



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Diseño de una red neuronal artificial no supervisada
para la estimación de parámetros de resistencia al
corte de suelos a partir de sus propiedades físicas**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Elvis Magno SOLÍS GÁLVEZ

ASESOR

Wilfredo Baro FANOLA MERINO

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Solís, E. (2023). *Diseño de una red neuronal artificial no supervisada para la estimación de parámetros de resistencia al corte de suelos a partir de sus propiedades físicas*. [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Elvis Magno Solis Galvez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71250880
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Wilfredo Baro Fanola Merino
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06030740
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9041-3663
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Sumoso Huaman Angel Orlando
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06842634
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jose Vidal Huarcaya
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09450859
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Edmundo Picon Llanos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07564597
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.5.8 Inteligencia Artificial
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: "M" Cnd. Los Robles. País: Perú Departamento: Lima. Provincia: Lima. Distrito: San Martín de Porres. Manzana y Lote: Dpto.1001 Calle: Alberto Aberd. Latitud:-12.031316 Longitud:-77.050509
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2018 - Julio 2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05 Geotecnia https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



Firmado digitalmente por ROMAN
CCORAHUA Edy Alberto FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 27.05.2023 17:12:48 -05:00



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 060/FIEE-EPIE/2023

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, bajo la Presidencia del **ING. ANGEL ORLANDO SUMOSO HUAMAN**, integrado por el **ING. JOSE VIDAL HUARCAYA**, el **ING. EDMUNDO PICON LLANOS** y Miembro Asesor el **ING. WILFREDO BARO FANOLA MERINO**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. ELVIS MAGNO SOLÍS GÁLVEZ** con código N° **10190029** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **DISEÑO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL NO SUPERVISADA PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS A PARTIR DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo de **diecisiete (17)**.

Ciudad Universitaria, 13 de mayo del 2023

ING. ANGEL ORLANDO SUMOSO HUAMAN

Presidente de Jurado

ING. JOSE VIDAL HUARCAYA

Miembro Jurado

ING. EDMUNDO PICON LLANOS

Miembro de Jurado

ING. WILFREDO BARO FANOLA MERINO

Miembro Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica.
2. Escuela Profesional de Ingeniería electrónica.
3. Emisor del Informe el presidente de la Comisión Ejecutiva del Pro0grama de Perfeccionamiento Profesional.
4. Operador del programa informático de similitudes: Edy Alberto Román Ccorahua.
5. Documento evaluado: Trabajo de Suficiencia Profesional para título de (pregrado) **DISEÑO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL NO SUPERVISADA PARA LA ESTIMACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS A PARTIR DE SUS PROPIEDADES FISICAS.**
6. Autor de la tesis: **ELVIS MAGNO SOLIS GALVEZ**
Fecha de aplicación de recepción del documento: 13-04-2023
7. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 13-04-2023
8. Software utilizado: Turnitin.
9. Configuración del programa detector de similitudes:
 - Excluye citas.
 - Excluye bibliografía.
 - Excluye cadenas menores de 40 palabras
10. Porcentaje de similitudes según programa detector: Diez por ciento – 10%
11. Fuentes originales de las similitudes encontradas.

1. hdl.handle.net	2% Fuente de Internet
2. nanopdf.com	2% Fuente de Internet
3. repositorio.unh.edu.pe	2% Fuente de Internet
4. documentop.com	1% Fuente de Internet
5. Submitted to Universidad Nacional de Colombia	1% Fuente de Internet
6. Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego	<1% Fuente de Internet
7. JOSÉ CARLOS PRECIADO CARRILLO.	<1% Fuente de Internet
8. uir.unisa.ac.za	<1% Fuente de Internet
9. cybertesis.unmsm.edu.pe	<1% Fuente de Internet
10. dspace.uazuay.edu.ec	<1% Fuente de internet
12. Observaciones: Ninguna.
13. Calificación de originalidad.
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.
14. Fecha del informe: 29 de mayo del 2023.

Atentamente,

Mg. Edy Alberto Román Ccorahua
Presidente de la Comisión Ejecutiva del Programa de



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

Perfeccionamiento Profesional

Anexo 1

DISEÑO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL NO SUPERVISADA PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS A PARTIR DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS

por Elvis Magno Solís Gálvez

Fecha de entrega: 13 Julio 2021 09:30pm (UTC-0500)

Identificación de la entrega: 2662662021

Nombre del archivo: TOP_ELVIS_MAGNO_SOLIS_GALVEZ_FINAL.docx (4.24KB)

Total de palabras: 1.0331

Total de caracteres: 7079



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

DISEÑO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL NO SUPERVISADA PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS A PARTIR DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS

versión 01 (2024-2025)

10%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

Fuente(s) de consulta

1	hdl.handle.net Fuente de internet	2%
2	nanopdf.com Fuente de internet	2%
3	repositorio.unh.edu.pe Fuente de internet	2%
4	documentop.com Fuente de internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1%
7	JOSÉ CARLOS PRECIADO CARRILLO. "Valoración de inmuebles urbanos comparativa modelo regresión multivariable"	<1%

versus redes neuronales artificiales para la ciudad de Morelia Michoacán, México.",
Universitat Politècnica de Valencia, 2016

Publicación

8	uir.unisa.ac.za Fuente de internet	<1%
9	cybatesis.unmsm.edu.pe Fuente de internet	<1%
10	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de internet	<1%

DEDICATORIA

Gracias a mi querida familia, mis padres Magno y Denia por el tiempo, dedicación y esfuerzo que pusieron en mi para poder tener una carrera profesional, por ser mi motor y fuente de inspiración para hacer realidad cada una de mis metas en la vida.

A mis hermanos Alex, Carlos, Diego y Luis por su apoyo en diversos aspectos y momentos e ideas innovadoras que me ayudaron a culminar el presente trabajo con mucha satisfacción.

Gracias por la fuerza y amor que compartimos siempre.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a Dios y a mi familia por la fuerza y el apoyo incondicional para desarrollar el presente trabajo.

Gracias a la Escuela profesional de Ingeniería Electrónica y a los profesores por dotarme de capacidades profesionales y herramientas para ser un profesional competente con el propósito de garantizar el bienestar de la sociedad.

Al Gerente General de la empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L. Ing. Gallegos Ayte, David Eloy por su apoyo y permiso para poder implementar el presente trabajo en la empresa.

Al Gerente de Proyectos de la empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L. Ing. Ñaupari Aparco, Jordan Matheus por evaluar y ejecutar el presente trabajo en las actividades de la empresa.

Asimismo, a la empresa JGRB Ingenieros S.R.L por su aporte para la elaboración de la base de datos de estudios de suelos muy importante para el desarrollo del presente trabajo.

Gracias a mi asesor Ing. Fanola Merino, Wilfredo Baro y a la comisión de titulación por darnos la oportunidad y seguimiento para poder obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico.

