

SOFTWARE PARA LA OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO BASADO EN LOS DATOS PROPORCIONADOS POR EL STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

SOFTWARE FOR OBTAINING SOIL STRENGTH BASED ON DATA PROVIDED BY THE STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

María Marcela Velázquez Rojas¹

Universidad Autónoma de Encarnación (UNAE) – Paraguay

RESUMEN

En las últimas décadas, la tecnología se ha vuelto indispensable para profesionales de todas las áreas, incluyendo los ingenieros civiles, quienes han sido ampliamente beneficiados en sus diversos campos. Sin embargo, en el país, se percibe una falta de uso de softwares geotécnicos, ya sea por desconocimiento o porque no satisfacen las necesidades de los ensayos de suelo. El software mmvrSPT fue desarrollado para abordar esta escasez, centrándose en herramientas relacionadas con ensayos específicos como el SPT. Se validó su precisión mediante un exhaustivo análisis de cálculos manuales y ensayos, demostrando su eficacia para estimar la resistencia del suelo en áreas donde se pueda aplicar el ensayo. Este software beneficia a profesionales al proporcionar información certera sobre la resistencia del suelo, especialmente en la ciudad de Encarnación y áreas similares.

Palabras clave: tecnología, ingeniería civil, software geotécnico, ensayos de suelo.

ABSTRACT

In recent decades, technology has become an indispensable tool for professionals in every field, including civil engineers, who have greatly benefited across their various applications. However, in the country, there's a perceived lack of use of geotechnical software, either due to unawareness or because they fail to meet the requirements of soil tests. The mmvrSPT software was developed to address this shortage, focusing on tools related to specific tests such as the SPT. Its accuracy was validated through meticulous analysis of manual calculations and tests, demonstrating its effectiveness in estimating soil strength in areas where the test can be applied.

¹ Especialista en Docencia Universitaria. Docente en Universidad Autónoma de Encarnación.
maria.velazquez87@unae.edu.py

This software benefits professionals by providing accurate information on soil strength, particularly in the city of Encarnación and similar areas.

Keywords: technology, civil engineering, geotechnical software, soil tests.

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología ha transformado múltiples profesiones, entre ellas la ingeniería civil, agilizando procesos y optimizando tiempos. Sin embargo, en la geotecnia persiste la carencia de softwares específicos y accesibles para ensayos geotécnicos, como el SPT, que no ofrecen información inmediata sobre la resistencia del suelo. Actualmente, en el país se busca disminuir el tiempo empleado en el análisis posterior al ensayo mediante métodos menos complejos en cuanto a cálculo, los cuales se aproximan a la resistencia de suelo existente pero muchas veces carecen de precisión, lo que puede acarrear riesgos y errores en la construcción, desde asentamientos hasta fallos estructurales, afectando la estabilidad de las fundaciones (Das, 2001). Por ende, es fundamental desarrollar herramientas que mejoren la precisión en el análisis geotécnico, como el software mmvrSPT, para asegurar la seguridad y eficacia en los proyectos de ingeniería civil.

2. OBJETIVOS

General: Desarrollar un software que estime la resistencia del suelo a partir de los datos proporcionados por el Standard Penetration Test (SPT).

Específicos:

- Determinar las variables involucradas dentro de la determinación manual de la resistencia del suelo a partir de los datos brindados por el ensayo SPT.
- Diseñar el software con la codificación necesaria dentro del programa Visual Studio 2019 para la estimación de la resistencia del suelo.
- Validar la funcionalidad del software mediante cartas geotécnicas de la ciudad de Encarnación.

3. DESARROLLO

3.1. Materiales y Métodos

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE), creado por la compañía de Microsoft y disponible para sistemas operativos de Windows, Linux y macOS, y a la vez compatible con múltiples lenguajes de programación, tales como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby y PHP, es una aplicación informática que proporciona servicios integrales que facilitan al programador la creación del software, permitiendo desarrollar aplicaciones y sitios web.

Un IDE es un programa con numerosas propiedades que se pueden usar para diversos aspectos del desarrollo de software, en particular Visual Studio incluye características que van más allá del editor estándar y el depurador que proporcionan la mayoría de IDE, incluyendo compiladores, herramientas de finalización de código, diseñadores gráficos y otras varias para facilitar el proceso de desarrollo de software.

El lenguaje de programación utilizado para el desarrollo del software fue Visual Basic (VB), las aplicaciones creadas con este lenguaje están basadas en objetos y son manejadas por eventos, donde la ejecución no sigue una ruta predefinida, sino que se ejecutan diferentes secciones de código en respuesta a los eventos que se desencadenan por acciones del usuario, en este caso, dependerá de cada dato introducido por el usuario el paso a seguir dentro de la ruta de código, teniendo en cuenta que a su vez la ruta será diferente para cada vez que se ejecute el programa (Rodríguez Bucarely, 2008), lo cual actúa en concordancia con la individualidad de cada estudio de suelo SPT realizado.

