipo, lo cual implica un riesgo para el personal , hasta la lectura errónea de los resultados.

CAPÍTULO III
DESARROLLO EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUCCIÓN

- Para desarrollar el presente trabajo se hizo la aplicación de los diferentes ensayos de laboratorio, como ser: Granulometría, Límites de Atterberg, SPT con el equipo TRIPODE 107 y la respectiva clasificación del tipo de suelo en estudio. Luego de obtener los resultados y la respectiva corrección de N60 en cada punto se determinará el grado de confiabilidad que presenta el equipo SPT TRIPODE 107.

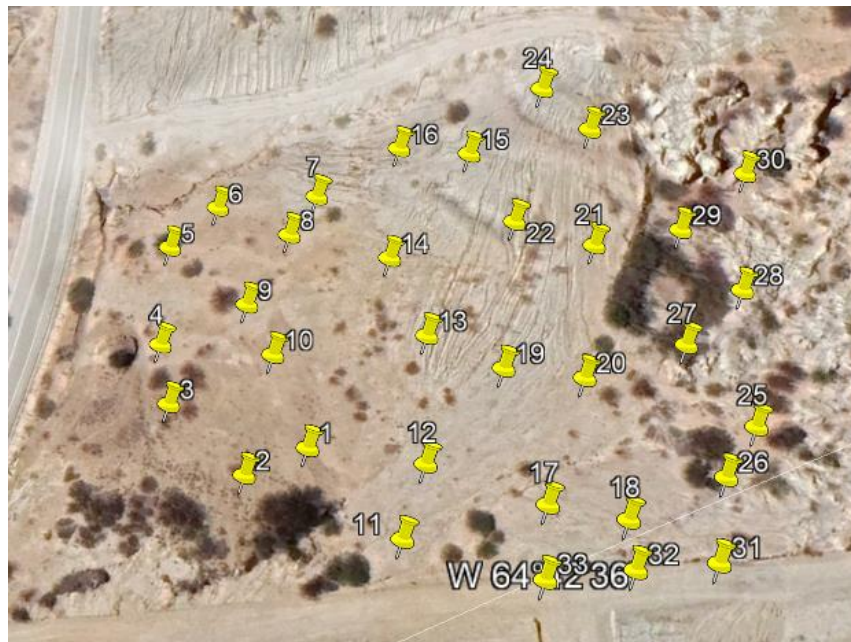
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EN ESTUDIO

3.2.1 Descripción y ubicación

- La zona de estudio que se tomó para este proyecto se encuentra en el barrio San Blas, ubicado en las coordenadas:

Latitud: 21°35'09,54" S Longitud: 64°42'34,08" O

Figura 12. Puntos de extracción del Barrio San Blas



Fuente: Imagen tomada del Google earth

3.2.2 Coordenadas de la zona de estudio

Las coordenadas donde se realizaron los ensayos, son los siguientes:

Tabla 17. Ubicación de pozos

Pozo	Latitud	Longitud	Pozo	Latitud	Longitud
1	21°35'10,48"S	64°42'34,70"O	16	21°35'11,71"S	64°42'33,03"O
2	21°35'10,06"S	64°42'34,69"O	17	21°35'11,68"S	64°42'35,69"O
3	21°35'9,77"S	64°42'34,02"O	18	21°35'12,07"S	64°42'35,99"O
4	21°35'9,85"S	64°42'33,60"O	19	21°35'11,77"S	64°42'34,74"O
5	21°35'10,12"S	64°42'32,98"O	20	21°35'12,20"S	64°42'35,01"O
6	21°35'10,50"S	64°42'32,83"O	21	21°35'12,58"S	64°42'34,23"O
7	21°35'11,11"S	64°42'33,09"O	22	21°35'12,19"S	64°42'33,86"O
8	21°35'10,86"S	64°42'33,27"O	23	21°35'12,81"S	64°42'33,55"O
9	21°35'10,45"S	64°42'33,62"O	24	21°35'12,63"S	64°42'33,18"O
10	21°35'10,49"S	64°42'34,03"O	25	21°35'13,01"S	64°42'35,76"O
11	21°35'10,81"S	64°42'35,52"O	26	21°35'12,70"S	64°42'35,98"O
12	21°35'11,11"S	64°42'35,12"O	27	21°35'12,84"S	64°42'35,08"O
13	21°35'11,41"S	64°42'34,33"O	28	21°35'13,31"S	64°42'34,89"O
14	21°35'11,39"S	64°42'33,74"O	29	21°35'13,11"S	64°42'34,35"O
15	21°35'12,08"S	64°42'33,32"O	30	21°35'13,65"S	64°42'34,16"O

Fuente: Elaboración propia.

- Las siguientes coordenadas son de los puntos donde se realizaron ensayos, pero se rechazaron debido a alteraciones en el terreno.

Tabla 18. Ubicación de pozos que no se tomaron en cuenta

Pozo	Latitud	Longitud
31	21°35'12,44"S	64°42'36,46"O
32	21°35'11,98"S	64°42'36,29"O
33	21°35'11,48"S	64°42'36,12"O

Fuente: Elaboración propia.

3.3 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

3.3.1 Toma de muestras

Se procede a verificar que el equipo cumpla con las especificaciones de la norma.

3.3.1.1 Equipo utilizado

Se utilizó el equipo SPT Trípode 107, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 19. Características del martillo

Peso del martillo	63,50	kg
Altura de caída	76,20	cm
Diámetro tomamuestra	3,50	cm

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Preparación del equipo SPT



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2 Procedimiento de extracción de la muestra

Tabla 20. Procedimientos del ensayo de penetración estándar

Procedimiento	
<p>Alistar todo el equipo y herramientas necesarios para realizar el ensayo y asegurar bien el equipo para poder trasladarlo al lugar de ensayo.</p>	
<p>Una vez en el lugar, se procede a armar el equipo con la ayuda del técnico de laboratorio y los ayudantes, asegurándose de que cada pieza este en el lugar correcto.</p>	

Una vez instalado el equipo y verificado que esté en una zona estable y con cada pata del trípode bien apoyadas, en la pata central del trípode se debe instalar el motor, el cual debe estar bien asegurado y apoyado de forma estable. Se procede a elevar el martillo de golpeo, mediante una soga, la cual está conectada al motor mediante dos vueltas.



Para poder empezar el ensayo en el punto establecido, se verifica de cada lado que el martillo se encuentre de forma perpendicular al punto de ensayo. En los primeros golpes se puede utilizar una soga para controlar que con la caída del martillo no se mueva la punta del punto de ensayo.



Al jalar la sogá que se encuentra conectada al motor, de forma inmediata se empieza a mojar la sogá ya que debido a la fricción que existe entre la sogá y la bobina del motor, este tiende a calentarse rápidamente.



Cuando se tiene la profundidad deseada de cambia la punta de golpeo por una la cuchara partida o tomamuestra para extraer el material de los 45 cm. De golpeo. En el caso de la profundidad de 3 metros, se debe colocar una extensión.



Para poder retirar el tomamuestra se procede a realizar golpes en forma inversa, de manera que los golpes se den hacia arriba y poder extraer el tomamuestra. Una vez extraído del punto, se desarma el tomamuestra o cuchara partida para poder sacar el material obtenido y se lo procede a guardar en bolsas para que estas no pierdan humedad.



Fuente: Elaboración propia

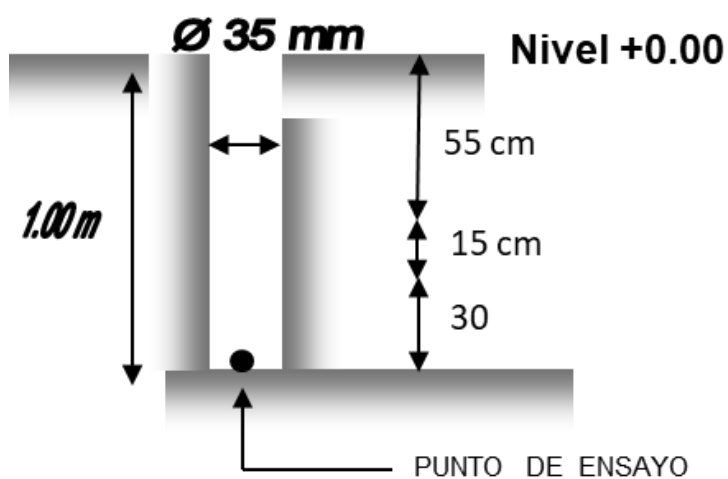
Se obtuvo los siguientes datos del punto N°1 a 1 metro de profundidad.

Tabla 21 . Número de golpes SPT del pozo 1

Punto	Número de golpes (cm)			N spt
N°	15	30	45	30 (cm)
1	7,00	9,00	10,00	19,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Diagrama de ejecución de ensayo a 1m



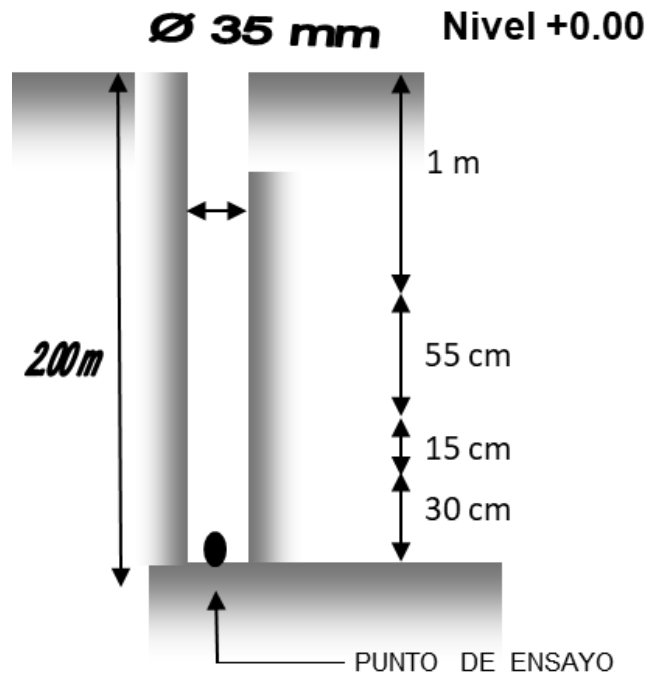
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Número de golpes SPT del pozo 1 a 2 m

Punto	Número de golpes (cm)			N° Golpes
N°	15	30	45	30 (cm)
1	15,00	25,00	33,00	58,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Diagrama de ejecución de ensayo a 2m



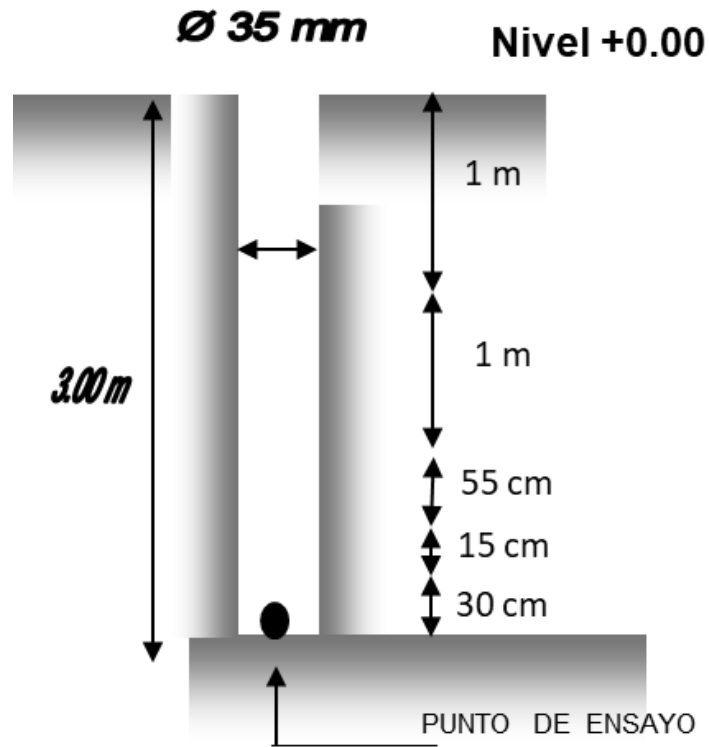
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Número de golpes SPT del pozo 1 a 3 m

Punto	Número de golpes (cm)		
	15	30	45
1	30,00	35,00	35,00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Diagrama de ejecución de ensayo a 3m



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Resumen de todos los números de golpes obtenidos:

Pozo N°	Profundidad (m)	N° de golpes (cm)			N spt (30 cm)
		15	30	45	
1	1	7	9	10	19
	2	15	25	33	58
	3	30	35	35	70
2	1	5	10	12	22
	2	24	28	44	72
	3	42	44	45	89
3	1	6	12	13	25
	2	20	40	42	82
	3	30	35	35	70
4	1	5	11	20	31
	2	28	35	52	87
	3	35	40	41	81
	1	4	6	7	13
	2	9	11	19	30

5					
	3	23	25	27	52
6	1	5	5	7	12
	2	10	11	22	33
	3	25	27	31	58
7	1	5	9	14	23
	2	16	18	22	40
	3	19	20	23	43
8	1	6	8	13	21
	2	15	16	24	40
	3	20	20	22	42
9	1	9	15	15	30
	2	17	20	25	45
	3	23	25	26	51
10	1	7	15	23	38
	2	17	24	26	50
	3	24	26	28	54
11	1	3	3	5	8
	2	7	7	7	14
	3	9	10	11	21
12	1	3	4	3	7
	2	6	7	7	14
	3	5	6	8	14
13	1	2	2	3	5
	2	5	6	6	12
	3	7	7	8	15
14	1	2	2	2	4
	2	4	7	8	15
	3	8	7	8	15
15	1	5	8	7	15
	2	8	8	10	18
	3	11	15	16	31
16	1	5	8	10	18
	2	7	9	12	21
	3	13	15	15	30
17	1	2	4	5	9
	2	8	9	11	20
	3	9	10	10	20
18	1	2	2	4	6
	2	5	6	6	12
	3	8	8	9	17

19	1	2	2	2	4
	2	4	4	5	9
	3	7	8	10	18
20	1	3	5	4	9
	2	6	7	7	14
	3	8	11	12	23
21	1	4	4	5	9
	2	5	5	9	14
	3	12	15	17	32
22	1	5	6	6	12
	2	7	9	9	18
	3	12	13	15	28
23	1	4	5	5	10
	2	6	7	8	15
	3	9	11	12	23
24	1	4	4	5	9
	2	8	7	8	15
	3	10	13	12	25
25	1	19	19	20	39
	2	24	27	33	60
	3	34	33	35	68
26	1	20	18	20	38
	2	22	25	31	56
	3	30	32	31	63
27	1	19	22	22	44
	2	25	25	26	51
	3	26	28	33	61
28	1	20	22	24	46
	2	26	27	28	55
	3	28	30	33	63
29	1	17	20	21	41
	2	25	27	34	61
	3	29	33	38	71
30	1	20	21	23	44
	2	27	28	33	61
	3	36	37	40	77


Fuente: Elaboración propia.