Gracias a mi asesor personal Ing. Melo por la guía con consejos y recomendaciones para el diseño de la Red Neuronal Artificial el cual es el núcleo del presente trabajo tecnológico.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una solución tecnológica alternativa mediante el diseño de una red neuronal artificial (RNA) para estimar los parámetros de resistencia al corte de suelos (el ángulo de fricción y la cohesión) que son muy necesarios para el diseño de cimentación de torres de estaciones de telecomunicaciones. Para ello inicialmente se elaboró una base de datos cuya información proviene de recientes proyectos regionales de Telecomunicaciones y de proyectos particulares para importantes empresas conocidas del entorno.

La propuesta tecnológica del diseño de la Red Neuronal Artificial se desarrolló escribiendo código con el Software Matlab, se explicará cada etapa del diseño desde el ingreso de la data a la red seguido de la forma de entrenamiento, hasta que la RNA quede bien definida.

Una vez obtenido los resultados de la RNA, se realizó una comparación con los resultados obtenidos de los laboratorios de suelos; Permitiendo determinar la capacidad de generalización de la red Neuronal Artificial diseñada; Posteriormente se presenta las evaluaciones técnicas y económicas donde se evidencia el conjunto de mejoras que produjo la RNA para los procesos internos de la empresa Delta y por último se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.

Palabras claves: Red, Neuronas, Matlab, Telecomunicaciones, Geotécnia.

ABSTRACT

The objective of this work is to propose an alternative technological solution through the design of an artificial neural network (RNA) to estimate the shear resistance parameters of soils (the friction angle and cohesion) that are very necessary for the foundation design. telecommunication station towers. To this end, a database was initially prepared whose information comes from recent regional Telecommunications projects and from private projects for important well-known companies in the area.

The technological proposal for the design of the Artificial Neural Network was developed by writing code with the Matlab Software, each stage of the design will be explained from the entry of the data into the network followed by the training method, until the ANN is well defined.

Once the RNA results were obtained, a comparison was made with the results obtained from the soil laboratories; Allowing to determine the generalization capacity of the designed Artificial Neural network; Subsequently, the technical and economic evaluations are presented where the set of improvements produced by the RNA for the internal processes of the Delta company are evidenced and finally the conclusions and recommendations of this research work are presented.

Key words: Network, Neurons, Matlab, Telecommunications, Geotechnics.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS	X
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II	3
INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD 3	
2.1 INSTITUCIÓN.....	3
2.2 PERIODO DE DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	4
2.3 FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ENTIDAD	4
2.4 RAZÓN SOCIAL.....	4
2.5 DIRECCIÓN POSTAL	4
2.6 CORREO ELECTRÓNICO DEL PROFESIONAL A CARGO	5
CAPITULO III	6
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	6
3.1 ORGANIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD	6
3.2 FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD	7
3.2.1 <i>Finalidad</i>	7
3.2.2 <i>Objetivos</i>	7
3.3 PROBLEMÁTICA	7
3.3.1 <i>Determinación del problema</i>	7
3.3.2 <i>Formulación del problema</i>	8
3.3.3 <i>Justificación e importancia de la investigación</i>	8
3.4 METODOLOGÍA	9
3.4.1 <i>Bases teóricas</i>	9
3.4.2 <i>Marco conceptual</i>	18

3.5 PROCEDIMIENTO	20
3.6 RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	37
CAPITULO IV	39
CONCLUSIONES	39
4.1 JUSTIFICACIÓN	39
4.1.1 <i>Evaluación económica</i>	39
4.1.2 <i>Evaluación técnica</i>	43
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	46
4.3 CONCLUSIONES.....	47
CAPÍTULO V	49
RECOMENDACIONES.....	49
CAPITULO VI:	50
BIBLIOGRAFÍA	50
CAPITULO VII	51
GLOSARIO.....	51
CAPITULO VIII:	55
ANEXOS.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figure 1: Organigrama de la institución. Fuente: Departamento de administración de Delta Projekt Ingeniería y Construcción E.I.R.L	6
Figure 2: Definición de los límites de Atterberg. Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones,(Das, 2012)	10
Figure 3: Variación del $\sin \phi'$ con el índice de plasticidad (IP) para varias arcillas normalmente consolidadas. Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones,(Das, 2012).....	13
Figure 4: Clasificación de las RNA de acuerdo al algoritmo de aprendizaje y a la topología de la red. Fuente: Redes Neuronales y Sistemas Difusos (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001).....	20
Figure 5: Ángulo de fricción, obtenido por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figure 6: Cohesión, obtenido por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.	30
Figure 7: Ángulo de fricción, obtenido por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figure 8: Cohesión, obtenida por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.	36
Figure 9: Proceso de entrega de proyectos al cliente. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figure 10: Proceso de entrega de proyectos al cliente con implementación de RNA. Fuente: Elaboración propia.	45
Figure 11: Ubicación de nodos en la región de Puno. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figure 12: Ubicación de los nodos en la región de Tacna. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figure 13: Ventana de App Designer de Matlab. Fuente: Tomado del Software Matlab.....	72

Figure 14: Interfaz gráfica de la solución tecnológica en App Designer de Matlab. Fuente: Tomado del Software Matlab	73
Figure 15: Interfaz de Application Compiler de Matlab. Fuente: Tomado del Software Matlab	76
Figure 16: Finalización de compilación. Fuente: Tomado del Software Matlab.	76
Figure 17: Carpetas creadas e instalador del Programa diseñado. Fuente: Tomado del Software Matlab	77
Figure 18: Ejecución de instalación de la solución tecnológica. Fuente: Tomado del Software Matlab	78
Figure 19: Inicia instalación de solución tecnológica. Fuente: Tomado del Software Matlab	78
Figure 20: Confirmación de ubicación de instalación. Fuente: Tomado del Software Matlab	79
Figure 21: Instalación completada exitosamente. Fuente: Tomado del Software Matlab	79
Figure 22: Creación de acceso directo en el escritorio. Fuente: Tomado del Software Matlab	80
Figure 23: Interfaz gráfica de la solución tecnológica. Fuente: Tomado del Software Matlab	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Tamaño de mallas estándar de EE. UU. Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones, (Das, 2012)</i>	11
Tabla 2: <i>Valores del ángulo de fricción interno de acuerdo a las propiedades físicas. Fuente: Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción Interna (\emptyset) Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela</i>	14
Tabla 3: <i>Expresiones de Meyerhof para estimar el ángulo de fricción en función de la densidad relativa</i>	17
Tabla 4: <i>Expresiones de Burmister para correlacionar el ángulo de fricción con la densidad relativa</i>	17
Tabla 5: <i>Estimaciones de Braja Das brindando la relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción de suelos no cohesivos</i>	18
Tabla 6: <i>Costos de equipos e implementos complementarios a la solución tecnológica. Fuente: Elaboración propia</i>	40
Tabla 7: <i>Flujo de caja de implementación de laboratorio. Fuente: Elaboración propia</i>	41
Tabla 8: <i>Cálculo del valor actual neto del Proyecto. Fuente: Elaboración propia</i>	42
Tabla 9: <i>Indicadores VAN, TIR y Tasa de descuento del Proyecto. Fuente: Elaboración propia</i>	43
Tabla 10: <i>Indicadores de mejoras en el proceso de entrega de proyectos finales. Fuente: Elaboración propia</i>	46
Tabla 11: <i>Promedio de tiempos necesarios para obtener los parámetros de resistencia al corte de suelos</i>	57
Tabla 12: <i>Costos promedio de equipos para un laboratorio de mecánica de suelos básico que pueda brindar los parámetros de resistencia al corte. Fuente: Elaboración propia</i>	58
Tabla 13: <i>Proyectos particulares para la empresa CICSA, año 2015. Fuente: Elaboración propia</i>	59