Se utilizó esta aplicación para diseñar el software mmvrSPT, realizando la codificación de principio a fin dentro del mismo, en lo concerniente a las validaciones, se realizaron dentro de mmvrSPT dependiente de Visual Studio.

El procedimiento total se dividió en tres etapas, las cuales se detallan a continuación:

1era etapa: Revisión bibliográfica. Se recopiló toda la información necesaria para el cálculo manual de la resistencia de suelo en los distintos tipos de perfiles que puedan presentarse, partiendo de la fórmula de la ecuación del número de penetración estándar corregido para condiciones de campo (Eq. 1), aplicable para todo tipo de suelos. Luego se dedujeron las fórmulas aplicables de manera directa, presentadas en la Tabla 1, partiendo de las fórmulas de las ecuaciones de correcciones con sus factores y valores estándares (Eq. 2 a Eq. 7), para suelos granulares, y las ecuaciones de resistencia de corte no drenada (Eq. 8 y Eq. 9), para suelos cohesivos.

$$N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_S * \eta_R}{60} \quad (1)$$

Tabla 1. Fórmulas para hallar la resistencia del suelo.

Tipo de suelo	Fórmulas para hallar su resistencia
Granulares	$\sigma = 97.8121 + \sqrt[0.5]{\frac{127.7}{N_{60}}}$
Cohesivos	$\sigma = 58 * (N_{60})^{0.72}$

$$(N_1)_{60} = C_N * N_{60} \quad (2)$$

$$C_N = \left[\frac{1}{\left(\frac{\sigma'_0}{p_a} \right)} \right]^{0.5} \quad (3)$$

$$D_r (\%) = 1.55(N_1)_{60} + 40 \quad (4)$$

[para $0 \leq (N_1)_{60} \leq 25$]

$$D_r (\%) = 0.84(N_1)_{60} + 58.8 \quad (5)$$

[para $25 \leq (N_1)_{60} \leq 50$]

$$(N_1)_{60} = (N_1 + 12.9) \left(\frac{98}{\sigma'_0} \right)^{0.5} \quad (6)$$

$$\phi' = \sqrt{20 * (N_1)_{60}} + 20 \quad (7)$$

$$c_u = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} \quad (8)$$

$$c_u = 29 * N_{60}^{0.72} \quad (9)$$

Para el caso de que se presente napa freática, se dedujo que es viable la utilización directa de la fórmula dada en la ecuación de esfuerzo efectivo (Eq. 10), considerándose que si existe filtración de agua ya los datos de cualquier estudio de suelo realizado se verían alterados.

$$\begin{aligned} \sigma' &= [H * \gamma_w + (H_A - H)\gamma_{sat}] - H_A * \gamma_w = (H_A - H)(\gamma_{sat} - \gamma_w) \\ &= \text{altura de la columna de suelo} * \gamma' \end{aligned} \quad (10)$$

Tabla 2. Variaciones para ecuación del número de penetración estándar corregido para condiciones de campo.

1. Variación de η_H			
País	Tipo de martillo	Lanzamiento del martillo	η_H (%)
Japón	Anillos	Caída libre	78
	Anillos	Cuerda y polea	67
Estados Unidos	Seguridad	Cuerda y polea	60
	Anillos	Cuerda y polea	45
Argentina	Anillos	Cuerda y polea	45
China	Anillos	Cuerda y polea	60
	Anillos	Cuerda y polea	50

2. Variación de η_B	
Diámetro (mm)	η_B
60-120	1
150	1.05
200	1.15

3. Variación de η_S	
Variable	η_S
Muestreo estándar	1.0
Con revestimiento para arena densa y arcilla	0.8
Con revestimiento para arena suelta	0.9

4. Variación de η_R	
Longitud de la varilla (m)	η_R
>10	1.0
6-10	0.95
4-6	0.85
0-4	0.75

Para la aplicación de la ecuación del número de penetración estándar corregido para condiciones de campo, se filtraron los valores de la Tabla 2 de la siguiente manera:

- Para η_H :

Se estableció que el país es Argentina, por ser el de ubicación más cercana a Paraguay y, por ende, se consideraron el tipo de martillo de anillos y el lanzamiento del mismo con cuerda y polea, lo cual deriva en el valor de η_H (%) = 45.

- Para η_B :

Se estimó que el diámetro estaría siempre oscilando entre los 60 y 120 mm, en base a los datos descriptos en la norma NBR 6484:2001, y con ello, el valor de η_B = 1.

- Para η_S y η_R :

Para ambos valores de corrección se dedujo que no puede estandarizarse más de lo presentado en la Tabla 2, por lo tanto, se consideran que son valores dependientes de las condiciones dadas en el ensayo SPT, dependiendo así η_S del equipo utilizado y η_R de la profundidad a la cual se presente el rechazo.

2da etapa: Diseño de software. En base a la primera etapa, además de los datos numéricos recopilados, se normalizó la siguiente información como datos iniciales de entrada, proveídas por el usuario del software:

- Obra.
- Ubicación.
- Fecha inicial y fecha final del sondeo realizado.
- Cantidad de sondeos realizados.
- Las personas que realizaron el ensayo, dividiéndose en encargado y operador.