3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS

3.4.1 Porcentaje de humedad


Se determinó el porcentaje de humedad natural del terreno de cada punto.




Tabla 25. Materiales ensayo de humedad

Materiales	
Balanza, taras	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Procedimiento ensayo de humedad

Procedimiento	
El material obtenido de la extracción de cada punto se guardó en una bolsa bien cerrada de manera que mantenga la humedad natural del suelo extraído.	

<p>Seleccionamos las muestras para ponerlas en cada tara.</p>	
<p>Pesamos cada tara y las volvemos a pesar con el material.</p>	
<p>Las tres muestras se ponen en el horno durante 24 horas y se las vuelva a pesar para luego poder determinar el contenido de humedad.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos realizados de cada punto

$$\% W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

%W= Porcentaje de humedad

Ww= Peso del agua

Ws= Peso del suelo seco

Tabla 27. Tabla para determinar el porcentaje de humedad

Porcentaje de humedad				
	Capsula N°	1	2	3
	Suelo Húmedo + Cápsula	144,82	130,34	124,42
	Suelo Seco + Cápsula	136,51	122,69	118,90
	Peso del agua	8,31	7,65	5,52
	Peso de la Cápsula	13,11	13,11	13,53
	Peso Suelo seco	123,40	109,58	105,37
1	Porcentaje de Humedad	6,73	6,98	5,24

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el mismo procedimiento para cada punto y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 28. Resumen del porcentaje de humedad

Pozo	Profundidad	% Humedad
P1	1	6,32
	2	6,32
	3	6,32
P2	1	5,92
	2	5,92
	3	5,92
P3	1	6,31
	2	6,31
	3	6,31
P4	1	4,76
	2	4,76
	3	4,76
P5	1	4,91
	2	4,91
	3	4,91
P6	1	8,41
	2	8,41
	3	8,41
P7	1	8,10
	2	8,10
	3	8,10
P8	1	11,75
	2	11,75
P9	3	11,75
	1	7,91
	2	7,91
P10	3	7,91
	1	2,07
	2	2,07
P11	3	2,07
	1	3,09
	2	3,09
P12	3	3,09
	1	4,30
	2	4,30
P13	3	4,30
	1	9,49
	2	9,49
P14	3	9,49
	1	8,31
	2	8,31
P15	3	8,31
	1	5,34
	2	5,34
P16	3	5,34
	1	5,31
	2	5,31

P17	1	6,11
	2	6,11
	3	6,11
P18	1	10,56
	2	10,56
	3	10,56
P19	1	7,40
	2	7,40
	3	7,40
P20	1	6,70
	2	6,70
	3	6,70
P21	1	5,74
	2	5,74
	3	5,74
P22	1	5,73
	2	5,73
	3	5,73
P23	1	5,60
	2	5,60
	3	5,60


P24	1	5,16
	2	5,16
	3	5,16
P25	1	3,26
	2	3,26
	3	3,26
P26	1	2,86
	2	2,86
	3	2,86
P27	1	2,57
	2	2,57
	3	2,57
P28	1	2,04
	2	2,04
	3	2,04
P29	1	1,63
	2	1,63
	3	1,63
P30	1	1,60
	2	1,60
	3	1,60


Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Granulometría

Para la granulometría se tomó muestra de suelo de cada punto para realizar los ensayos con el método de lavado de la siguiente manera:



Tabla 29. Materiales granulometría


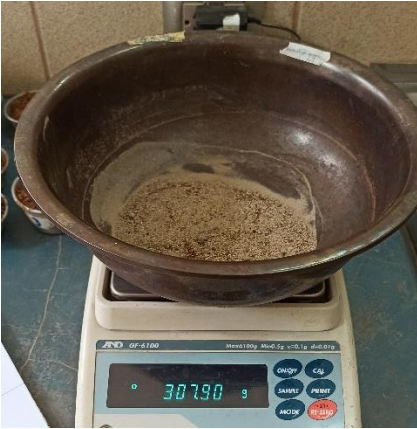

Materiales	
Fuentes de aluminio	

<p>Tamiz N°4, N°10, N°40, N°200 y base</p>	
--	--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Procedimiento granulometría

<p style="text-align: center;">Procedimiento</p>	
<p>Se tomó una muestra de suelo de 1 kg para que pasa el tamiz N°4.</p>	
<p>Una vez pesado el material se deja completamente saturado durante 24 horas, asegurándose de deshacer todos los terrones.</p>	
<p>Transcurrido ese periodo ya se puede lavar el material hasta que quede lo más limpio</p>	

<p>posible, usando el tamiz N°200.</p>	
<p>Luego de lavar el material y que esté libre de material orgánico. Se deja secar todo el material retenido en el tamiz N°200 durante 24 horas.</p>	
<p>Con el material completamente seco ya se procede a tamizar y pesar el material retenido en cada tamiz.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

De la granulometría realizada se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 31. Datos del ensayo de granulometría pozo 1

Peso Total (gr.) antes de lavado		1000.00
Peso Total (gr.) luego de lavado		414.33
Tamices	tamaño	Peso Ret.
	(mm)	(gr.)
N°4	4,80	0,00
N°10	2,00	14,45
N°40	0,43	11,25
N°200	0,075	383,98
Base		4,65

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos se calcula el porcentaje retenido en cada tamiz y así determinar el tipo de suelo.

- Cálculo del porcentaje retenido

Retenido acumulado: Es la suma del peso retenido en cada tamiz con el tamiz anterior.

$$\% \text{ Retenido: } \frac{\text{Peso retenido en el tamiz (gr)}}{\text{Peso total lavado (gr)}} * 100 (\%)$$

% Que pasa del total: 100 - % Retenido

$$\text{Peso suelo seco} = \frac{\text{Peso del suelo húmedo} * 100}{100 + \% \text{ de humedad}}$$

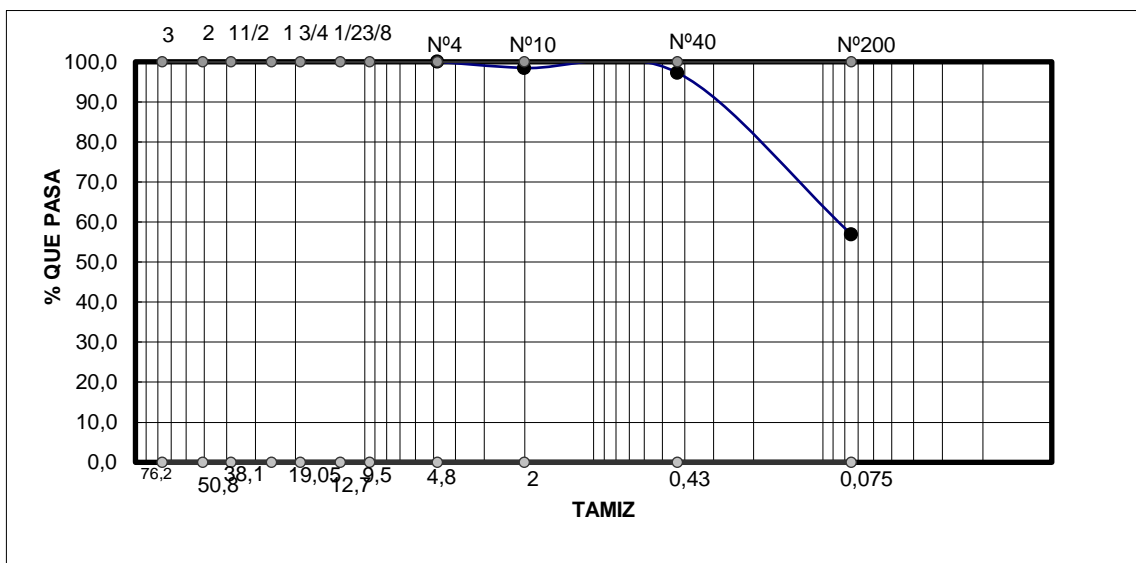
Tabla 32. Granulometría del punto 1

Peso Total (gr.)			940.57		
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acumulado	% Retenido	% Que pasa del total
	(mm)	(gr)	(gr)		
N°4	4,80	0,00	0,00	0,00	100,0
N°10	2,00	14,45	14,45	1,50	98,50
N°40	0,43	11,25	25,70	2,70	97,30
N°200	0,075	379,33	405,03	43,10	56,90
Base	-				

Fuente: Elaboración propia.

Con el porcentaje y el tamaño de tamices dibujamos la curva granulométrica a escala logarítmica.

Gráfica. 1. Curva de distribución granulométrica del pozo 1



Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento se realizó para cada pozo.

3.4.3 Límites de Atterberg




Límite Líquido

Tabla 33. Materiales límite líquido

Materiales	
<p>Equipo Casagrande, ranurador, espátula, 4 taras, jarra, fuentes, platos, balanza de precisión de 0.01 gr., tamiz N°40, horno secador</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Procedimiento límite líquido

Procedimiento	
<p>Se disgrega el material, teniendo cuidado de no romper las partículas que si son del suelo.</p>	
<p>Una vez disgregados los materiales, se procede a pasarlo por el tamiz N°40.</p>	
<p>Se debe obtener una muestra mínima de 100 gr. de suelo tamizado.</p>	

Se va añadiendo agua poco a copo hasta obtener una consistencia suave como mantequilla.



El equipo Casagrande debe estar previamente calibrado con una caída de un centímetro. Con ayuda de la espátula se pone el material en la copa de forma horizontal, eliminando el aire.



Con ayuda del ranurador se hace la ranura de forma firme, donde el color de la copa quede visible al fondo.



Accionamos la copa de Casagrande al ritmo de dos golpes por segundo. Cuando aparezca una unión en la ranura de 1.2 cm. Paramos de hacer los golpes y anotamos los golpes realizados.



Con ayuda de la espátula realizamos dos cortes en los bordes de la unión y procedemos a extraer esa porción de suelo.



Pesamos la tara y la muestra obtenida para luego dejarla en el horno durante 24 horas.



Fuente: Elaboración propia.

Del ensayo de límite líquido se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 35. Datos del límite líquido

Cápsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	16	24	26	32
Suelo Húmedo + Cápsula	32,30	34,43	33,73	34,91
Suelo Seco + Cápsula	28,52	31,38	30,89	31,81
Peso de la Cápsula	12,58	17,55	17,97	17,77

Fuente: Elaboración propia.

- Cálculos del límite líquido

Peso del agua: (suelo húmedo + cápsula) – (suelo seco + cápsula)

Peso suelo seco: (suelo húmedo + cápsula) – peso de la cápsula

$$\text{Porcentaje de humedad: } \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso suelo seco}} * 100$$

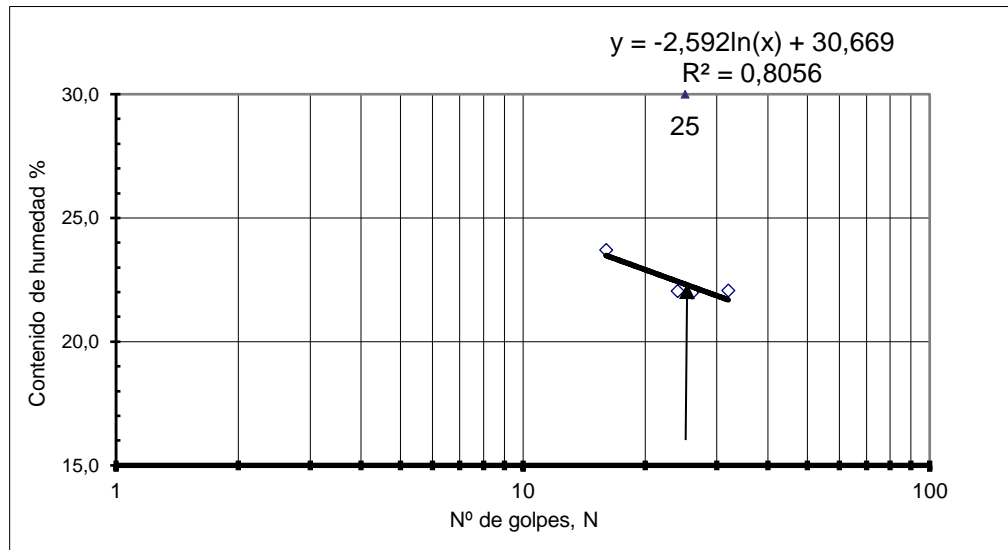
Tabla 36. Cálculo del límite líquido

Cápsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	16	24	26	32
Suelo Húmedo + Cápsula	32,30	34,43	33,73	34,91
Suelo Seco + Cápsula	28,52	31,38	30,89	31,81
Peso del agua	3,78	3,05	2,84	3,10
Peso de la Cápsula	12,58	17,55	17,97	17,77
Peso Suelo seco	15,94	13,83	12,92	14,04
Porcentaje de Humedad	23,71	22,05	21,98	22,08

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el valor del porcentaje humedad a los 25 golpes se grafica los valores obtenidos.

Gráfica. 2. Curva de fluidez



Fuente: Elaboración propia.


Con la ecuación obtenida de la gráfica encontramos en valor de X donde X es igual a 25.

$$y = -2,592 \ln(x) + 30,669 \rightarrow -2,592 \ln 25 + 30,669 = 22,33$$

El valor de humedad a los 25 golpes es de 22,33%

Limite Plástico

Tabla 37. Materiales para el límite plástico

Materiales	
Base vidrio, reloj de arena, 3 taras.	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Procedimiento límite plástico

Procedimiento	
<p>Se utiliza el material que pasa por el tamiz N°40. Y se toma una porción de material para amasarlo sobre la base de vidrio, la cual debe estar limpia.</p>	
<p>Se hace un rollito sobre la base de vidrio hasta que tenga un diámetro de 3mm. y presente pequeñas rajaduras.</p>	
<p>Cuando ya tienen los rollitos procedemos a ponerlos en taras para pesarlos y meterlos al horno durante 24 horas. Para luego volver a pesarlos.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos del ensayo límite de plasticidad:

Tabla 39. Datos límite plástico

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + cápsula	25,29	28,11	29,61
Peso de suelo seco + cápsula	24,69	27,08	28,62
Peso de cápsula	21,07	21,15	22,62

Fuente: Elaboración propia.