Tabla 14: <i>Proyectos particulares para la empresa CICSA, año 2016. Fuente: Elaboración propia</i>	60
Tabla 15: <i>Proyectos para PRONATEL, año 2018. Fuente: Elaboración propia.</i>	62
Tabla 16: <i>Proyectos para PRONATEL, año 2019. Fuente: Elaboración propia.</i>	63
Tabla 17: <i>Proyectos para PRONATEL, años 2020-2021. Fuente: Elaboración propia</i>	64
Tabla 18: <i>Base de datos procesada para el entrenamiento de la RNA. Fuente: Elaboración propia</i>	66
Tabla 19: <i>Relación de nuevos nodos para determinar la capacidad de generalización. Fuente: Elaboración propia</i>	70

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas dedicadas al rubro de diseño de infraestructura de estaciones de telecomunicaciones como son el diseño de planos: estructurales, arquitectónicos, eléctricos, topográficos, comunicaciones y de seguridad. Requieren obtener con mayor urgencia parámetros geotécnicos que les permite el diseño de cimentaciones de torres de telecomunicaciones en menor tiempo. Para la capacidad que tenga la empresa de dar seguimiento a grandes paquetes de “nuevos sites” a implementar se requiere resultados más rápidos y eficaces por parte de los Laboratorios de mecánica de Suelos, sin embargo, la misma naturaleza de los procedimientos de los ensayos geotécnicos mediante el uso de máquinas mecánicas para dichos ensayos, toma un tiempo dependiendo del tipo de suelo que se vaya ensayar. Este tiempo repercute en los procesos internos de las actividades de oficina, debiéndose volver a revisar el site por las áreas encargadas modificando o rediseñando los planos disminuyendo la capacidad de trabajos de la empresa de diseño. Es por ello que en el presente trabajo se propone una solución tecnológica a este problema diseñando una red neuronal artificial que permita obtener en menor tiempo resultados similares a los que darían los laboratorios de mecánica de suelos, específicamente estimar los parámetros geotécnicos denominados ángulo de fricción y la cohesión del material ensayado.

El poder presentar una solución tecnológica a este problema diseñando una red neuronal artificial que permita obtener en menor tiempo resultados similares a los que darían los laboratorios de mecánica de suelos, específicamente poder estimar los parámetros geotécnicos denominados ángulo de fricción y la cohesión del material ensayado, permitirá:

- Tener una alternativa tecnológica más rápida y complementaria a los laboratorios de suelos para calcular los valores requeridos para el diseño de cimentaciones de torres de telecomunicaciones.
- Aumentar el dinamismo interno de los trabajos de gabinete, pudiendo las otras especialidades involucradas plantear un diseño definitivo para cada nodo de telecomunicaciones, sin volver a revisarlas.
- Aumentar la capacidad de entrega de proyectos de telecomunicaciones en menor tiempo, siendo más eficientes al momento de la entrega de proyectos finales.
- Mejorar la calidad de los proyectos ya que se aprovecha el tiempo gracias a los resultados rápidos de la RNA.
- Optimizar las horas hombre laboradas repercutiéndose en la eficiencia de la empresa.
- Brindar a la empresa de diseño la posibilidad de implementar su propio laboratorio de suelos, obteniendo rápidamente todos los elementos, pero prescindiendo de máquinas mecánicas, como es el caso de la máquina para el ensayo de corte directo, que son de costo mayor.

CAPITULO II

INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución

La empresa, brinda servicios de consultoría en el rubro de telecomunicaciones cuyas soluciones consisten en brindarles a sus clientes servicios de alta calidad. Las actividades que desarrollan son las siguientes:

- Evaluación Estructural de Torres de telecomunicaciones existentes.
- Evaluación Estructural de Edificaciones para emplazamiento de una antena celular.
- Reforzamiento de Torres de telecomunicaciones.
- Levantamiento Topográfico, para determinar cortes y/o rellenos de la estación de telecomunicaciones.
- Planos de ubicación y localización, Planos de Arquitectura, cortes y elevaciones, Planos de Estructuras, Estructuras Metálicas e Instalaciones Eléctricas.
- Memorias descriptivas y especificaciones técnicas de cada especialidad.
- Expediente de Licencia expedito para entregar al área de Site Acquisition, para su trámite respectivo ante Municipalidad.
- Diseño de sistemas de puesta a tierra, elaboración de estudios de resistividad.

2.2 Periodo de duración de la actividad

La actividad se desarrolló desde el mes de Julio de 2018 hasta Octubre de 2022.

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

Convertirse en una de las empresas líderes en brindar servicios de calidad al sector de las telecomunicaciones.

Fomentar el desarrollo e innovación de nuevas tecnologías para optimizar los procesos internos de la empresa.

Incrementar el personal fijo contratado y ampliar las coordinaciones existentes a nivel nacional.

Fomentar entre los empleados la cultura del crecimiento, el ahorro y la educación de manera sostenida.

Diseñar una estructura empresarial novedosa que permita la expansión de la empresa luego de su cambio de directiva.

2.4 Razón social

Empresa: DELTA PROJEKT INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.
RUC: 20602926240

2.5 Dirección postal

Dirección: CALLE LOS DOGOS 768, URB. LOS JAZMINES S.J.L.
Código postal: 15419

2.6 Correo electrónico del profesional a cargo

Ing. Ñaupari Aparco, Jordan Matheus.

correo: jnaupari@deltaprojekt.com.pe

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

Se describe la organización de la institución a través de su organigrama y se especifica el área y las funciones desempeñadas.