Para la siguiente fase de inserción de datos, primeramente, se limitó la cantidad de sondeos posibles a 2 como mínimo y de 5 como máximo, y luego se consideró que la información solicitada para cada uno de los sondeos será:

- Número de sondeo.
- Diámetro de perforación.
- Método de perforación.
- Cota.
- Profundidad de cada muestra.
- Presencia de napa freática y su profundidad.
- Descripción tacto visual de cada muestra.
- Número de golpes por muestra.
- Tipo de equipo utilizado en el ensayo, con o sin revestimiento.

Por otro lado, para la clasificación de cada estrato de suelo, se utilizó la clasificación SUCS, donde utilizando la Tabla 3, se concluye que según el porcentaje retenido en el tamiz N° 200, ingresado por el usuario entre los datos de cada sondeo y obtenido de la muestra llevada al laboratorio, el programa decidirá la utilización de las fórmulas de la Tabla 1 de la siguiente manera:

- Más de 50 % de suelo retenido en el tamiz N° 200 $\rightarrow \sigma = 97.8121 + \sqrt[0.5]{\frac{127.7}{N_{60}}}$
- Menos o 50% de suelo retenido en el tamiz N° 200 $\rightarrow \sigma = 58 * (N_{60})^{0.72}$

Tabla 3. Sistema unificado de clasificación de suelos (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75).

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos ^d	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos ^d	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% finos ^d	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM		
	Más de 12% finos ^d	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC	
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL ML
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OL Límite líquido: no secado	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2) Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	CH MH
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OH Límite líquido: no secado	OH
	Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico		Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Además, en caso de que exista napa freática, se vio necesario el ingreso del dato de peso unitario saturado del suelo, γ_{sat} , obtenido mediante la muestra llevada al laboratorio para el análisis de sus propiedades, ya que sin el mismo no podría utilizarse la fórmula de la ecuación de esfuerzo efectivo (Eq. 10).

Por último, se normalizó que el software generara un informe final, por sondeo, compuesto por dos secciones, con los datos presentados a continuación:

- Datos generales:
 - Obra.
 - Ubicación.
 - Fecha inicial y fecha final del sondeo realizado.
 - Encargado.
 - Operador SPT.
 - Número de sondeo.
 - Diámetro de perforación.
 - Método de perforación.
 - Cota.
- Resultados del análisis, por estrato:
 - Número de muestra.
 - Profundidad.

- Nivel de agua, en caso de que exista.
- Descripción tacto visual.
- Gráfico de número de golpes.
- Resistencia del suelo.
- Gráfico de resistencia del suelo.

El diseño de las tres ventanas tipo form se realizó teniendo en cuenta los datos mencionados, de manera a que el diseño tenga la fluidez necesaria para ser interpretada por cualquier profesional del área, dichas ventanas se presentan en las Figuras 1, 2 y 3.

Figura 3. Ventana 1: Bienvenida.



Figura 3. Ventana 2: Datos Iniciales.

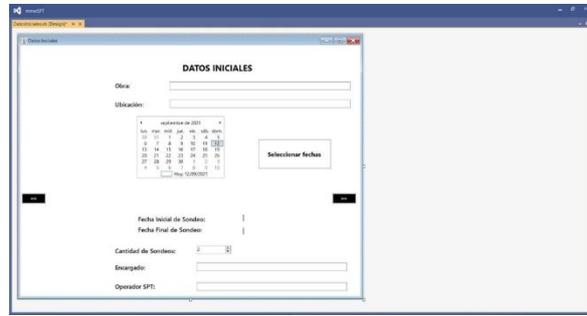


Figura 3. Ventana 3: Datos del Sondeo.

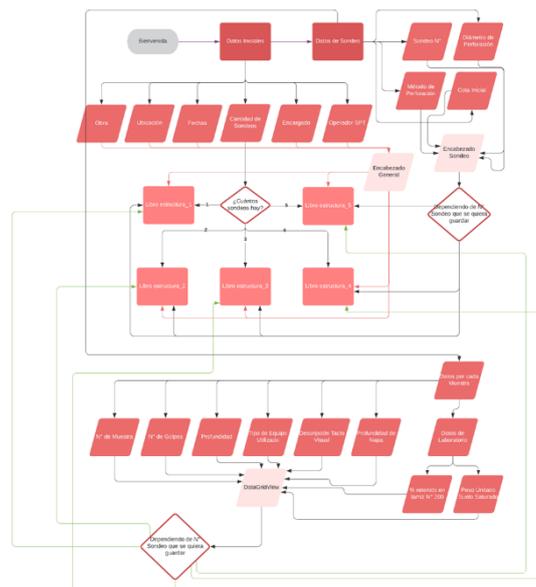


Pasando mediante los botones de Sondeo N° a cada Hoja Excel donde se encuentra la planilla tipo presentada en la Figura 4, con los botones de: Cargar Planilla, el cual envía todos los datos desde el software a excel; Vista Previa de Impresión, que permite al usuario tener un preview de la hoja a imprimir y Generar PDF de Sondeo, que envía la hoja a un pdf llamado Sondeo seguido del número correspondiente para cada uno de ellos.