- Cálculo del límite de plasticidad

Peso de suelo seco: (Peso de suelo seco + Cápsula) - Peso de cápsula

Peso del agua: (Peso de suelo húmedo + Cápsula) – (Peso de suelo seco + Cápsula)

$$\text{Contenido de humedad: } \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de suelo seco}} * 100$$

Tabla 40. Cálculo del límite plástico

Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	25,29	28,11	29,61
Peso de suelo seco + Cápsula	24,69	27,08	28,62
Peso de cápsula	21,07	21,15	22,62
Peso de suelo seco	3,62	5,93	6,00
Peso del agua	0,60	1,03	0,99
Contenido de humedad	16,57	17,37	16,50

Fuente: Elaboración propia.

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad se determina de la diferencia del límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 22,58 - 16,81 = 5,77$$

Resumen de los resultados obtenidos en todos los puntos

Tabla 41. Resumen de resultados de la plasticidad

Pozo	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
	%	%	%
1	22,33	-	0,00
2	9,86	-	0,00
3	10,40		1,77
4	10,55	7,34	3,20
5	7,37	3,45	3,92
6	29,91	20,21	9,70
7	22,58	16,81	5,77
8	31,92	25,26	6,66
9	25,25	18,44	6,80
10	29,27	20,01	9,26
11	10,61	-	0,00
12	10,22	-	0,00
13	11,07	-	0,00
14	15,29	-	0,00
15	19,54	-	0,00
16	10,65	-	0,00
17	11,86	-	0,00
18	13,3	-	0,00
19	13,16	-	0,00
20	10,75	-	0,00
21	8,24	-	0,00
22	9,09	-	0,00
23	10,19	-	0,00
24	25,34	-	0,00
25	26,49	21,28	5,21
26	25,52	21,19	4,33
27	41,68	32,90	8,77
28	34,09	27,40	6,69
29	37,28	30,38	6,90
30	25,97	19,34	6,64

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Clasificación

Tabla 42. Resumen de resultados

Pozo	N°4	N°10	N°40	N°200	LL	IP	Clasif.	Observación
1	100	98,50	97,30	56,90	22,33	0,00	ML	Se trata de un limo de baja plasticidad
2	100	98,60	97,40	53,90	9,86	0,00	ML	Se trata de un limo de baja plasticidad
3	100	99,70	95,90	30,40	10,40	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
4	100	99,50	95,20	43,00	10,55	3,20	SM	Se trata de una arena limosa
5	100	99,60	95,50	53,90	7,37	3,92	ML	Se trata de un limo de baja plasticidad
6	100	98,50	97,30	58,90	29,91	9,70	CL	Se trata de una arcilla de baja plasticidad
7	100	98,90	97,69	54,70	22,58	5,77	ML - CL	Se trata de arcilla limosa de baja plasticidad
8	100	98,90	97,40	53,00	31,92	6,66	ML - CL	Se trata de arcilla limosa de baja plasticidad
9	100	98,30	94,60	42,60	25,25	6,80	SM - SC	Se trata de una arena limosa arcillosa
10	100	99,80	98,20	44,80	29,27	9,26	SC	Se trata de arena arcillosa
11	100	99,60	95,70	25,40	10,61	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
12	100	99,70	96,90	34,90	10,22	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
13	100	99,60	96,40	36,60	11,07	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
14	100	99,50	95,70	43,10	15,29	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
15	100	99,50	95,40	23,20	8,54	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
16	100	99,70	96,20	35,50	10,65	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
17	100	99,70	95,70	37,70	11,86	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
18	100	99,50	96,00	40,50	13,30	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
19	100	99,80	94,80	40,20	13,16	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
20	100	99,50	95,20	25,60	10,75	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
21	100	99,70	96,70	23,60	8,24	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
22	100	99,70	95,40	31,40	9,09	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
23	100	99,50	95,30	33,60	10,19	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
24	100	99,60	94,60	32,20	9,32	0,00	SM	Se trata de una arena limosa
25	100	98,70	96,00	77,80	26,49	5,21	ML - CL	Se trata de arcilla limosa de baja plasticidad
26	100	98,40	94,50	75,10	25,52	4,33	ML - CL	Se trata de arcilla limosa de baja plasticidad
27	100	98,70	95,10	77,60	41,68	8,77	CL	Se trata de una arcilla de baja plasticidad
28	100	98,70	95,10	75,90	34,09	6,69	ML - CL	Se trata de arcilla limosa de baja plasticidad
29	100	99,70	97,20	79,80	37,28	6,90	ML - CL	Se trata de arcilla limosa de baja plasticidad
30	100	99,60	97,00	77,80	25,97	6,64	ML - CL	Se trata de arcilla limosa de baja plasticidad

Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Foto satelital de los puntos de extracción del Barrio San Blas



Fuente: Imagen tomada del Google Earth

En esta tabla se observa que en la zona de estudio se encontraron 6 tipos de suelos los cuales se dividen de la siguiente manera:

Tabla 43. Características y diferencias de los suelos

N°	Tipo de Suelo	Pozo
1	ML: Limo de baja plasticidad	1,2,5
2	SM: Arena limosa	3,4,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24
3	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	7,8,25,26,28,29,30
4	CL: Arcilla de baja plasticidad	6,27
5	SM - SC Arena limosa arcillosa	9
6	SC: Arena arcillosa	10

Fuente: Elaboración propia.

1.- Los limos de baja plasticidad comprendidos entre los pozos 1,2 y 5 presentan una humedad entre el 4,91% y 6,32%.

2.- La mayor presencia de suelo es la arena limosa que se encuentra en 16 pozos (3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24) en la cual el menor porcentaje de humedad es de 3.09% y el mayor porcentaje de humedad es de 10,56%.

3.- Luego se observa que en 7 pozos (7, 8, 25, 26, 28, 29 y 30) tenemos la presencia de arcilla limosa de baja plasticidad con una humedad que varía desde 1,6% hasta 11,75%

4.- La arcilla de baja plasticidad se encuentra en dos pozos (6 y 27) que tienen una humedad de 2,57% y 8,41%

5.- El pozo 9 es Arena limosa arcillosa con una humedad de 7,91%

6.- El pozo 10 presenta Arcilla de baja plasticidad con una humedad de 2,07%

3.5 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ADMISIBLE

De acuerdo a los resultados obtenidos del N60 y el tipo de suelo se obtiene la resistencia a la penetración admisible (kg/cm^2) utilizando las gráficas que se encuentra en anexos.

Tabla 44. Resistencia admisible (kg/cm^2)

Pozo	Tipo de suelo	Profundidad (m)	N60	Resistencia admisible (kg/cm^2)
1	ML: Limo de baja plasticidad	1	18	1,00
		2	38	1,80
		3	42	1,90
2	ML: Limo de baja plasticidad	1	21	1,10
		2	46	1,90
		3	52	2,10
5	ML: Limo de baja plasticidad	1	9	0,50
		2	11	0,60
		3	25	1,40
3	SM: Arena limosa	1	22	1,80
		2	49	2,90
		3	37	2,60
4	SM: Arena limosa	1	28	2,20
		2	53	3,10
		3	45	2,80

11	SM: Arena limosa	1	7	0,75
		2	9	1,00
		3	12	1,20
12	SM: Arena limosa	1	6	0,70
		2	9	1,00
		3	8	0,80
13	SM: Arena limosa	1	4	0,20
		2	7	0,75
		3	9	0,96
14	SM: Arena limosa	1	3	0,00
		2	9	0,90
		3	9	0,90
15	SM: Arena limosa	1	14	1,30
		2	11	1,10
		3	18	1,60
16	SM: Arena limosa	1	17	1,50
		2	13	1,25
		3	18	1,55
17	SM: Arena limosa	1	8	0,76
		2	13	1,30
		3	12	1,27
18	SM: Arena limosa	1	5	0,52
		2	7	0,77
		3	10	1,00
19	SM: Arena limosa	1	3	0,00
		2	5	0,10
		3	10	0,50
20	SM: Arena limosa	1	8	0,76
		2	9	0,85
		3	13	1,20
21	SM: Arena limosa	1	8	0,76
		2	9	0,85
		3	19	1,60
22	SM: Arena limosa	1	11	1,10
		2	11	1,10
		3	16	1,48
23	SM: Arena limosa	1	9	0,85
		2	9	0,85
		3	13	1,20

24	SM: Arena limosa	1	8	0,76
		2	9	0,85
		3	15	1,40
7	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	1	22	2,75
		2	26	3,10
		3	26	3,10
8	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	1	18	2,40
		2	23	2,85
		3	22	2,80
25	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	1	38	3,80
		2	39	3,90
		3	40	4,00
26	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	1	37	3,70
		2	37	3,70
		3	37	3,70
28	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	1	45	4,25
		2	36	3,60
		3	37	3,70
29	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	1	40	4,00
		2	40	4,00
		3	42	4,10
30	ML - CL: Arcilla limosa de baja plasticidad	1	43	4,25
		2	40	4,00
		3	46	4,30
6	CL: Arcilla de baja plasticidad	1	11	1,40
		2	22	2,75
		3	35	3,65
27	CL: Arcilla de baja plasticidad	1	43	4,10
		2	33	3,55
		3	36	3,70
9	SM - SC Arena Limosa Arcillosa	1	28	2,20
		2	28	2,20
		3	29	2,30
10	SC: Arena arcillosa	1	37	3,80
		2	33	3,55
		3	32	3,50

Fuente: Elaboración propia.

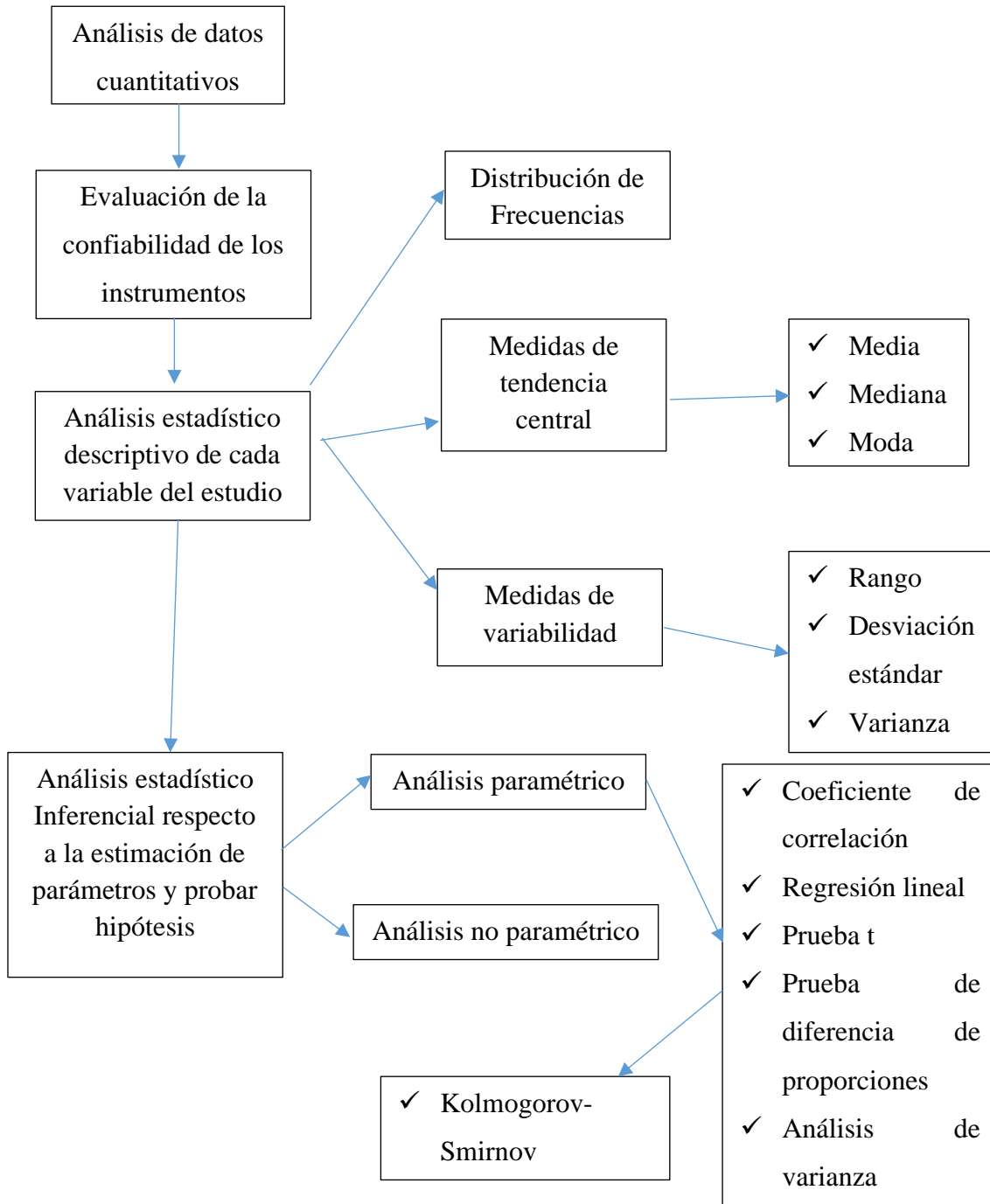
CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD MEDICIONES ENSAYO SPT

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD MEDICIONES ENSAYO SPT

Teniendo en cuenta la bibliografía revisada, se procedió a ejecutar el ensayo SPT TRÍPODE 107, extraer muestras para determinar humedad natural y clasificación de los suelos, con los resultados obtenidos se procedió a realizar el proceso de análisis estadístico, que se esquematiza a continuación:



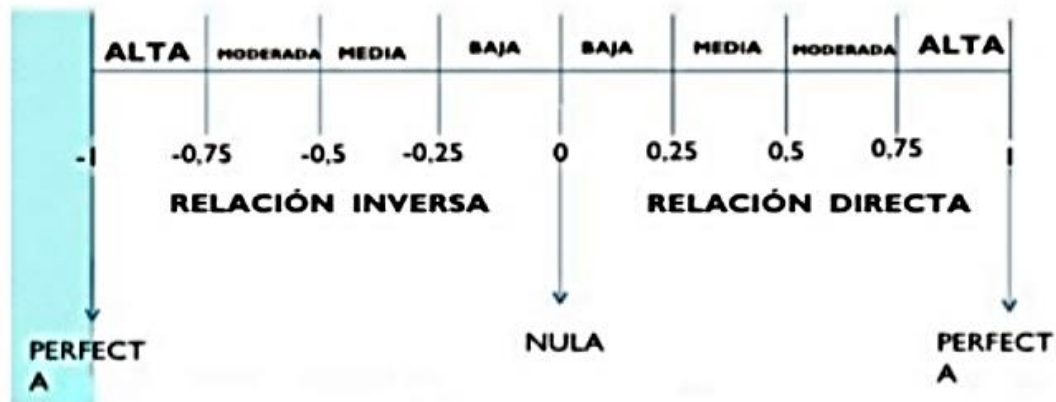
Para el análisis estadístico se utilizó los softwares: SPSS, Minitap y Statgraphics.