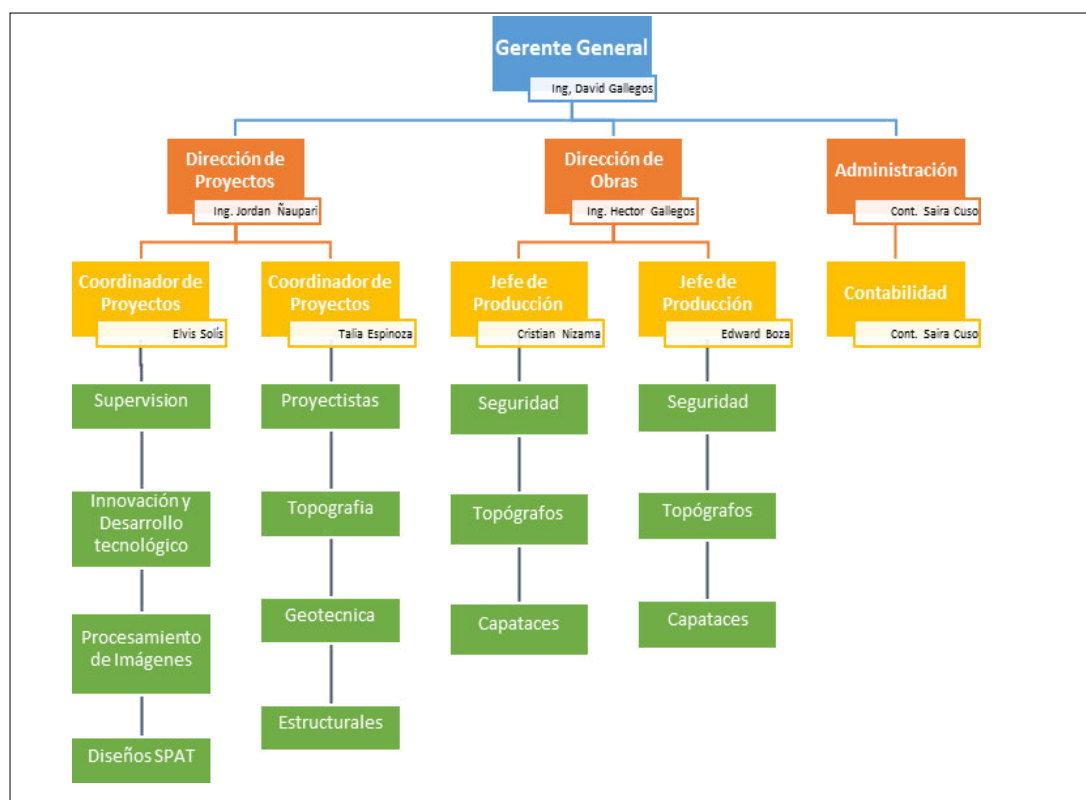


Figure 1: Organigrama de la institución. Fuente: Departamento de administración de Delta Projekt Ingeniería y Construcción E.I.R.L.

3.2 Finalidad y objetivos de la actividad

3.2.1 Finalidad

Entrega eficiente y eficaz de los anteproyectos y proyectos finales al Programa Nacional de Telecomunicaciones PRONATEL, mediante la revisión de la empresa OROCOM S.A.C; Estos trabajos pertenecen al Proyecto Nacional de Instalación de banda ancha para la conectividad Integral y desarrollo social de la región de Puno, Moquegua y Tacna.

3.2.2 Objetivos

- Optimizar las coordinaciones del área de campo con el área de oficina mejorando los tiempos para cada especialidad involucrada en la elaboración de planos y diseños ingenieriles.
- Aplicar herramientas tecnológicas que permitan mejorar los tiempos internos del área de oficina.
- Aumentar la capacidad de entrega de proyectos de la empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L.

3.3 Problemática

A continuación, se realiza el planteamiento del problema a través de la definición y Formulación del Problema.

3.3.1 Determinación del problema

Actualmente las empresas dedicadas al rubro del diseño estructural de estaciones de telecomunicaciones como son el diseño de planos: estructurales, arquitectónicos, eléctricos, topográficos, comunicaciones y de

seguridad requieren obtener con mayor urgencia parámetros geotécnicos que les permita diseñar la cimentación de torres de telecomunicaciones en menor tiempo. Para que la empresa pueda dar el seguimiento a grandes paquetes de “nuevos sites” a implementar se requiere resultados más rápidos y eficientes por parte de los Laboratorios de mecánica de suelos, sin embargo, la misma naturaleza de los procedimientos de los ensayos geotécnicos mediante el uso de máquinas mecánicas para dichos ensayos, toma un tiempo dependiendo del tipo de suelo que se vaya ensayar. Es por ello que en el presente trabajo se propone una solución tecnológica a este problema diseñando una red neuronal artificial que permita obtener en menor tiempo resultados similares a los que darían los laboratorios de mecánica de suelos, específicamente estimar los parámetros geotécnicos denominados ángulo de fricción y la cohesión del material ensayado.

3.3.2 Formulación del problema

¿Cómo influye el diseño de una red neuronal artificial que permita obtener los parámetros geotécnicos de resistencia al corte (el ángulo de fricción y la cohesión) a partir de las propiedades físicas de los suelos en la capacidad de trabajo de una empresa en la entrega de proyectos finales ante los clientes?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

La presente solución tecnológica permitirá a las empresas dedicadas al diseño de infraestructura integral de proyectos de telecomunicaciones poder aumentar su capacidad de trabajos que se puedan realizar en un determinado tiempo, así como tener la capacidad de estimar o predecir resultados que darían los laboratorios de mecánica de suelos, para que el área de ingeniería pueda realizar sus diseños estructurales con antelación sin tener que esperar los resultados del laboratorio; Asimismo poder dar la opción a la empresa de implementar su propio laboratorio de suelos basado en la aplicación de la presente RNA complementando los resultados futuros del laboratorio de suelos, optimizando las horas hombre y agilizando la entrega de proyectos

solicitados por el cliente, adicionalmente permitiendo a la empresa ser más competitiva en el sector de telecomunicaciones.

3.4 Metodología

Para la comprensión detallada de cómo se planteó la solución tecnológica. Se consideró desarrollarlo en 5 etapas fundamentales:

1. Creación de la base de datos principal con los resultados de los estudios de mecánica de suelos de los Laboratorios Geotécnicos de los proyectos regionales de telecomunicaciones.
2. Creación de la Base de Datos para entrenar a la RNA, escogiendo estratégicamente las componentes fundamentales de acuerdo a las bases teóricas presentadas en el presente trabajo.
3. Diseño de la RNA en el software MATLAB, mediante la arquitectura de la capa de Kohonen.
4. Creación del archivo ejecutable de la RNA en MATLAB.

3.4.1 Bases teóricas

Fundamentos utilizados

Los fundamentos que se desarrollan a continuación son los referentes al campo tecnológico que se utilizó como herramienta para desarrollar el presente trabajo: Redes Neuronales artificiales (RNA) y los fundamentos referentes al criterio de elección de los componentes de cada patrón utilizado para entrenar a la RNA, que viene a ser las propiedades físicas de los suelos, que tienen a su vez una cierta relación, comprobadas en investigaciones científicas, revistas científicas, libros de estudios y experimentos, con el ángulo de fricción y la cohesión.

Propiedades físicas de los suelos

Límites de Atterberg

Según (Das, 2012):

“Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de humedad. El contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo cambia de un estado líquido a uno plástico se define como límite líquido (LL). De manera similar, el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido y de un estado semisólido a uno sólido se definen como límite plástico (LP) y límite de contracción (LC), respectivamente. A estos límites se les refiere como límites de Atterberg”