Figura 4. Planilla tipo generada para cada sondeo.

El algoritmo se desarrolló de la manera presentada en la Figura 5, generando así condiciones específicas dentro del programa para cada uno de los datos ingresados por el usuario del software, abarcando todos los casos posibles, ya analizados en la primera etapa.

Figura 5. Algoritmo mmvrSPT.



3ra etapa: Validación de la funcionalidad del software. La misma se realizó teniendo en cuenta el algoritmo generado en la segunda etapa, validando los siguientes puntos, con las respectivas diferentes opciones que puedan presentarse:

Si en la ventana Datos Iniciales, el usuario decide avanzar sin completar todos los datos necesarios, se presenta un MsgBox que no le permite seguir utilizando el programa, en caso de que todos los campos de Obra, Ubicación, Fechas, Encargado y Operador SPT estén completados se pasaría a la ventana Datos del Sondeo.

- Dependiendo de la cantidad de sondeos definida en la ventana Datos Iniciales, se habilitarán los Boton de Sondeo N° en la ventana Datos del Sondeo.
- Si en la ventana Datos del Sondeo se tilda el CheckBox se habilitarán los TextBox para ingresar el valor de la profundidad a la cual se encuentra, en metros y el peso unitario del suelo saturado, en kg/m^3 .
- Una vez que se presione el Button de Sondeo N° 1 se abrirá el Libro Excel guardado como estructura_1, lo mismo sucederá cuando se presionen el Button correspondiente al sondeo 2, 3, 4 y 5, cambiando solo el número 1 por el respectivo indicado.
- Dentro de la hoja DATOS_SPT, ubicada dentro de cada Libro mencionado, si se presiona el botón de Cargar Planilla, esta estará actualizando los datos correspondientes al informe del sondeo, donde la columna de resistencia cambiará sus celdas vacías solo si se logra calcular la misma con los datos proporcionados, teniéndose en cuenta aquí las fórmulas mencionadas en la primera etapa, para cada tipo de suelo y cada condición presentada.
- En cuanto a la actualización de los gráficos, estos dependerán de las columnas de número de golpes y profundidad, para el gráfico de N° de golpes, y de resistencia y profundidad para el gráfico de Resistencia del suelo.

Luego, se comparó la información generada por el software con los datos de ensayos SPT que cuentan con el respaldo de distintas empresas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez finalizado el software, se validaron los resultados generados por el mismo, teniendo en cuenta el cumplimiento del algoritmo y la tendencia similar de las gráficas de N° de golpes y Resistencia del suelo. Se considera que, para todos los casos, la gráfica de N° de golpes se generó de manera idéntica y correcta.

En cuanto a los resultados de la columna de resistencia y su correspondiente gráfica, se considera que cuentan con el respaldo teórico suficiente para pasar la prueba de validación, tomando en cuenta las condiciones de campo en las que se realiza el ensayo, los parámetros del equipo utilizado para cada caso y el tipo de suelo examinado en cada muestra.

Si bien, dentro de los ensayos de suelo recaudados no se evidencia, no se puede dejar de lado que existe cierta variación en la resistencia presentada en suelos granulares, la cual

radica en el enfoque que el ensayo tiene hacia la resistencia de suelos cohesivos, se consideran que los resultados son válidos por contar con el respaldo teórico de las fórmulas utilizadas.

En cuanto a los suelos cohesivos, la resistencia obtenida es válida, por lo tanto, se valida también la libre posterior utilización del software en la ciudad de Encarnación y en algunos puntos del departamento de Itapúa, teniendo en cuenta que los suelos presentados en estas regiones del país, en su mayoría, están compuestos por arcillas. Además, ante la presencia de napa freática, se comprueba la inminente disminución de la resistencia del suelo, lo cual en la mayoría de los casos de aproximación se pasa por alto.

Los resultados obtenidos, en formato pdf, para concluir lo mencionado anteriormente, se presentan en las siguientes figuras:

Figura 6. Estudio 1 - Sondeo 1 - Resultados, Parte 1/2.

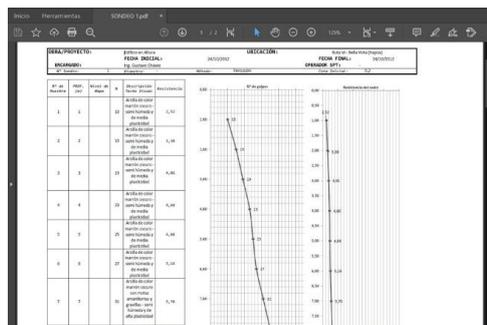


Figura 7. Estudio 1 - Sondeo 1 - Resultados, Parte 2/2.