4.1 CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

- **Confiabilidad por test-retest**

Administración de dos o más versiones equivalentes del instrumento de medición, en este caso el **SPT TRÍPODE 107**. El instrumento es confiable si la correlación entre los resultados de ambas administraciones es positiva de manera significativa. Esta relación está definida por el coeficiente de correlación de Pearson.

Figura 18. Coeficiente de correlación de Pearson



Fuente: Programa TEST-RETEST

- **Medidas de coherencia o consistencia interna.** - Alfa de Cronbach y consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida, se trata de un índice de consistencia interna que toma valores entre 0 y 1 y que sirve para comprobar si el instrumento que se está evaluando recopila información defectuosa y por tanto nos llevaría a conclusiones equivocadas o si se trata de un instrumento fiable que hace mediciones estables y consistentes. Alfa es por tanto un coeficiente de correlación al cuadrado que, a grandes rasgos, mide la homogeneidad de los datos. Su interpretación será que, cuanto más se acerque el índice al extremo 1, mejor es la fiabilidad, considerando una fiabilidad respetable a partir de 0,80.

- **Métodos de las dos mitades.** - Mediante la fórmula de Spearman-Brown, consiste en dividir la prueba, una vez administrada, en dos mitades (ítems pares e impares, o bien mitad y mitad) y calcular la correlación entre los resultados de ambas partes.

Datos para realizar la confiabilidad estadística

Tabla 45. Datos para realizar el análisis estadístico

Pozo	Profundidad	Clasificación	% Humedad	N° Golpes	N60
P1	1	ML	6,32	19	18,62
	2	ML	6,32	58	38,56
	3	ML	6,32	70	42,03
P2	1	ML	5,92	22	21,00
	2	ML	5,92	72	46,62
	3	ML	5,92	89	52,05
P3	1	SM	6,31	25	22,03
	2	SM	6,31	82	49,01
	3	SM	6,31	70	37,78
P4	1	SM	4,76	31	28,17
	2	SM	4,76	87	53,62
	3	SM	4,76	81	45,08
P5	1	ML	4,91	13	9,61
	2	ML	4,91	30	11,95
	3	ML	4,91	52	25,50
P6	1	CL	8,41	12	11,87
	2	CL	8,41	33	22,14
	3	CL	8,41	58	35,15
P7	1	ML - CL	8,10	23	22,75
	2	ML - CL	8,10	40	26,84
	3	ML - CL	8,10	43	26,06
P8	1	ML - CL	11,75	21	18,50
	2	ML - CL	11,75	40	23,91
	3	ML - CL	11,75	42	22,67
P9	1	SM - SC	7,91	30	28,39
	2	SM - SC	7,91	45	28,89
	3	SM - SC	7,91	51	29,57
P10	1	SC	2,07	38	37,25
	2	SC	2,07	50	33,24
	3	SC	2,07	54	32,43
P11	1	SM	3,09	8	7,84

	2	SM	3,09	14	9,31
	3	SM	3,09	21	12,61
P12	1	SM	4,30	7	6,86
	2	SM	4,30	14	9,31
	3	SM	4,30	14	8,41
P13	1	SM	9,49	5	4,90
	2	SM	9,49	12	7,98
	3	SM	9,49	15	9,01
P14	1	SM	8,31	4	3,92
	2	SM	8,31	15	9,97
	3	SM	8,31	15	9,01
P15	1	SM	5,34	15	14,70
	2	SM	5,34	18	11,97
	3	SM	5,34	31	18,61
P16	1	SM	5,31	18	17,64
	2	SM	5,31	21	13,96
	3	SM	5,31	30	18,01
P17	1	SM	6,11	9	8,82
	2	SM	6,11	20	13,30
	3	SM	6,11	20	12,01
P18	1	SM	10,56	6	5,88
	2	SM	10,56	12	7,98
	3	SM	10,56	17	10,21
P19	1	SM	7,40	4	3,92
	2	SM	7,40	9	5,98
	3	SM	7,40	18	10,81
P20	1	SM	6,70	9	8,82
	2	SM	6,70	14	9,31
	3	SM	6,70	23	13,81
P21	1	SM	5,74	9	8,82
	2	SM	5,74	14	9,31
	3	SM	5,74	32	19,22
P22	1	SM	5,73	12	11,76
	2	SM	5,73	18	11,97
	3	SM	5,73	28	16,81
P23	1	SM	5,60	10	9,80
	2	SM	5,60	15	9,97
	3	SM	5,60	23	13,81
P24	1	SM	5,16	9	8,82
	2	SM	5,16	15	9,97
	3	SM	5,16	25	15,01

P25	1	ML - CL	3,26	39	38,23
	2	ML - CL	3,26	60	39,89
	3	ML - CL	3,26	68	40,83
P26	1	ML - CL	2,86	38	37,25
	2	ML - CL	2,86	56	37,23
	3	ML - CL	2,86	63	37,83
P27	1	CL	2,57	44	43,13
	2	CL	2,57	51	33,91
	3	CL	2,57	61	36,63
P28	1	ML - CL	2,04	46	45,09
	2	ML - CL	2,04	55	36,57
	3	ML - CL	2,04	63	37,83
P29	1	ML - CL	1,63	41	40,19
	2	ML - CL	1,63	61	40,56
	3	ML - CL	1,63	71	42,63
P30	1	ML - CL	1,60	44	43,13
	2	ML - CL	1,60	61	40,56
	3	ML - CL	1,60	77	46,24

Fuente: Elaboración propia.

Se redondearon los números de golpes corregidos al inmediato menor

Aplicación MINITAB

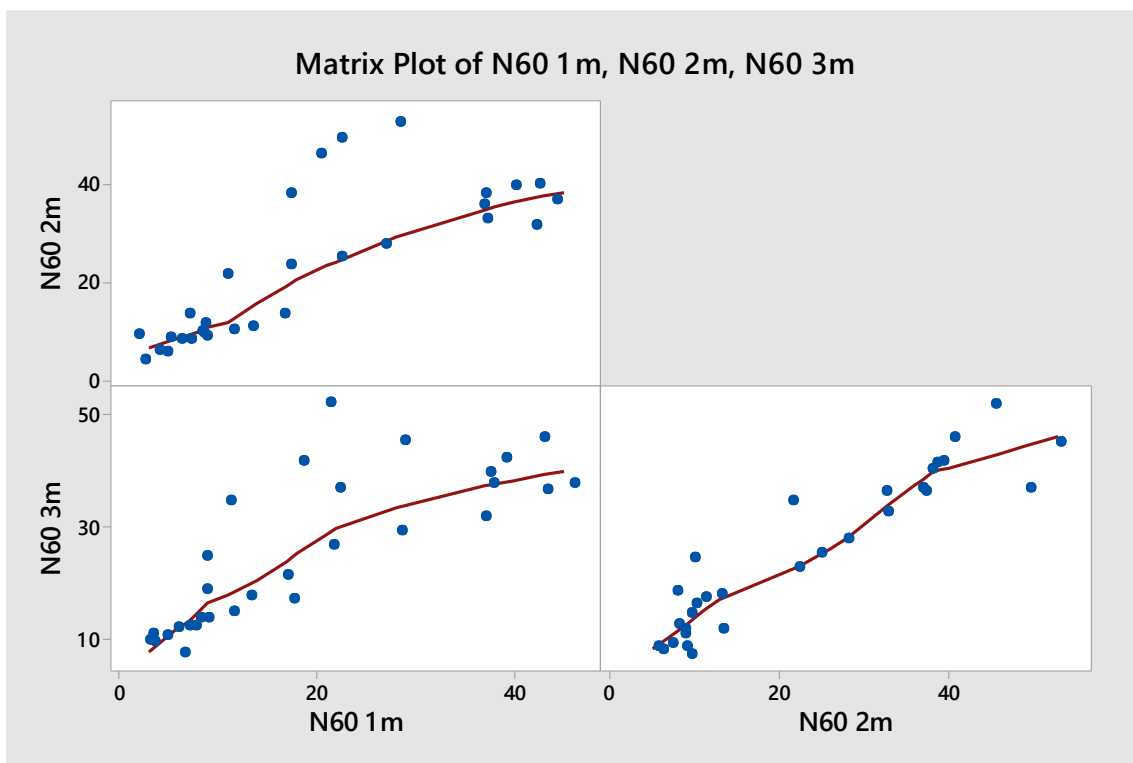
Tabla 46. Coeficiente de correlación de Pearson y Alfa de Cronbach

N60	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
1 m	18	21	22	28	9	11	22	18	28	37	7	6	4	3	14
2 m	38	46	49	53	11	22	26	23	28	33	9	9	7	9	11
3 m	42	52	37	45	25	35	26	22	29	32	12	8	9	9	18

N60	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30
1 m	17	8	5	3	8	8	11	9	8	38	37	43	45	40	43
2 m	13	13	7	5	9	9	11	9	9	39	37	33	36	40	40
3 m	18	12	10	10	13	19	16	13	15	40	37	36	37	42	46

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 3. Gráfica de correlación de Pearson



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Análisis de correlación N60 1m, N60 2m, N60 3m

	N60 1m	N60 2m
N60 2m	0,02	
N60 3m	0,793	0,940

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Análisis descriptivo

Variable	Total datos	Media	Desviación estándar
N60 1m	30	19,03	13,84
N60 2m	30	22,80	15,09

N60 3m	30	25,50	13,50
Total	30	67,33	40,19

Fuente: Elaboración propia.

Coefficiente de Cronbach's Alpha

$$\frac{\text{Alpha}}{\mathbf{0,9416}}$$

Tabla 49. Valores de Cronbach's Alpha para cada profundidad

Variable	Adj. Total media	Adj. Total StDev	r	R²	Cronbach's Alpha
N60 1m	48,30	28,16	0,81	0,66	0,97
N60 2m	44,53	25,88	0,92	0,89	0,88
N60 3m	41,83	27,46	0,92	0,89	0,89

Matrix Plot of N60 1m, N60 2m, N60 3m

Fuente: Elaboración propia.

Análisis a través del software Statgraphics

Tabla 50. Correlaciones

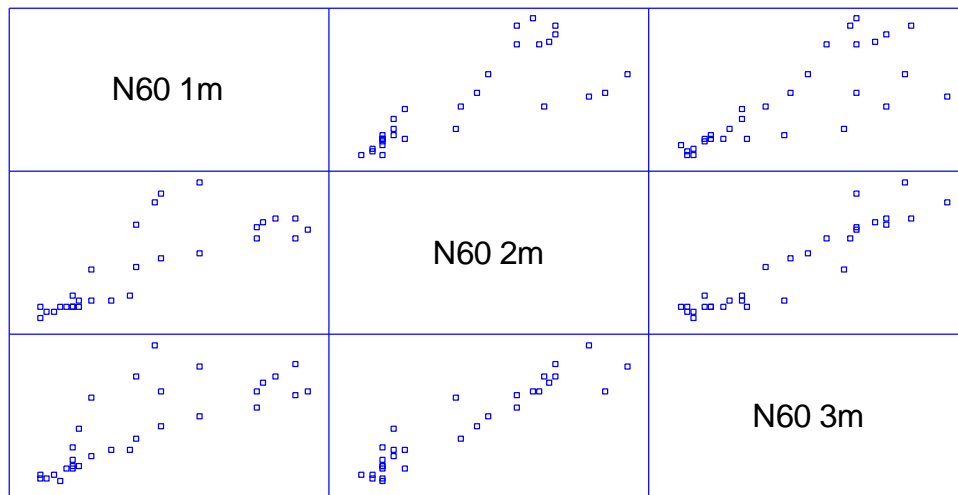
	N60 1m	N60 2m	N60 3m
N60 1m		0,80	0,79
		(30)	(30)
N60 2m	0,80		0,94
	(30)		(30)
N60 3m	0,79	0,94	
	(30)	(30)	

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra las correlaciones producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación

lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95,0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0,05: N60 1m y N60 2m N60 1m y N60 3m N60 2m y N60 3m

Gráfica. 4. Correlación entre N60 a diferentes profundidades



Fuente: Elaboración propia.

Análisis a través del software SPSS

Alfa de Cronbach y coeficiente de correlación de Pearson

Tabla 51. Muestra para el análisis

Resumen del procesamiento de los casos			
		N	%
Casos	Válidos	30	100,0
	Excluidos ^a	0	0
	Total	30	100,0

a. Eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Análisis de fiabilidad

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
0,94	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53. Coeficiente de Pearson

Matriz de correlaciones inter-elementos			
	Profundidad 1 m	Profundidad 2 m	Profundidad 3 m
Profundidad 1 m	1,00	0,80	0,79
Profundidad 2 m	0,80	1,00	0,94
Profundidad 3 m	0,79	0,94	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Métodos de las dos mitades

Tabla 54. Muestra para el análisis

Resumen del procesamiento de los casos		N	%
Casos	Válidos	30	100
	Excluidos ^a	0	0
	Total	30	100

a. Eliminación por lista basada en todas las variables del procedimiento.

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	Parte 1	Valor	0,89
		N de elementos	2 ^a
	Parte 2	Valor	1
		N de elementos	1 ^b
N total de elementos			3
Correlación entre formas			0,92
Coeficiente de Spearman-Brown	Longitud igual		0,96
	Longitud desigual		0,96
Dos mitades de Guttman			0,84

a. Los elementos son: Profundidad 1 m, Profundidad 2 m.

b. Los elementos son: Profundidad 2 m, Profundidad 3 m.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA CADA VARIABLE

La Estadística Descriptiva se ocupa de presentar, de forma resumida, la información más importante de un conjunto de datos. Para ello se calculan sus medidas centrales (media, mediana...) y se da una medida de cómo están los datos dispersos en torno a esos valores centrales (varianza, desviación típica, rango...). Asimismo, tras un análisis descriptivo, se dispondrá de una representación de los datos en forma de gráficos, de forma que sea posible detectar valores atípicos, tendencias o agrupaciones.

A continuación, se hará una breve descripción de los estadísticos que serán determinados.