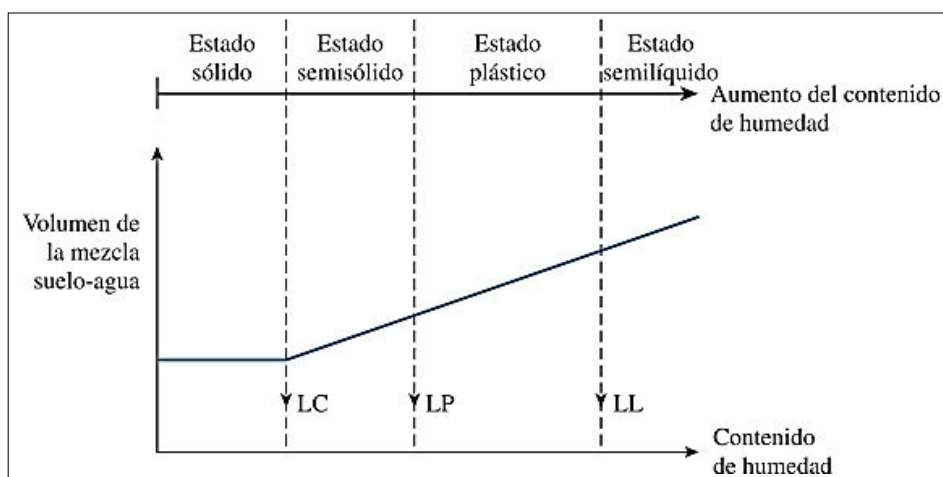


Figure 2: Definición de los límites de Atterberg. Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones,(Das, 2012)

Distribución Granulométrica(Granulometría)

Según (Das, 2012):

“En cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían en gran medida. Para clasificar apropiadamente un suelo, se debe conocer su distribución granulométrica. La distribución granulométrica de un suelo de grano grueso se determina por lo general mediante un análisis granulométrico

con mallas. Para un suelo de grano fino, la distribución granulométrica se puede obtener por medio del análisis del hidrómetro”

Tabla 1: Tamaño de mallas estándar de EE. UU. Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones,(Das, 2012)

Malla núm.	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Parámetros de resistencia al corte.

Según (Das, 2012):

“La resistencia al corte de un suelo, definida en términos del esfuerzo efectivo, es:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi'$$

donde

σ' : esfuerzo normal efectivo en el plano de corte

c' : resistencia no drenada, o cohesión aparente

ϕ' : ángulo de fricción por esfuerzo efectivo

A esta ecuación se le refiere como criterio de falla de Mohr-Coulomb. El valor de c' para arenas y arcillas normalmente consolidadas es igual a cero. Para arcillas sobreconsolidadas, $c' > 0$.

Para la mayoría del trabajo cotidiano, los parámetros de la resistencia al corte de un suelo (es decir, c' y ϕ') se determinan mediante dos pruebas estándar de laboratorio: la prueba de corte directo y la prueba triaxial”

RELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS Y LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE.

A continuación, se presentan algunas afirmaciones corroboradas por algunos autores y que dan mayor sustento al presente trabajo de investigación, Todas estas afirmaciones se tomarán en cuenta y servirán para poder escoger con mayor criterio las variables de entrada (variables independientes) para el diseño de la Red Neuronal Artificial; Estas afirmaciones tratan en general acerca de la relación existente entre las propiedades físicas de los suelos y los parámetros de resistencia al corte (ángulo de fricción y cohesión).

En relación a los límites de plasticidad de suelos y a los parámetros de resistencia al corte.

Según (Medina-lópez & Salazar-gutiérrez, 2009):

“La correlación entre la resistencia al corte directo y las propiedades físicas químicas en suelos con plasticidad, se encontró correlación lineal simple inversa

entre el ángulo de fricción y el índice de plasticidad ($r=-0.43$). Esta relación es debido

a que el ángulo de fricción aumenta con incrementos en el tamaño de partículas,

por el contrario, un índice de plasticidad alto implica la presencia de partículas finas,

con un tamaño menor y por ende, un ángulo de fricción bajo”.

Se desprende de la conclusión anterior la importancia que tiene el parámetro Índice de plasticidad para la estimación del ángulo de fricción, presentando un comportamiento inversamente proporcional entre ambos parámetros.

Según (Das, 2012):

“En la figura se muestra la variación del ángulo de fricción por esfuerzo efectivo, σ , para varias arcillas normalmente consolidadas (Bjerrum y Simons,

1960; Kenney, 1959). En la figura se puede observar que, en general, el ángulo de fricción ϕ disminuye al aumentar el índice de plasticidad. El valor de ϕ disminuye por lo general de aproximadamente 37° a 38° con un índice de plasticidad de aproximadamente 10 a 25° o menos con un índice de plasticidad de aproximadamente 100. El ángulo de fricción consolidado no drenado (f) de arcillas saturadas normalmente consolidadas varía por lo general de 5 a 20° .

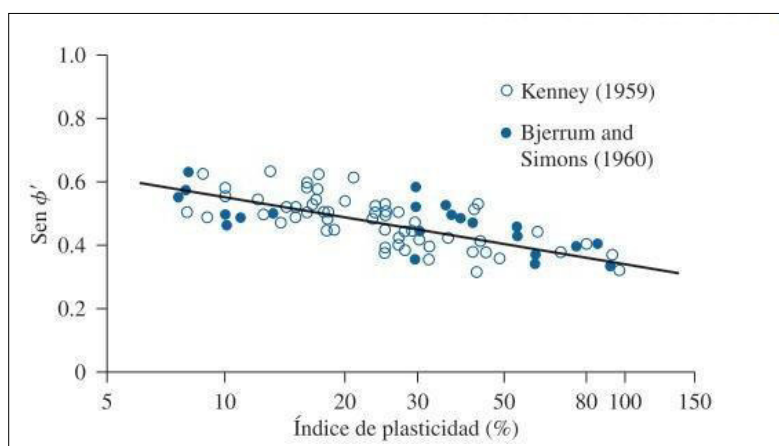


Figure 3: Variación del $\text{sen } \phi'$ con el índice de plasticidad (IP) para varias arcillas normalmente consolidadas. Fuente: Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones, (Das, 2012)

De la afirmación anterior y de la figura presentada se evidencia nuevamente la relación inversamente proporcional del Índice de plasticidad vs. el ángulo de fricción. Ya que el índice de plasticidad se determina mediante los límites de atterberg (específicamente el límite líquido (LL) y límite plástico (LP)) que provienen de ensayos simples del laboratorio, serán tomados todos estos parámetros como las variables independientes que serán a la vez las variables de entrada a la Red Neuronal Artificial a diseñar.

En relación a la granulometría del suelo y a los parámetros de resistencia al corte.

Según (Celis et al., 2014):

“El ángulo de fricción interno (ϕ) depende esencialmente de factores como la compacidad del material, de la forma de los granos de su grosor y de la granulometría.

En la siguiente tabla, expuesta en le 2do Congreso Internacional de Rotterdam en 1948 por los autores (Costet 1975), donde se precisa el orden de magnitud de la influencia de estos diferentes factores.”

Tabla 2: Valores del ángulo de fricción interno de acuerdo a las propiedades físicas. Fuente: Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción Interna (ϕ) Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela

$\phi = 36^\circ + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$			
Compacidad.....	ϕ_1	suelta	- 6 °
		media	0
		compacta	+ 6 °
Forma y rugosidad de los granos.	ϕ_2	aguda	+ 1 °
		media	0
		redondeada	- 3 °
		muy redondeada	- 5 °
Grosor de los Granos...	ϕ_3	arena	0
		grava fina	+ 1 °
		grava gruesa	+ 2 °
Granulometría.....	ϕ_4	uniforme	- 3 °
		media	0
		abierta	+ 3 °

La información anterior proviene de la Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción Interna (ϕ) y su relación con los parámetros densidad relativa (D_r) y relación de vacíos (e) en suelos granulares, Ciencia e Ingeniería, vol. 35, núm. 3, agosto-noviembre, 2014, pp. 135-146 Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

De la tabla se puede apreciar que existen varios factores con gran influencia para poder estimar el ángulo de fricción, sin embargo, para propósitos del

presente trabajo se limitara a considerar como las variables de entrada al grosor de los granos y la granulometría, por el hecho de ser obtenidos con mayor simplicidad y en menor tiempo.