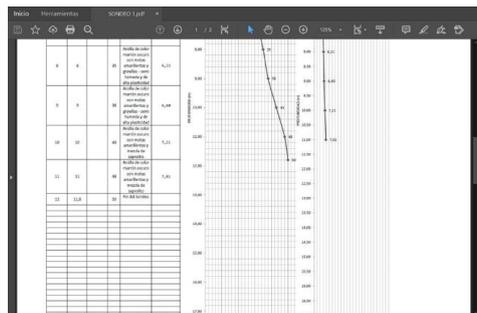


Figura 8. Estudio 1 - Sondeo 2 - Resultados, Parte 1/2.

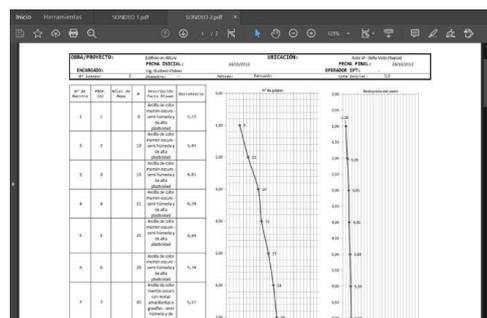


Figura 10. Estudio 1 - Sondeo 2 - Resultados. Parte 2/2.

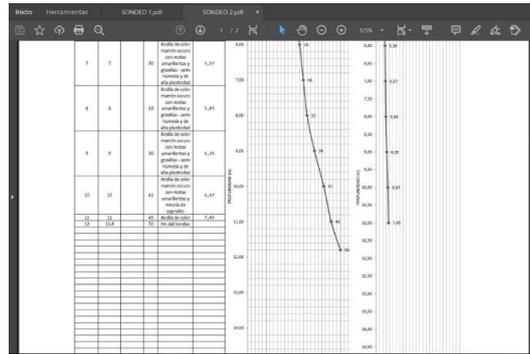


Figura 9. Estudio 1 - Sondeo 3 - Resultados. Parte 1/2.

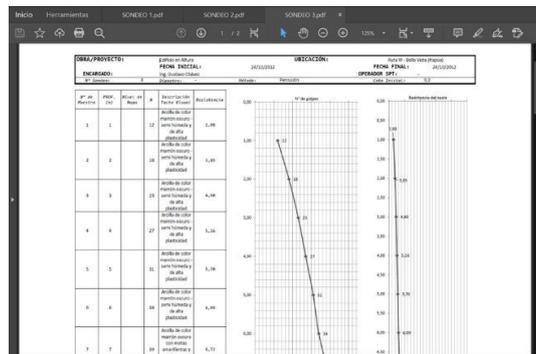


Figura 11. Estudio 1 - Sondeo 3 - Resultados, Parte 2/2.

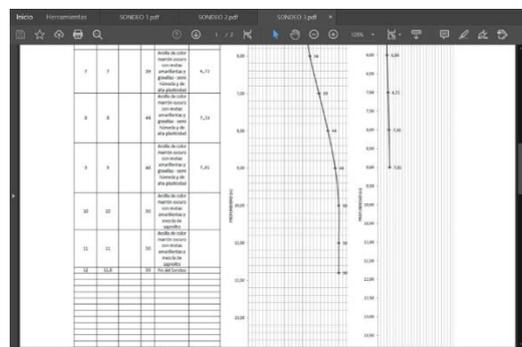


Figura 12. Estudio 2 - Sondeo 1 - Resultados, Parte 1/2.

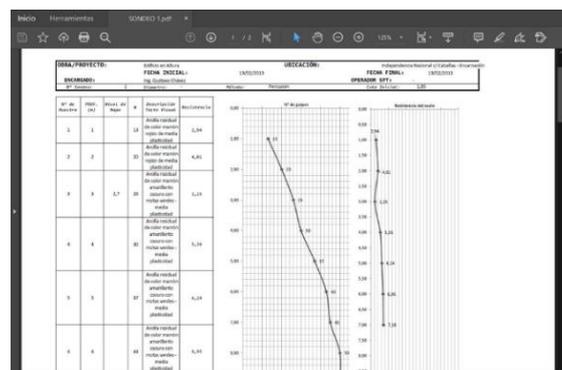


Figura 13. Estudio 2 - Sondeo 1 - Resultados, Parte 2/2.

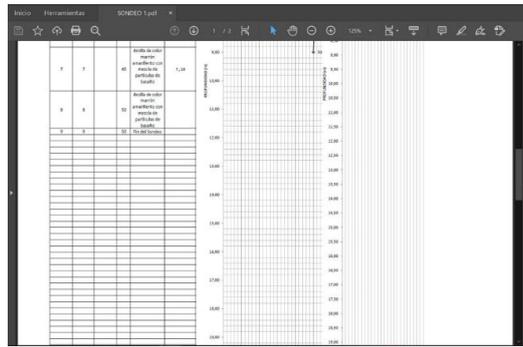


Figura 14. Estudio 2 - Sondeo 2 - Resultados, Parte 1/2.