4.2.1 Resumen Estadístico

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen de la variable analizada, incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma.

4.2.2 Tabla de frecuencias

La tabla de frecuencias nos permite resumir la distribución de los datos contenidos en una variable.

4.2.3 Histograma de frecuencias

Los histogramas de frecuencias son representaciones gráficas de las tablas de frecuencias estudiadas con anterioridad, donde a cada intervalo o clase en que se divide el rango de

los datos, se le asigna una barra cuya altura es proporcional a la frecuencia de aparición de sus elementos.

Tabla 55. Resumen estadístico Statgraphics variable

N60 1m	
Recuento	30
Promedio	19,03
Desviación Estándar	13,84
Coefficiente de Variación	72,69%
Mínimo	3,0
Máximo	45,0
Rango	42,0
Sesgo Estandarizado	1,47
Curtosis Estandarizada	-1,12

Fuente: Elaboración propia.

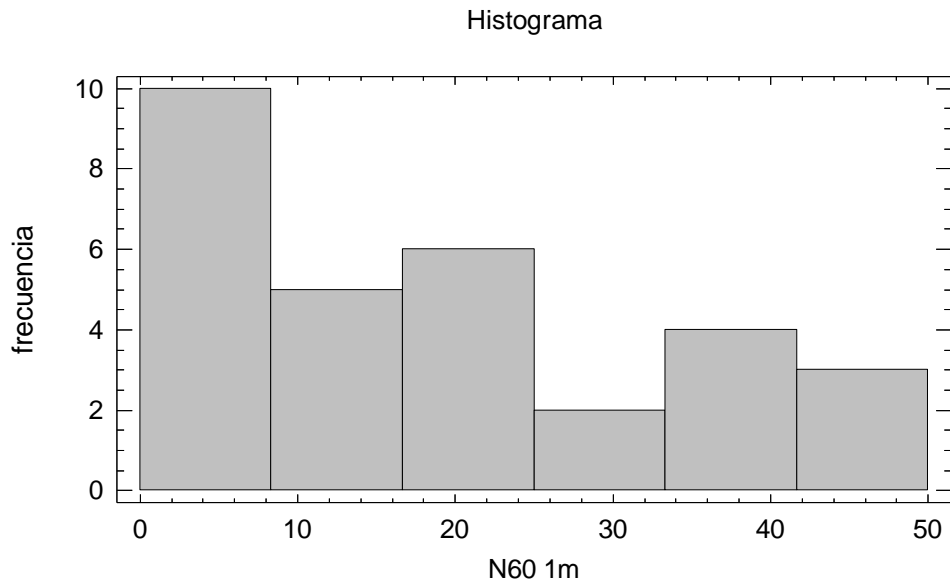
Tabla 56. Tabla de frecuencias Statgraphics variable N60 1m

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	0,0		0	0,00	0	0,00
1	0,0	8,33	4,17	10	0,33	10	0,33
2	8,33	16,67	12,5	5	0,17	15	0,50
3	16,67	25,0	20,83	6	0,20	21	0,70
4	25,0	33,33	29,17	2	0,07	23	0,77
5	33,33	41,67	37,5	4	0,13	27	0,90
6	41,67	50,0	45,83	3	0,10	30	1,00
	mayor de	50,0		0	0,00	30	1,00

Media = 19,03 Desviación Estándar = 13,84

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 5 Histograma de frecuencias para N60 de 1m



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Resumen estadístico variable N60 2 m

Recuento	30
Promedio	22,8
Desviación Estándar	15,09
Coefficiente de Variación	66,1805%
Mínimo	5,0
Máximo	53,0
Rango	48,0
Sesgo Estandarizado	1,07
Curtosis Estandarizada	-1,41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Tabla de frecuencias N60 2 m

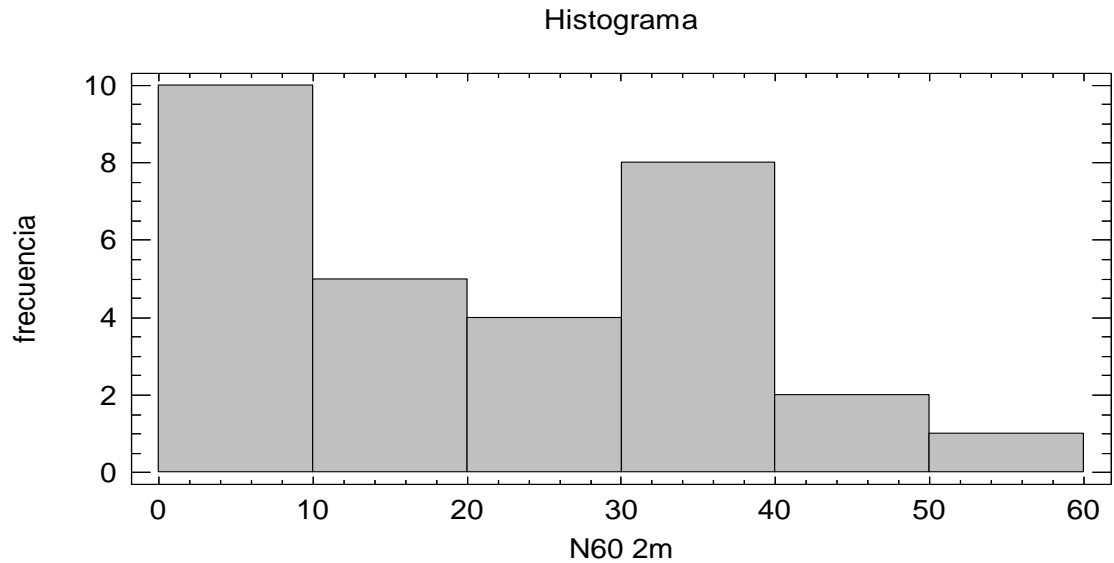
Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	0,0		0	0,00	0	0,0000
1	0,0	10,0	5,0	10	0,33	10	0,33
2	10,0	20,0	15,0	5	0,17	15	0,50
3	20,0	30,0	25,0	4	0,13	19	0,63
4	30,0	40,0	35,0	8	0,27	27	0,90
5	40,0	50,0	45,0	2	0,07	29	0,97

6	50,0	60,0	55,0	1	0,03	30	1,00
	mayor de	60,0		0	0,00	30	1,00

Media = 22,8 Desviación Estándar = 15,09

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 6. Histograma de frecuencias N60 2 m



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59. Resumen estadístico variable N60 3 m

Recuento	30
Promedio	25,5
Desviación Estándar	13,50
Coefficiente de Variación	52,94%
Mínimo	8,0
Máximo	52,0
Rango	44,0
Sesgo Estandarizado	0,66
Curtosis Estandarizada	-1,41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Tabla de frecuencias N60 3 m

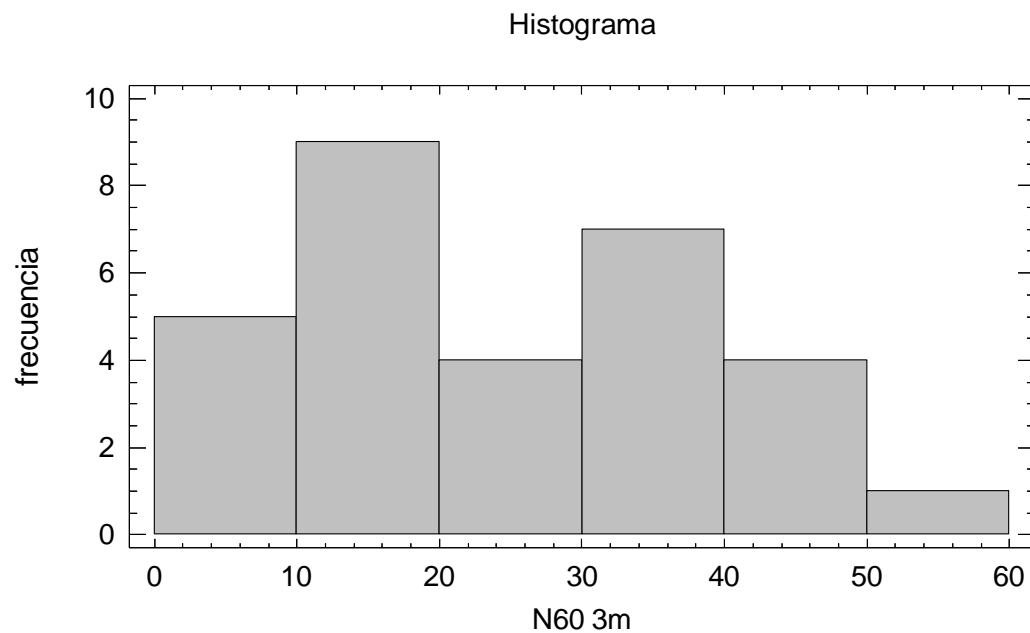
	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	0,0		0	0,00	0	0,0000

1	0,0	10,0	5,0	5	0,17	5	0,17
2	10,0	20,0	15,0	9	0,30	14	0,47
3	20,0	30,0	25,0	4	0,13	18	0,60
4	30,0	40,0	35,0	7	0,23	25	0,83
5	40,0	50,0	45,0	4	0,13	29	0,97
6	50,0	60,0	55,0	1	0,03	30	1,00
	mayor de	60,0		0	0,00	30	1,00

Media = 25,5 Desviación Estándar = 13,50

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 7. Histograma de frecuencias N60 3 m



Fuente: Elaboración propia.

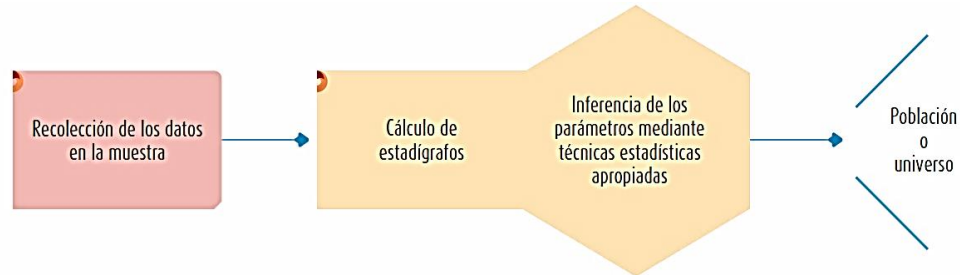
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL

Con frecuencia, el propósito de la investigación va más allá de describir las distribuciones de las variables: se pretende probar hipótesis y generalizar los resultados obtenidos en la muestra a la población o universo.

Los datos casi siempre se recolectan de una muestra y sus resultados estadísticos se denominan estadígrafos; la media o la desviación estándar de la distribución de una muestra son estadígrafos. A las estadísticas de la población se les conoce como

parámetros. Éstos no son calculados, porque no se recolectan datos de toda la población, pero pueden ser inferidos de los estadígrafos, de ahí el nombre de estadística inferencial.

Figura 19. Esquema de inferencia estadística



Fuente: Hernández, 2014.

Entonces, la estadística inferencial se utiliza fundamentalmente para dos procedimientos vinculados:

- a) Probar hipótesis poblacionales
- b) Estimar parámetros

4.3.1 Prueba de hipótesis

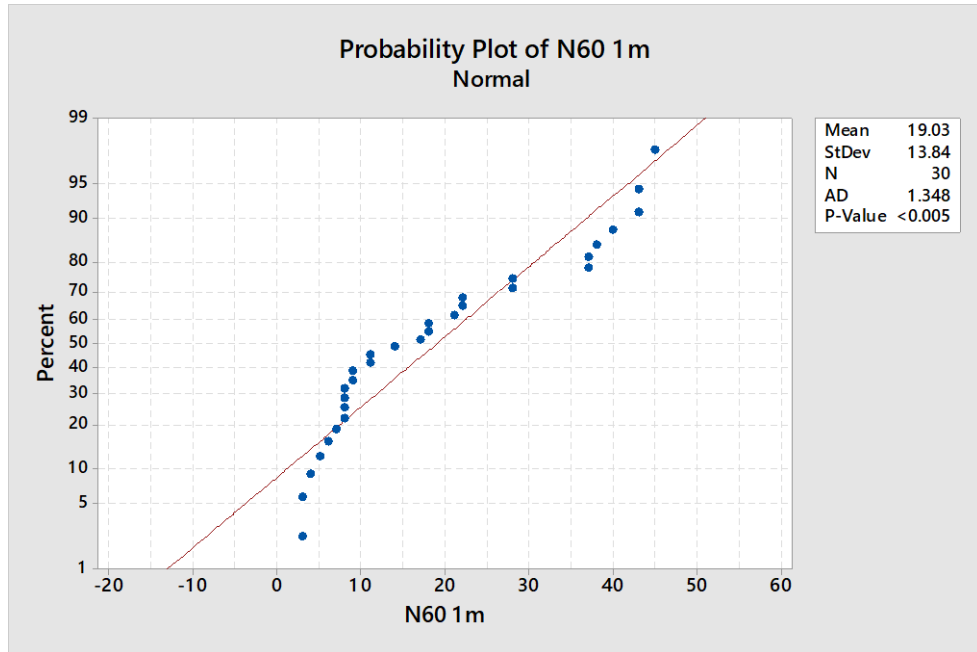
Hay dos tipos de análisis estadísticos que pueden realizarse para probar hipótesis: los análisis paramétricos y los no paramétricos.

Análisis paramétricos

Para realizar análisis paramétricos debe partirse del siguiente supuesto: La distribución de las variables es normal.