En los estudios de mecánica de suelos se suele presentar estos datos como %Gravas, %Arenas y %Finos. Los cuáles serán tomados como las variables independientes, que serán a la vez las variables de entrada a la Red Neuronal Artificial a diseñar.

En 1970, Brinch Hansen (consulte Hansbo, 1975 y Thinh, 2001) proporcionó la correlación siguiente para ϕ' de suelos granulares”

$$\phi' \text{ (grados)} = 26^\circ + 10D_r + 0.4C_u + 1.6 \log (D_{50})$$

donde

D_r = densidad relativa (fracción)

C_u = coeficiente de uniformidad

D_{50} = tamaño medio del grano, en mm (es decir, el diámetro a través del cual pasa 50% del suelo)

Aquí de igual manera se aprecia la relación del ángulo de fricción con el tamaño de los granos y el coeficiente de uniformidad presentado en la granulometría. Parámetros importantes como ya se mencionó anteriormente que serán tomados en cuenta y que provendrán de los estudios de mecánica de suelos, específicamente el %Arenas y %Finos.

En relación al contenido de humedad y a los parámetros de resistencia al corte.

Según (Celis et al., 2014):

“Teniendo en cuenta la relación que existe entre el parámetro de resistencia y el contenido de humedad, es otro punto importante que es necesario abordar en esta investigación, considerando que el agua sirve de lubricante entre partículas y por ende el desplazamiento entre las mismas.

En la investigación realizada por: (Hossne y col.,2003), los autores explican que las resistencias de los suelos agrícolas generalmente han sido evaluadas en función de la compactación al medir la densidad sin hacer referencia de la humedad. Este estudio estuvo dirigido en evaluar el cizallamiento a los suelos

con diferentes niveles de humedad edáfica (ω) para cada tensión normal (σ) las interrelaciones con la cohesión aparente (C) y el ángulo de fricción interna de un suelo agrícola. Estos autores usaron como medio experimental para sus muestras la prueba del triaxial encontrando la siguiente expresión:

$$\tau = -0,782\omega + 1,180C + 6,745\phi - 1,152$$

Observando que la resistencia (τ) aumenta al elevar la tensión normal, pero decrece con la humedad y tiende a cero cuando el estado del suelo se acerca al límite líquido.”

La relación encontrada por los referidos investigadores es muy importante porque, aunque se inclina a la Ingeniería Agrícola esta fue obtenida bajo los principios fundamentales de la Mecánica de Suelos, por tanto, dan un aporte importante a estudios relacionados con la capacidad portante y resistente del suelo.

Según (Celis et al., 2014):

“Por otro lado, (Durán 2002), analizo la deformación y la rotura de un suelo de textura media con 45% de arena, 40% de limo y 15% de arcilla. (Suelos francos aptos para cultivos), y con ayuda de la prueba de corte directo, ensayó muestras a diferentes contenidos de humedad. En su investigación determino la cohesión y el ángulo de fricción interna suelo-suelo, en función de su humedad. Llegando a la conclusión que la humedad tuvo un efecto directo sobre la cohesión. El ángulo de fricción interna suelo-suelo también se ve afectado con el aumento del contenido de humedad observándose el aumento gradual con la humedad hasta el 12% y luego tiende a disminuir.”

De estos enunciados con respecto al contenido de humedad se desprende lo importante que será considerar el Contenido de Humedad (W) como nuestra siguiente variable independiente ya que intervendrá teniendo un efecto directo en la cohesión como también en el ángulo de fricción interna.

En relación a la Densidad relativa y a los parámetros de resistencia al corte.

Las expresiones de Meyerhof se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3: Expresiones de Meyerhof para estimar el ángulo de fricción en función de la densidad relativa.

5% arena fina y limo	< 5% arena fina y limo
$\phi = 25 + 0.15Dr\%$	$\phi = 30 + 0.15Dr\%$

Los autores (Giuliani 1982), mediante métodos estadísticos, propusieron:

$$Tg(\phi) = 0,575 + 0.361Dr^{0.866}$$

Por otro lado (Burmister D, 1948), propuso correlaciones entre Dr . y ϕ en función de la granulometría del suelo.

Las expresiones de este autor se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4: Expresiones de Burmister para correlacionar el ángulo de fricción con la densidad relativa.

Gravilla uniforme	Arena gruesa	Arena media	Arena fina
$\phi = 38 + 0.08Dr\%$	$\phi = 34.5 + 0.10Dr\%$	$\phi = 31.5 + 0.115Dr\%$	$\phi = 28 + 0.14Dr\%$

Según (Das, 2012):

“Para arenas, el ángulo de fricción suele variar de 26° a 45°, aumentando con la densidad relativa de compactación”

Tabla 5: Estimaciones de Braja Das brindando la relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción de suelos no cohesivos

Estado del empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción, ϕ' (grados)
Muy suelto	< 20	< 30
Suelto	20-40	30-35
Compacto	40-60	35-40
Denso	60-80	40-45
Muy denso	> 80	> 45

Con respecto a estas expresiones referentes a la densidad relativa, se evidencia la importancia de este parámetro tanto para suelos granulares como para suelos cohesivos indicando el grado de compacidad o consistencia del suelo y dando algunas relaciones empíricas para obtener el ángulo de fricción; Asimismo estas expresiones mencionan nuevamente lo importante de la compacidad que se apreció en la tabla presentada por (Celis et al., 2014) en la relación de la granulometría y el ángulo de fricción. Es por ello que se ve muy conveniente considerar este parámetro debido al impacto que tiene sobre el ángulo de fricción interna.

3.4.2 Marco conceptual

Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Según (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001):

“Las Redes neuronales artificiales imitan la estructura hardware del sistema nervioso con el objetivo de construir sistemas de procesamiento de información paralelos, distribuidos y adaptativos, que puedan presentar un grado de comportamiento inteligente.

Se debe notar que por ejemplo un computador convencional es en esencia una máquina de Von Neumann construida entorno a una CPU que ejecuta de modo secuencial un programa almacenado en memoria. Por el contrario, el cerebro humano está conformado por miles de millones de neuronas(procesadores) que a pesar de ser “procesadores” más lentos y

fiables pueden resolver problemas mucho más complejos que a un computador convencional le cuesta mucho realizar, ejemplo (Reconocimiento de voz, Reconocimiento de imágenes, Respuesta ante estímulos del entorno, etc.)

Por lo tanto, se puede decir que una de las ideas que se tiene en las redes neuronales es la de copiar la estructura de las redes neuronales biológicas con el fin alcanzar un comportamiento similar al cerebro y resolver problemas más complejos.”