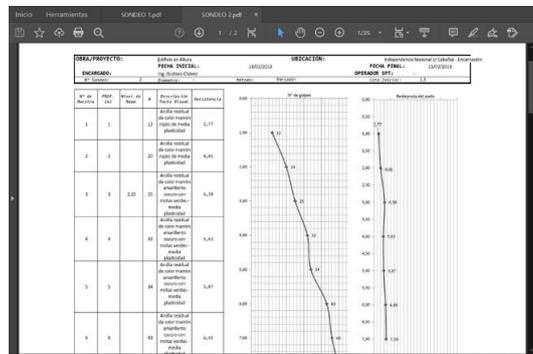


Figura 15. Estudio 2 - Sondeo 2 - Resultados, Parte 2/2.

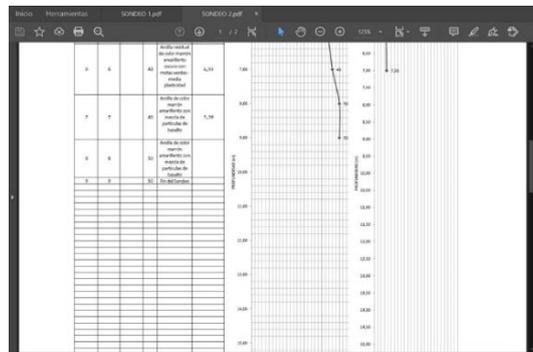


Figura 16. Estudio 2 - Sondeo 3 - Resultados, Parte 1/2.

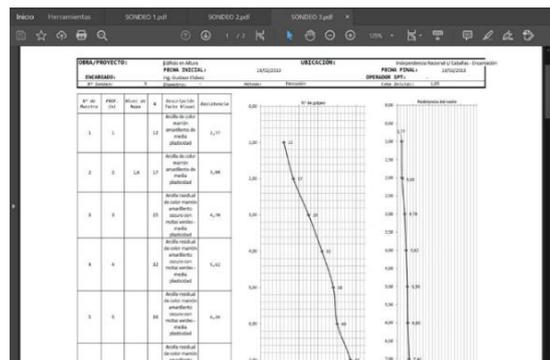


Figura 17. Estudio 2 - Sondeo 3 - Resultados, Parte 2/2.

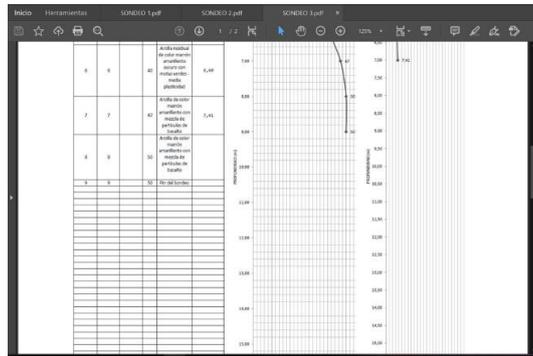


Figura 18. Estudio 3 - Sondeo 1 - Resultados, Parte 1/2.

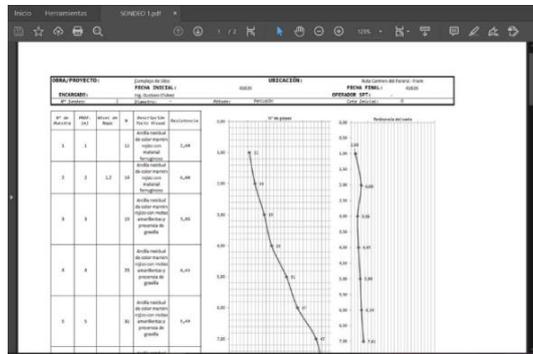


Figura 19. Estudio 3 - Sondeo 1 - Resultados, Parte 2/2.

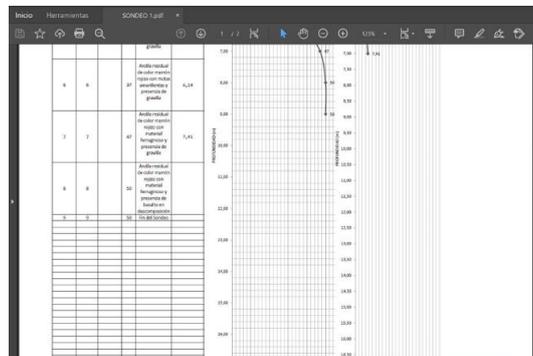


Figura 20. Estudio 3 - Sondeo 2 - Resultados, Parte 1/2.

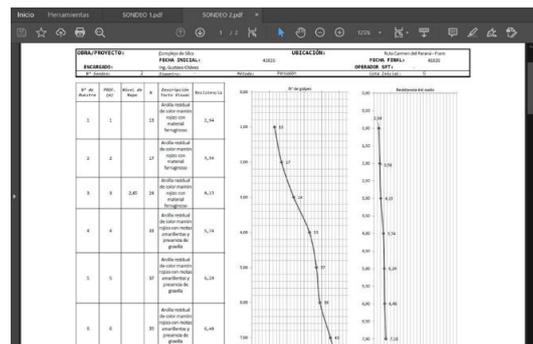


Figura 21. Estudio 3 - Sondeo 2 - Resultados, Parte 2/2.