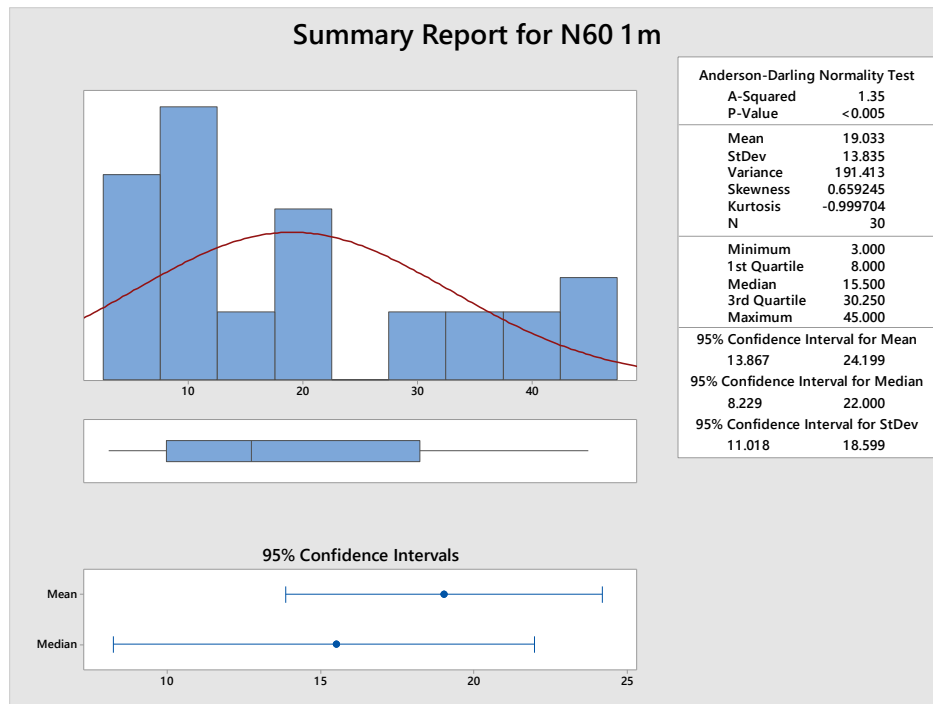
MINITAB

Gráfica. 8. Prueba de normalidad variable N60 1 m



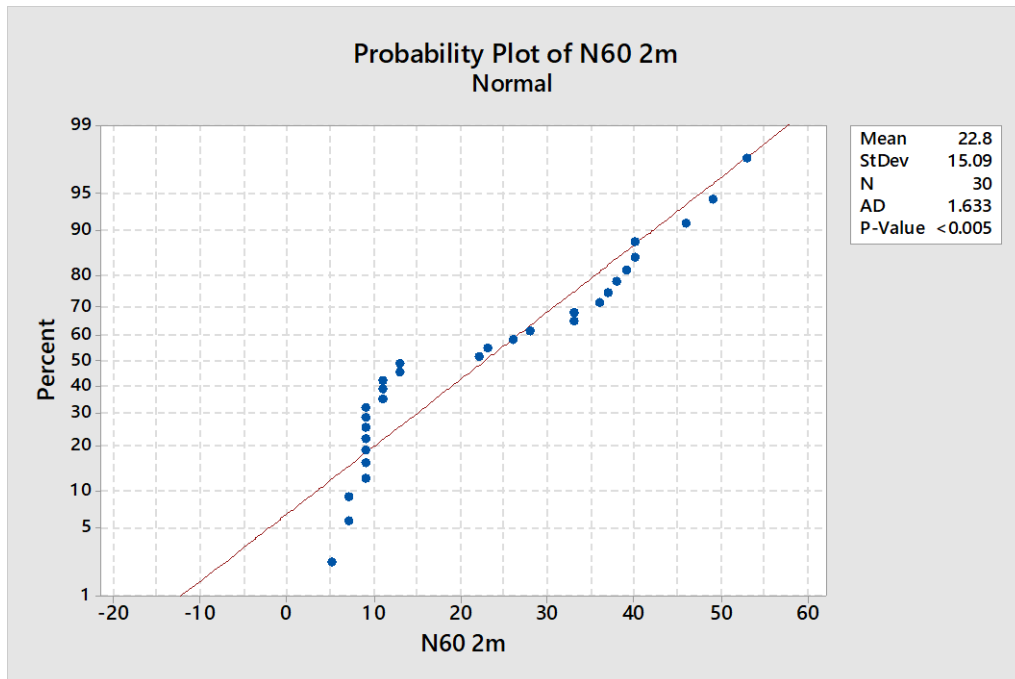
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 9. Histograma vs curva de normalidad 1m



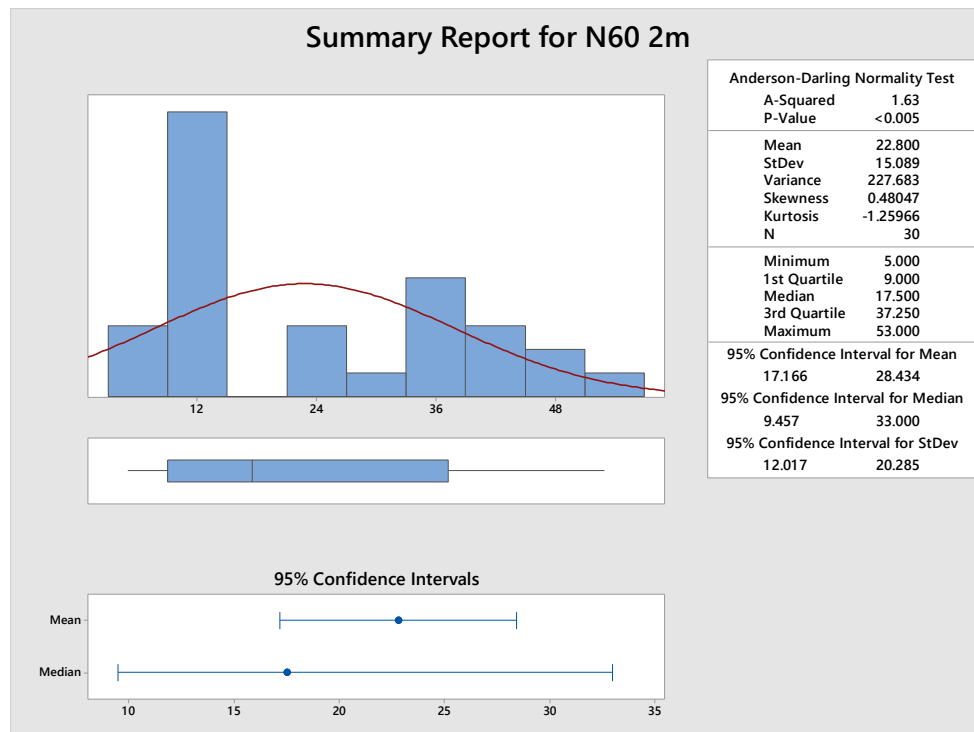
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 10. Prueba de normalidad variable N60 2 m



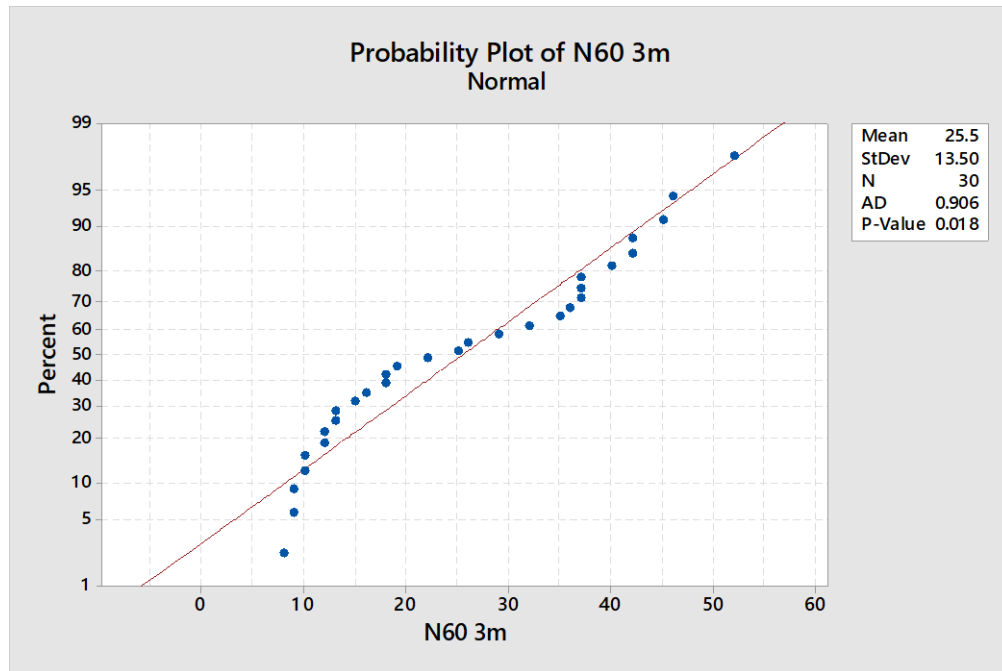
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 11. Histograma vs curva de normalidad 2m



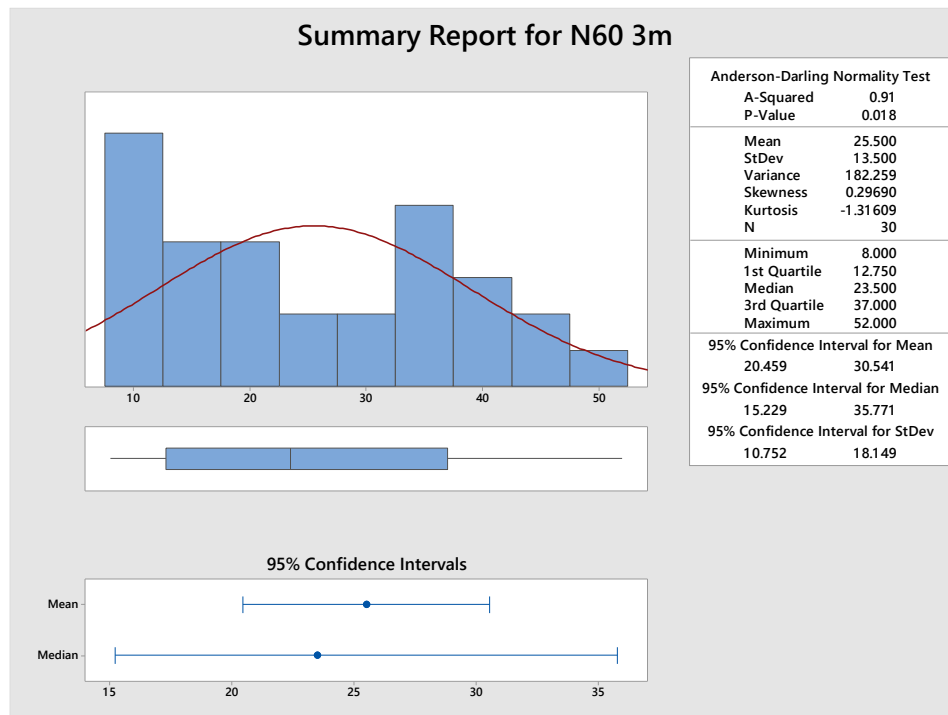
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 12. Prueba de normalidad variable N60 3 m



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 13. Histograma vs curva de normalidad 3m



Fuente: Elaboración propia.

STATGRAPHICS

Tabla 61. Prueba de normalidad variable N60 1 m

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,87	0,001

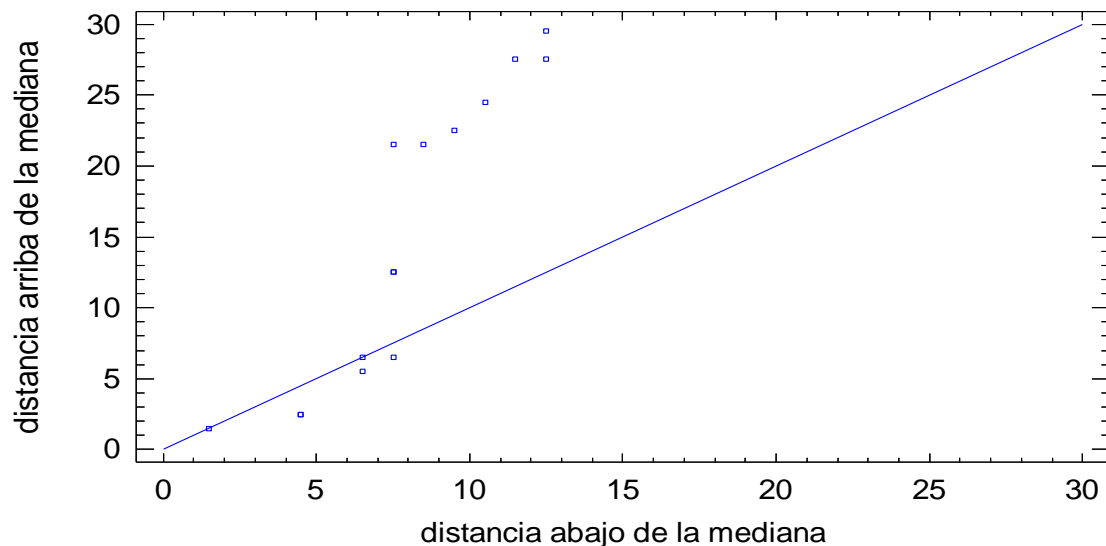
Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si N60 a un 1m puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que N60 1m proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Gráfica. 14. Gráfica de simetría para variable N60 1 m



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62 Prueba de normalidad variable N60 2 m

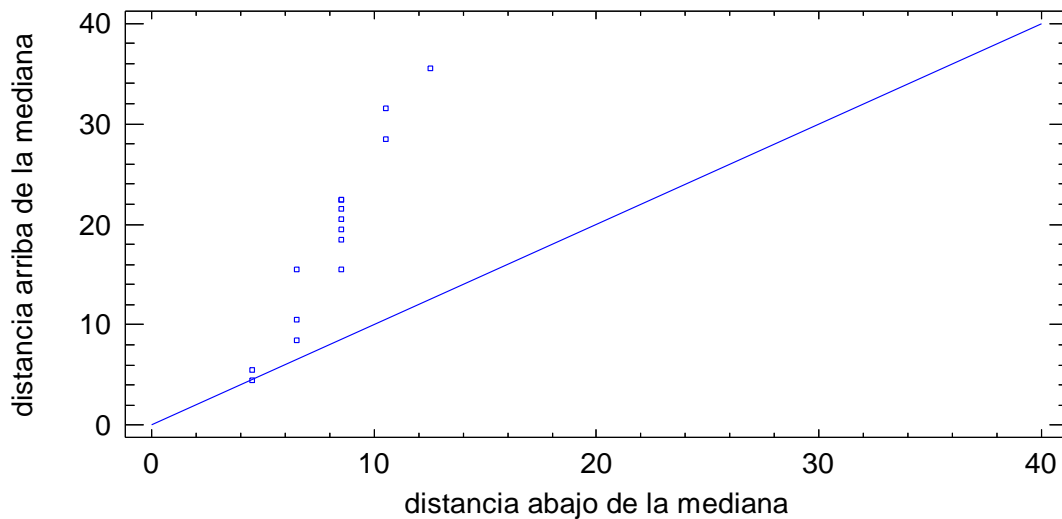
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,86	0,0009

Fuente: Elaboración propia.

La muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si N60 2m puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que N60 2m proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Gráfica. 15. Grafica de simetría para variable N60 2 m



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Prueba de normalidad variable N60 3 m

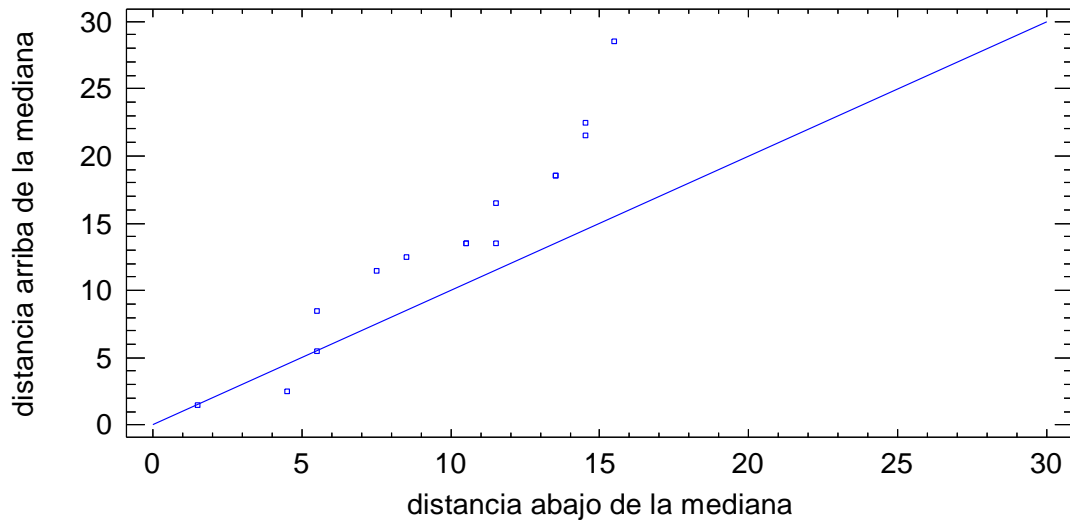
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,91	0,018

Fuente: Elaboración propia.

La tabla muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si N60 3m puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que N60 3m proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Gráfica. 16. Gráfica de simetría para variable N60 3 m



Fuente: Elaboración propia.

El valor P (P-Value) menor a 0.05 nos dice que hay evidencia en contra de la distribución normal de los datos. La gráfica muestra que los datos no siguen la línea de distribución normal.

En consecuencia, como las muestras no se ajustan a una distribución normal, se procede a realizar un análisis no paramétrico.

Análisis no paramétricos

Aceptan distribuciones no normales (distribuciones “libres”), y de acuerdo a la finalidad de la investigación se aplica la prueba Kruskal-Wallis, porque se tienen 3 muestras.

Prueba Kruskal-Wallis

En estadística, la prueba de Kruskal-Wallis (de William Kruskal y W. Allen Wallis) es un método no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Intuitivamente, es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías. Es una extensión de la prueba de la U de Mann-Whitney para 3 o más grupos.

Ya que es una prueba no paramétrica, la prueba de Kruskal-Wallis no asume normalidad en los datos, en oposición al tradicional ANOVA. Sí asume, bajo la hipótesis nula, que los datos vienen de la misma distribución. Una forma común en que se viola este supuesto es con datos heterocedásticos.

4.3.2 Prueba de hipótesis no paramétricas para dos muestras independientes

Se realizó el ensayo de SPT TRÍPODE 107 en varios puntos a diferentes profundidades, se desea saber si existen diferencias significativas de los resultados N60 obtenidos, teniendo en cuenta que se usó el mismo equipo, con $\alpha = 0,05$.

Ho = Los valores de N60 son similares.

H1 = Los valores de N60 no son similares.

Como es una prueba de bondad de ajuste aquí interesa no rechazar la hipótesis nula, es decir, interesa que significancia sea mayor de 0,05 para no rechazar la hipótesis nula.

Pruebas no paramétricas

Tabla 64. Prueba de Kruskal-Wallis SPSS

Rangos		
Profundidad	N	Rango promedio
1	30	27,83
2	30	33,17
Total	60	

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	SPT
Chi-cuadrado	1,406
gl	1
Sig. asintót.	0,236
a. Prueba de Kruskal-Wallis	
b. Variable de agrupación: Profundidad	

Fuente: Elaboración propia.

Como el valor de Sig. Asintot. 0,236 es mayor que 0,05 no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay evidencias suficientes para pensar que las muestras tienen valores similares, con un nivel de significación del 5%.

Tabla 65. Prueba de Kruskal-Wallis MINITAB

PROF.	N	Media	Rangos medios	Z- Valor
1	30	15,5	38,2	-1,87
2	30	17,5	45,6	0,03
3	30	23,5	52,6	1,84
Total - Media	90		45,5	

Method	DF	H-Valor	P- Valor
Se ajustó a la relación	2	4,57	0,102
Se ajustó a la relación	2	4,58	0,101

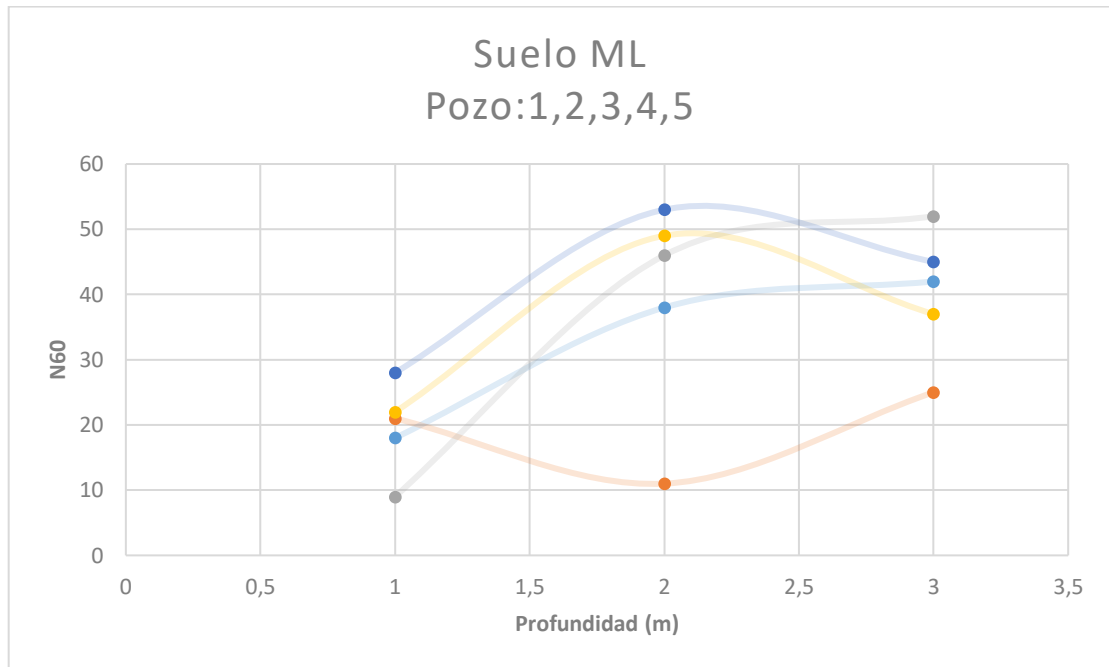
Fuente: Elaboración propia.

Como el P-valor 0.1 es mayor que 0,05 no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay evidencias suficientes para pensar que las muestras tienen valores similares, con un nivel de significación del 5%.

4.4 FRECUENCIA DE RESULTADOS DEL N60

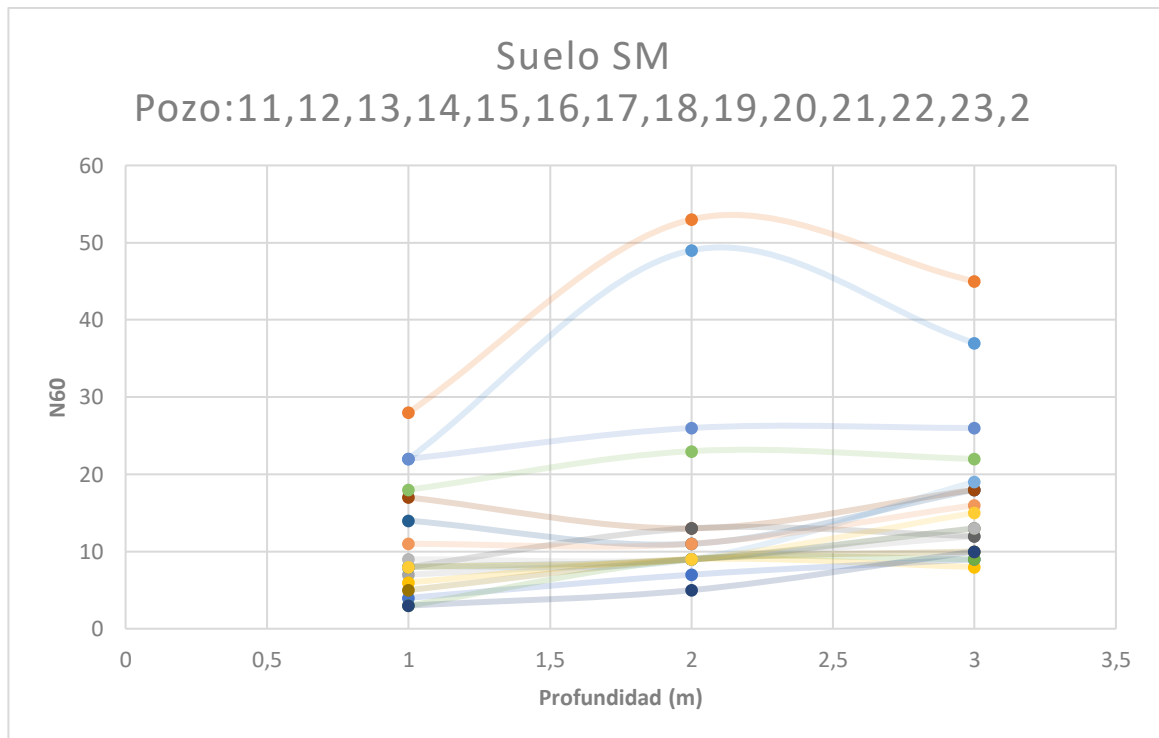
Con los resultados obtenidos de las correcciones del N60 en cada pozo y el tipo de suelo, podemos ver el comportamiento o frecuencia de resultados en cada tipo de suelo a sus diferentes alturas:

Gráfica. 17. Prueba de Kruskal-Wallis MINITAB



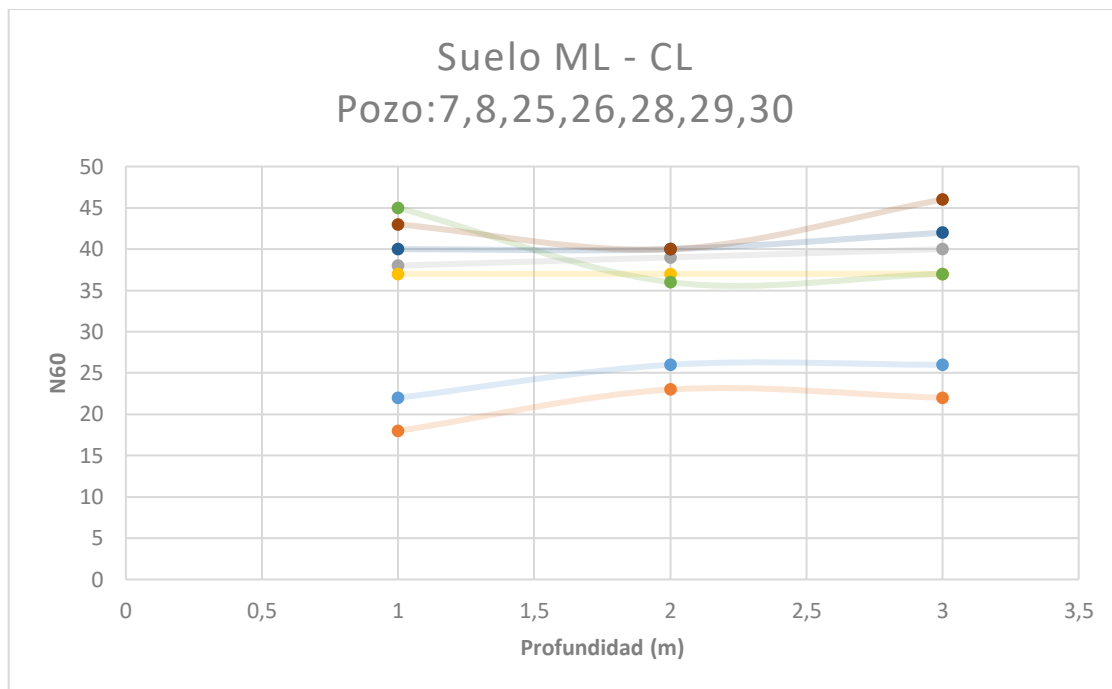
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 18. Prueba de Kruskal-Wallis MINITAB



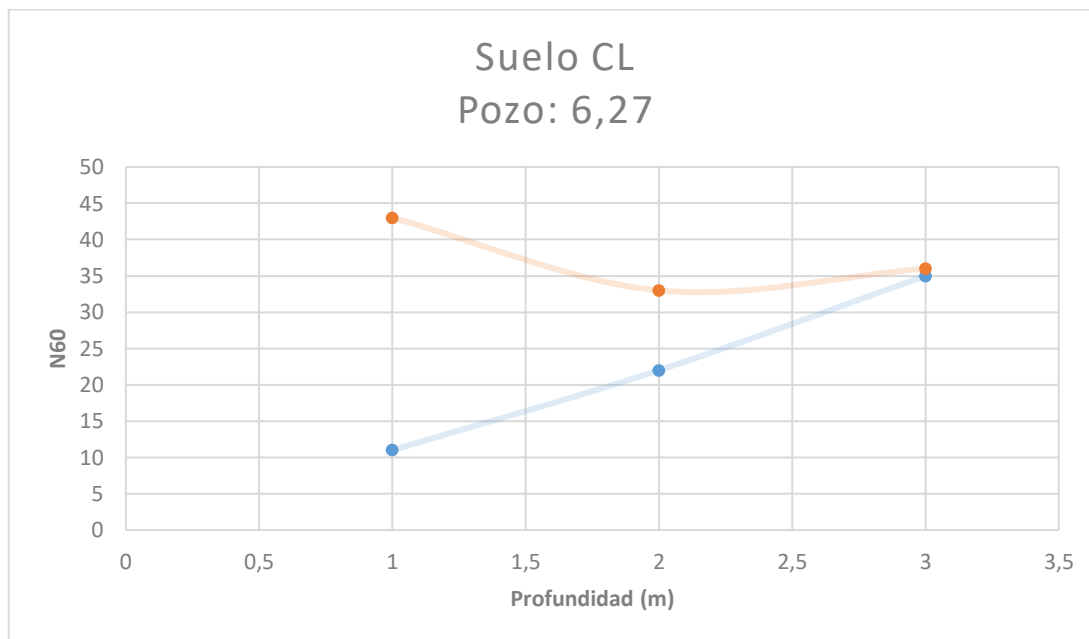
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 19. Prueba de Kruskal-Wallis MINITAB