Clasificación de los modelos de redes neuronales

Según (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001):

“Existe una multitud de modelos neuronales y sus variantes que podemos clasificar de acuerdo a dos conceptos que más caracterizan un modelo neuronal que viene a ser el tipo de aprendizaje y la arquitectura de la red.

Se aprecia en el siguiente flujo jerárquico una clasificación primeramente en cuanto el tipo de aprendizaje (híbridos, Supervisados, No Supervisados y Reforzados); Posteriormente desde estos tipos de aprendizaje se realiza la clasificación de acuerdo a la topología de la red distinguiendo entre (Realimentados y unidireccionales).”

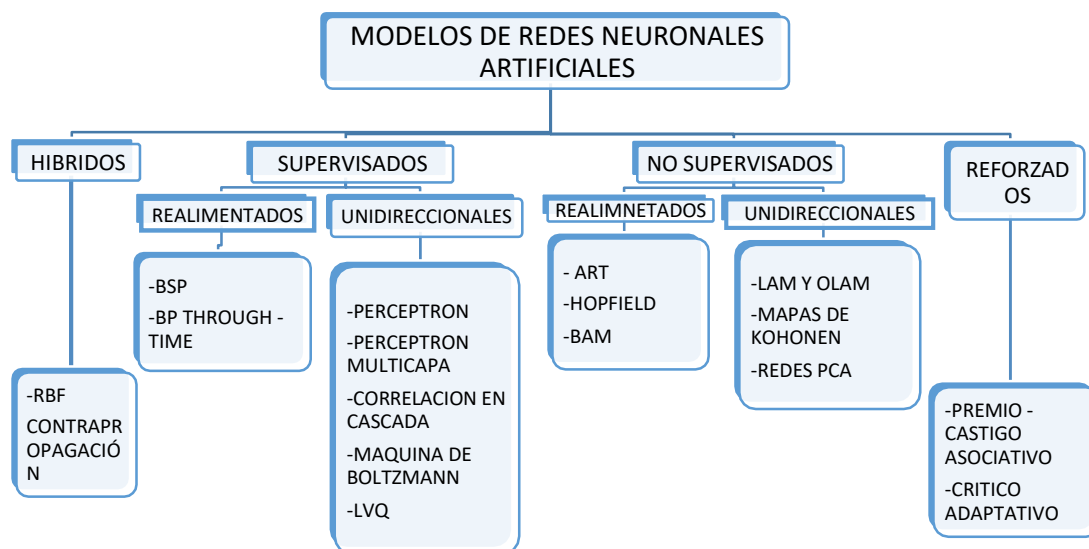


Figure 4: Clasificación de las RNA de acuerdo al algoritmo de aprendizaje y a la topología de la red. Fuente: Redes Neuronales y Sistemas Difusos (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001)

En el capítulo VII: Glosario, se menciona algunos conceptos básicos para diferenciar cada tipo de aprendizaje (Redes supervisadas, no supervisadas, reforzadas, híbridas) y se indica el tipo de aprendizaje que usaremos para el presente trabajo tecnológico.

3.5 Procedimiento

Objetivo general

- Diseñar una Red neuronal artificial para la estimación de parámetros de resistencia al corte de suelos a partir de sus propiedades físicas.

Objetivos específicos

- Diseñar una RNA mediante el método de capa de kohonen utilizando el software MATLAB mediante una base de datos de estudios de mecánica de suelos provenientes de proyectos regionales de telecomunicaciones.
- Evaluar la capacidad de generalización de la Red Neuronal Artificial entre los resultados de la Red Neuronal Artificial y los resultados provenientes de los laboratorios de mecánica de suelos.
- Creación de un ejecutable de la RNA en el software Matlab.
- Implementar la RNA para la estimación de los parámetros de resistencia al corte de suelos (Angulo de fricción y cohesión) para el diseño de cimentación de torres de nuevos nodos de telecomunicaciones.

Creación de la base de datos principal

Las áreas de estudio que se utilizaron en este trabajo y que fueron intervenidas por los laboratorios de mecánica de suelos, destinados para proyectos regionales de telecomunicaciones, se ubicaron principalmente en los departamentos de Lima, Moquegua, Tacna y Puno en los años 2019, 2020 y 2021; De esta forma se obtuvieron los estudios de mecánica de suelos de todos los Nodos de Telecomunicaciones, que servirán para extraer las variables de entrada – salida y elaborar posteriormente la Base de Datos propia de la RNA para su diseño.

En el capítulo de anexos, anexo 1, se presenta la ubicación algunos de los nodos del proyecto regional de telecomunicaciones en Puno y Tacna. que se exploraron a mediados del año 2021 mediante calicatas y que también se incluyeron para crear la base de datos de la RNA.

Observación directa e indirecta.

Se supervisaron todas las calicatas registrándose el tipo de material de suelo encontrado a 3m de profundidad y se enviaron las muestras a ensayar al laboratorio de mecánica de suelos.

Análisis de documentación.

Se realizó la recolección de toda la información proveniente de los estudios de mecánica de suelos destinados para proyectos regionales como también proyectos particulares por encargo de la empresa OROCOM y CICSA desde el año 2015, para el diseño de cimentaciones de torres de telecomunicaciones. Dicha información fue revisada de forma analítica e interpretativa por el área de ingeniería de las empresas Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L. y JGRB Ingenieros S.R.L.

En el capítulo anexos, anexo 3, del presente trabajo, se presenta la base de datos creada proveniente de Proyectos regionales de instalación de banda ancha de las regiones de Puno, Moquegua y Tacna además de proyectos particulares realizados principalmente para la empresa "OROCOM" y "CICSA".

Creación de la base de datos propia de la RNA

Primeramente, debemos entrenar a la RNA, para ello, se debe tener los patrones de entrada a la red, los cuales provienen de la base de datos de los Estudios de mecánica de suelos de distintos proyectos de telecomunicaciones (Proyectos regionales de Puno, Moquegua, Tacna para la empresa OROCOM y Proyectos particulares para la empresa CICSA). Para elegir correctamente los elementos de cada patrón de entrada a la red, se utilizó los criterios justificados y ya comentados en las bases teóricas del presente trabajo, estos son (el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, %arenas, %finos y contenido de humedad)

Las bases de datos provenientes de los proyectos de telecomunicaciones se han procesado para crear "La Base de Datos de la RNA", tomando algunas consideraciones en cuanto a los datos referentes a los límites líquido y plástico para efectos de diseño de la RNA. Estas consideraciones son las siguientes: Cuando el material no sea plástico, que comúnmente los laboratorios lo indican como "NP", se considerará lo siguiente:

- Para el caso de un límite líquido(LL) considerado como "NP", se dará un valor de 100% para el diseño de la RNA.
- Para el caso de límite plástico(LP) considerado como "NP", se dará un valor de 0% para el diseño de la RNA.

En el capítulo de anexos, se presenta la base de datos total procesada, teniendo presente las consideraciones de diseño anteriores, que se utilizará para entrenar la RNA:

De la base de datos procesada cada registro o fila corresponde a los datos de una determinada muestra de suelo de un nodo de telecomunicaciones que ha sido procesada aplicando los criterios de elección ya mencionados anteriormente, para poder entrenar posteriormente a la RNA; A cada una de estas filas de datos se denominará como patrón de entrada de la RNA.