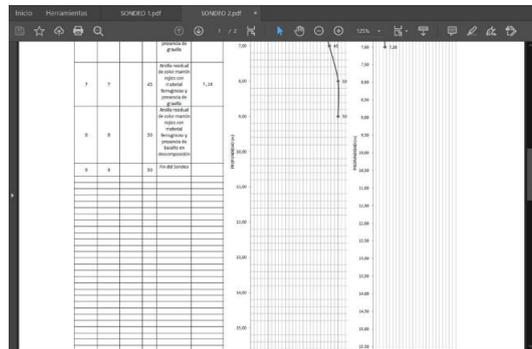


Figura 22. Estudio 3 - Sondeo 3 - Resultados, Parte 1/2.

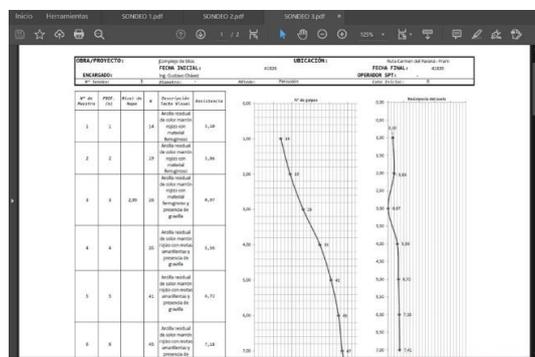


Figura 23. Estudio 3 - Sondeo 3 - Resultados, Parte 2/2.

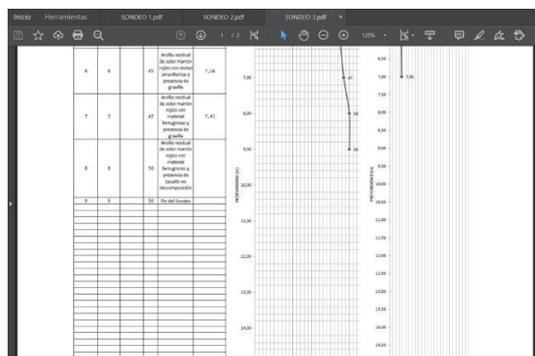


Figura 24. Estudio 3 - Sondeo 4 - Resultados, Parte 1/2.

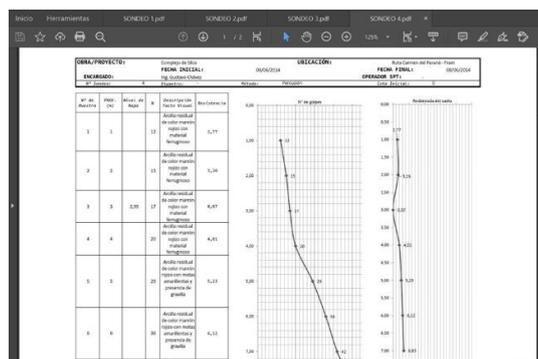


Figura 25. Estudio 3 - Sondeo 4 - Resultados, Parte 2/2.

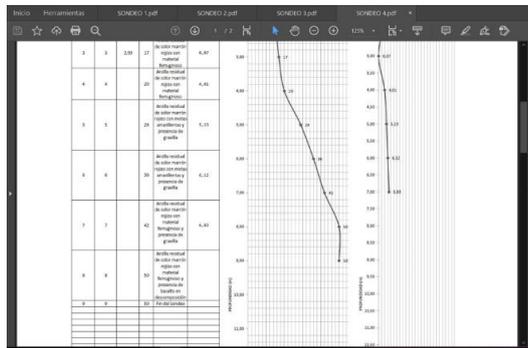


Figura 26. Estudio 3 - Sondeo 5 - Resultados, Parte 1/2.

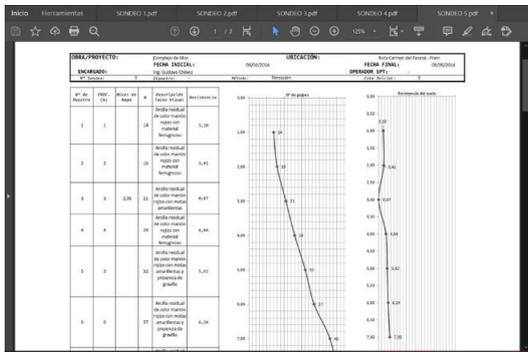


Figura 27. Estudio 3 - Sondeo 5 - Resultados, Parte 2/2.

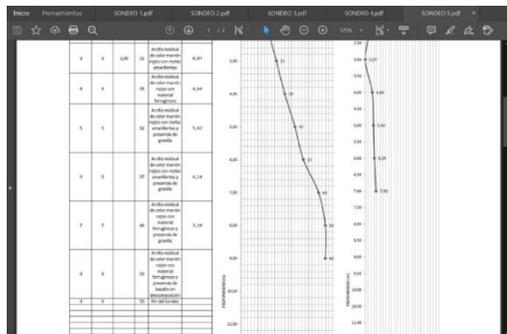


Figura 28. Estudio 3 - Sondeo 5 - Resultados, Parte 2/2.