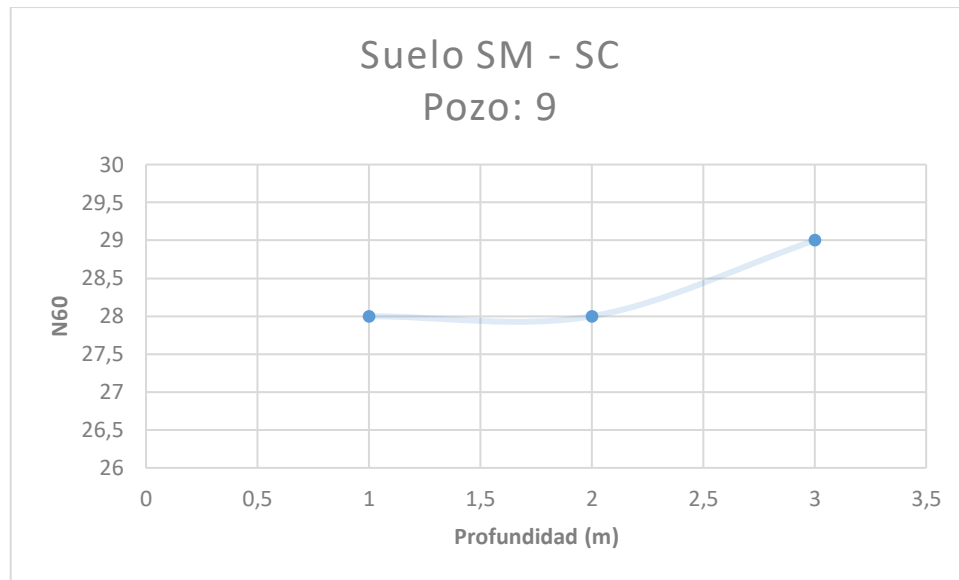
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 20. Prueba de Kruskal-Wallis MINITAB



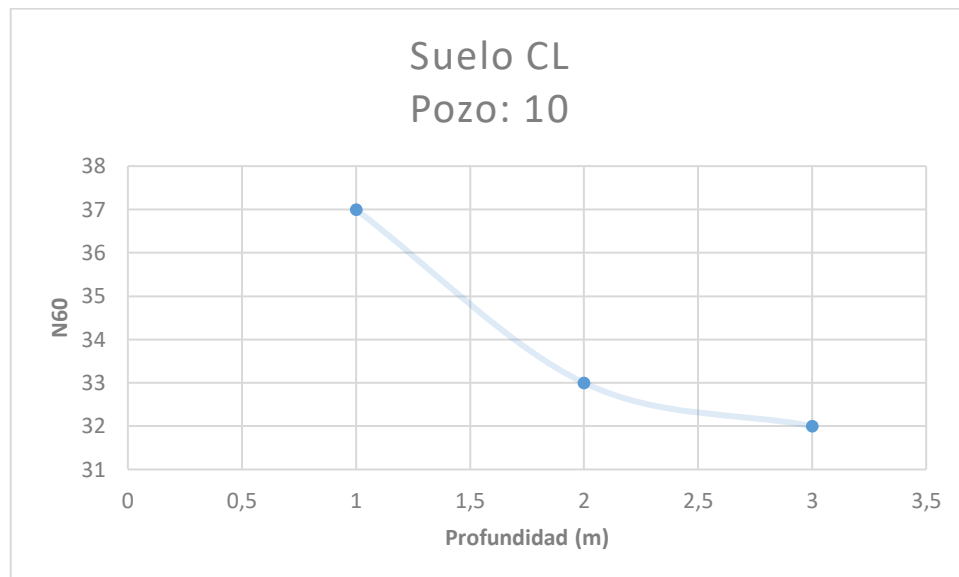
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 21. Prueba de Kruskal-Wallis MINITAB



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica. 22. Prueba de Kruskal-Wallis MINITAB



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

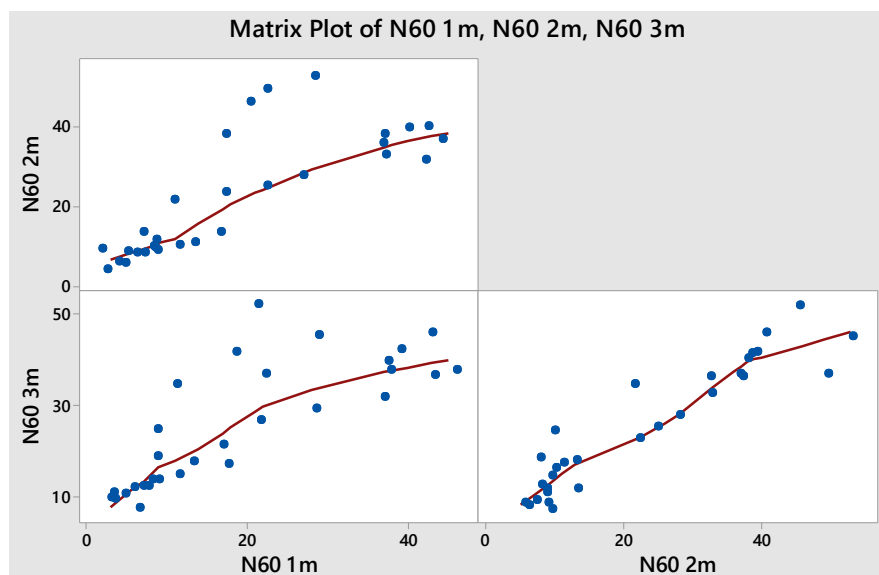
CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a la revisión bibliográfica y documental, una de las propiedades físicas que determinan la resistencia al esfuerzo cortante es la humedad existente a cada momento en el suelo fino.
- Se ensayaron las muestras de suelo extraídas, para obtener sus propiedades físicas, las cuales presentan Granulometrías continuas de suelo fino compuesto por limo y arcilla, con presencia de plasticidad.
- Se realizó ensayos de SPT TRIPODE 107 para obtener valores de N_{60} a 1 m de profundidad, varían desde 3 a 45 golpes; a 2 m de profundidad, varían desde 5 a 53 golpes; a 3 m de profundidad, varían desde 8 a 52 golpes.
- A partir de los datos obtenidos de la prueba se realizó un análisis estadístico de confiabilidad, dando como resultados: coeficiente de correlación de Pearson 0,94 por lo tanto existe una alta correlación entre las variables analizadas, correspondiente a cada muestra de suelo arcilloso, con lo cual se demuestra la confiabilidad de los resultados obtenidos con el equipo SPT TRIPODE 107.

Gráfica. 23. Análisis estadístico coeficiente de correlación de Pearson

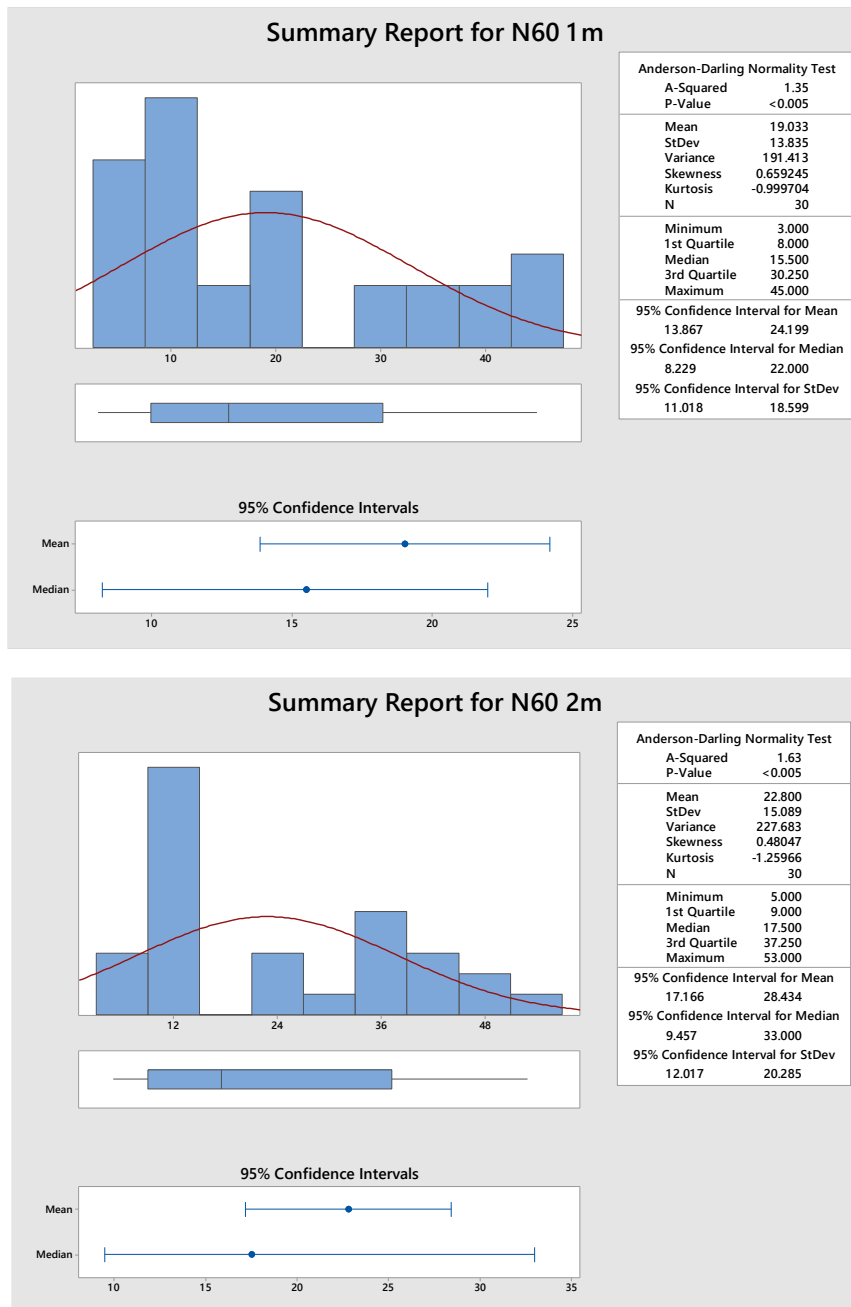


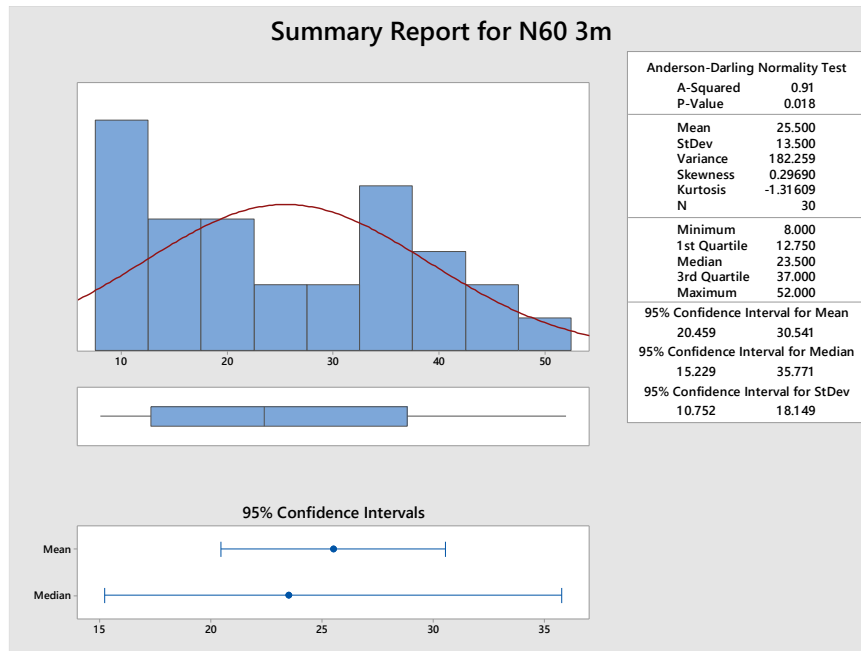
Fuente: Programa TEST - RETEST

Del mismo modo, los demás coeficientes estadísticos aplicados revelan la confiabilidad de las mediciones de la prueba SPT TRIPODE 107, alfa de Cronbach = 0,94; Método dos mitades = 0,84

- Se realizó un análisis de Normalidad de los datos, el cual indicó que hay evidencia en contra de la distribución normal de los datos.

Gráfica. 24. Análisis de normalidad de los datos.





Fuente: Programa TEST - RETEST

- Debido a que los datos no se ajustan a una distribución Normal, se ejecutó un análisis no paramétrico para contrastar la hipótesis en esta investigación, mediante la prueba Kruskal-Wallis, que confirmó la confiabilidad de los resultados la prueba, haciendo del SPT TRIPODE 107, un equipo adecuado para estimar la resistencia del suelo en estudio; en un mismo punto a diferentes profundidades en suelos finos de fundación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Debido al uso continuo del equipo SPT TRIPODE 107, es importante realizar un mantenimiento periódico de sus partes, para garantizar la confiabilidad del equipo.
- Para los límites de Atterberg se recomienda trabajar con un gotero, porque se puede controlar fácilmente la cantidad de agua, sin olvidar que el equipo de casa grande se encuentre debidamente calibrado antes del ensayo para obtener mejores resultados en el proceso para la obtención de resultados del límite líquido y límite plástico.

- Al momento del ensamblado del equipo de SPT se debe de contar con todo el equipo necesario de seguridad (Casco de seguridad, guantes, botas con punta de acero en lo posible) puesto que se trabaja con un equipo pesado.
- Se recomienda el uso del SPT antiguo como un ensayo auxiliar para verificar las mediciones del SPT TRIPODE 107 aplicado en suelos finos en la ciudad de Tarija.
- La implementación de un diseño experimental adecuado y de la asesoría de expertos en el área de mecánica de suelos, es imprescindible para llevar a cabo una buena labor investigativa, porque es importante detectar a tiempo las posibles falencias de los resultados provenientes de los ensayos, debido a una mala ejecución de los ensayos.