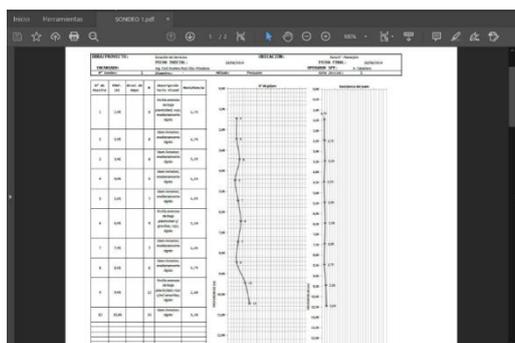


Figura 29. Estudio 4 - Sondeo 1 - Resultados.



Figura 30. Estudio 4 - Sondeo 2 - Resultados.

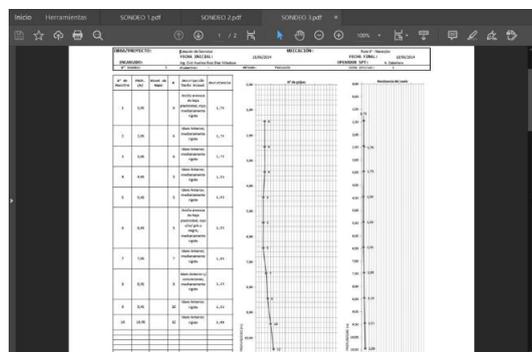
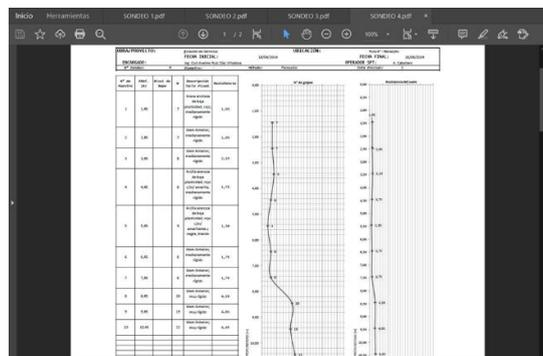


Figura 31. Estudio 4 - Sondeo 3 - Resultados.



5. CONCLUSIÓN

Los resultados validados, aunque aproximativos, se consideran más precisos al considerar factores exactos de las muestras y fórmulas aplicadas. La informatización del proceso de cálculo de suelos optimiza el tiempo y reduce errores humanos. Esta precisión puede optimizar presupuestos de fundaciones al evitar sobredimensionamientos costosos. En caso de requerirse mayores dimensiones, se prioriza la seguridad. Los informes digitales facilitan la colaboración profesional en la elección de fundaciones. En resumen, la validación mejora la precisión de los

resultados, optimiza costos y promueve la seguridad en la construcción, mientras que la digitalización agiliza procesos y fomenta la colaboración interprofesional en la toma de decisiones de ingeniería.

6. REFERÊNCIAS

TERZAGHI, Karl y PECK, Ralph B.. *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. Segunda Edición. 1978.

DAS, Braja M.. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. 2015.

DAS, Braja M.. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. 2001.

Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory. Disponible en: <http://www.ggsd.com/>

TERZAGHI, Karl. *Theoretical Soil Mechanics*. 1943.

LAMBE, T. William y WHITMAN, Robert V.. *Mecánica de Suelos*. 1976.

MURRAY, Haydn H. *Applied Clay Mineralogy*. 2007.

JIMENEZ SALAS, José A. y DE JUSTO ALPAÑES, José L. *Geotecnia y Cimientos I*. 1975.

NBR 6484:2001 Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. 2001.

ASOCIACION PARAGUAYA DE CARRETERAS. Método de penetración normal y muestreo con tubo partido de los suelos. Manual de Carreteras del Paraguay - Ensayos de materiales para construcción de carreteras - Unidad 6. 2019.

Mapa Geológico del Paraguay. Disponible en:

https://www.ssme.gov.py/vmme/images/mineria/mapa%20geologico_1millon_set2014.png

Mapa de los Suelos del Paraguay. Disponible en:

<https://www.geologiadelparaguay.com.py/mapasdesuelos.htm>

FERREYRA, M.. Carta Geotécnica del microcentro Urbano de la Ciudad de Encarnación.

Trabajo de titulación (Ingeniero Civil). 2012.

Relatorio de Impacto Ambiental – Cementerio Municipal de la Ciudad de Encarnación.

Disponible en: http://mades.gov.py/sites/default/files/users/control/muni_encar_antonio.m.pdf

GeoLogismiki. Disponible en: <https://geologismiki.gr/about-us/>

RODRÍGUEZ BUCARELLY, Carlos M. *Visual Basic 6.0, Orientado a Bases de Datos*.

Segunda Edición. Desarrollando Grupo Experto Bucarely, 2008. 158p. DCLC (Distribución del Conocimiento Libre de Costo).