Diseño de la RNA en el software Matlab, mediante la arquitectura de la capa de kohonen.

Como se menciona en las bases teóricas, en un aprendizaje no supervisado no se presenta la salida deseada a la red, en lugar de ello se deja que las neuronas se auto-organicen y establezcan ciertas relaciones entre los patrones de entrada al mismo tiempo que se van actualizando los pesos sinápticos. Es así que se realizara el diseño en base a la arquitectura de la capa de Kohonen.

Como resumen del procedimiento del diseño de la RNA se usará la totalidad de los patrones de entrada de la parte anterior para entrenar a la RNA; Asimismo en la etapa de Pruebas se procederá a determinar el error de aprendizaje de la RNA. y posteriormente determinar la capacidad de generalización de la red tomando una base de datos adicional creada a partir de últimos proyectos de la empresa OROCOM en el departamento de Puno.

Fase de división y entrenamiento por grupos

Para abordar el entrenamiento de la RNA con la base de datos elaborada anteriormente. Se precisa inicialmente dividir en grupos la base de datos considerando principalmente los ángulos de fricción interna. Posteriormente se entrena cada grupo dividido obteniéndose la matriz de neuronas generadas de cada una de ellos. Y luego unimos todas las neuronas en una única matriz de neuronas.

Archivo: EJEC_TRAIN.m

En este script se divide en grupos la base de datos considerando los ángulos

de fricción interna y se procede a entrenar cada grupo creado mediante la función `trainingGx()`, función también creada y detallada posteriormente.

```
clc
clear all
global G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G10 G11

%Se procede a dividir la base de datos creando grupos desde G1 hasta
G11
D = xlsread('BASE DE DATOS PARA LA RED NEURONAL.xlsx', 'A2:H270');
grupos(D); % Esta funcion divide la base de datos principal en
grupos desde "G1" hasta "G11".

%A continuacion se entrena cada grupo independientemente.
w1=trainingGx(G1);
w2=trainingGx(G2);
w3=trainingGx(G3);
w4=trainingGx(G4);
w5=trainingGx(G5);
w6=trainingGx(G6);
w7=trainingGx(G7);
w8=trainingGx(G8);
w9=trainingGx(G9);
w10=trainingGx(G10);
w11=trainingGx(G11);
```

Archivo: `trainingGx.m`

Definimos la función `trainingGx`, la cual detalla la forma de cómo se va a crear las neuronas de acuerdo al proceso de aprendizaje, mediante la capa de Kohonen, para cada grupo creado.

```
function [w]=trainingGx(G)
[fx,cx]=size(G);
GXP=G(1:fx,1:cx-2);

%normalizando los patrones de la matriz x y los pesos sinápticos de
las neuronas de la matriz w
for i=1:fx,
```

```

    GXP(i,:) = GXP(i,:) / norm(GXP(i,:));
end

%se crea la primera neurona tomándose el primer patrón de entrada.
a=1;
w(:,a) = GXP(1,:)';

%paso 3
r=0.05;%definicion del radio r
Uo=1-r^2/2;%calculo de la cte Uo
alpha=0.3;%constante de entrenamiento.
for i=2:fx,
    [U,p] = max(GXP(i,:) * w);
    if U >= Uo,
        w(:,p) = w(:,p) + alpha * (GXP(i,:) - w(:,p));
    else
        a=a+1;
        w(:,a) = GXP(i,:)'; %se crea otra neurona
    end
end
end

```

ETAPA DE EVALUACIÓN DE LA RNA

Se procede a identificar el error de aprendizaje de la RNA así como también la capacidad de generalización de la RNA, de esta manera podemos evaluar a nuestra RNA conociendo su grado de exactitud prediciendo los valores futuros de los parámetros de resistencia al corte de suelos.

Error de aprendizaje de la RNA

El error de aprendizaje se determinará usando la misma base de datos que fue utilizada para entrenar a la RNA (ver anexo 4); Y a la vez calculando el coeficiente de correlación de Pearson, el cual deberá ser lo más cercano a "1", indicando la existencia de correlación.

Escribimos el siguiente código para realizar la prueba número 1 y determinar el error de aprendizaje de la RNA:

Ingresando los patrones de entrada (usando la misma base de datos que se utilizó para entrenar a la RNA)

```
x= xlsread('BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA1.xlsx','A2:F270');
%Normalizando los patrones de prueba de entrada
xn=zeros(size(x));
[fx cx]=size(x);
for i=1:fx
    xn(i,:)=x(i,:)/norm(x(i,:));
end
%Se enlista el número de neuronas(cw) de cada grupo
cw1=size(w1,2);
cw2=size(w2,2);
cw3=size(w3,2);
cw4=size(w4,2);
cw5=size(w5,2);
cw6=size(w6,2);
cw7=size(w7,2);
cw8=size(w8,2);
cw9=size(w9,2);
cw10=size(w10,2);
cw11=size(w11,2);

for j=1:fx
    [v,p]=max(xn(j,:)*w);
    if p<=cw1,
        Gwin=G1;
    elseif p<=cw1+cw2,
        Gwin=G2;
    elseif p<=cw1+cw2+cw3;
        Gwin=G3;
    elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4,
        Gwin=G4;
    elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5;
        Gwin=G5;
    elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6,
        Gwin=G6;
    elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7;
        Gwin=G7;
    elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8;
```

```

        Gwin=G8;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8+cw9;
        Gwin=G9;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8+cw9+cw10;
        Gwin=G10;
else
        Gwin=G11;
end

ANG_FRIC(j,1)=sum(Gwin(:,7))/length(Gwin(:,7));
Cohesion(j,1)=sum(Gwin(:,8))/length(Gwin(:,8));
end

```

Para el caso del ángulo de fricción:

```

%Cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson.
x=xlsread('BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA1.xlsx','G2:G270');
y=ANG_FRIC'; % y: ángulos de fricción estimados por la RNA
scatter(x,y,'*','b')
title('Comparación del ángulo de fricción obtenido en laboratorio de
suelos vs las predicciones de la RNA')
xlabel('Ángulo de fricción del laboratorio de suelos')
ylabel('Ángulo de fricción de la Red Neuronal Artificial (RNA)')
grid

b=mean(x); %mean = promedio del vector x
c=mean(y);
b1=x-b;
c1=y-c;
bcproduct=b1.*c1;
bsquare=b1.^2;
csquare=c1.^2;
sumproduct=sum(bcproduct);
sumbsquare=sum(bsquare);
sumcsquare=sum(csquare);
product=sumbsquare*sumcsquare;
denom=sqrt(product);
r=sumproduct/denom %"r": coeficiente de correlación de Pearson

```

En el código se aprecia el archivo 'BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA1.xlsx', el cual es el mismo archivo que se utilizó para entrenar a la

RNA, con 269 patrones de entrada, en este caso se usa para determinar el error de aprendizaje.

Posteriormente se define una figura para poder apreciar gráficamente el resultado del laboratorio vs el resultado de la RNA. Y por último se utiliza la fórmula para determinar el coeficiente de correlación de Pearson. La gráfica generada es la siguiente:

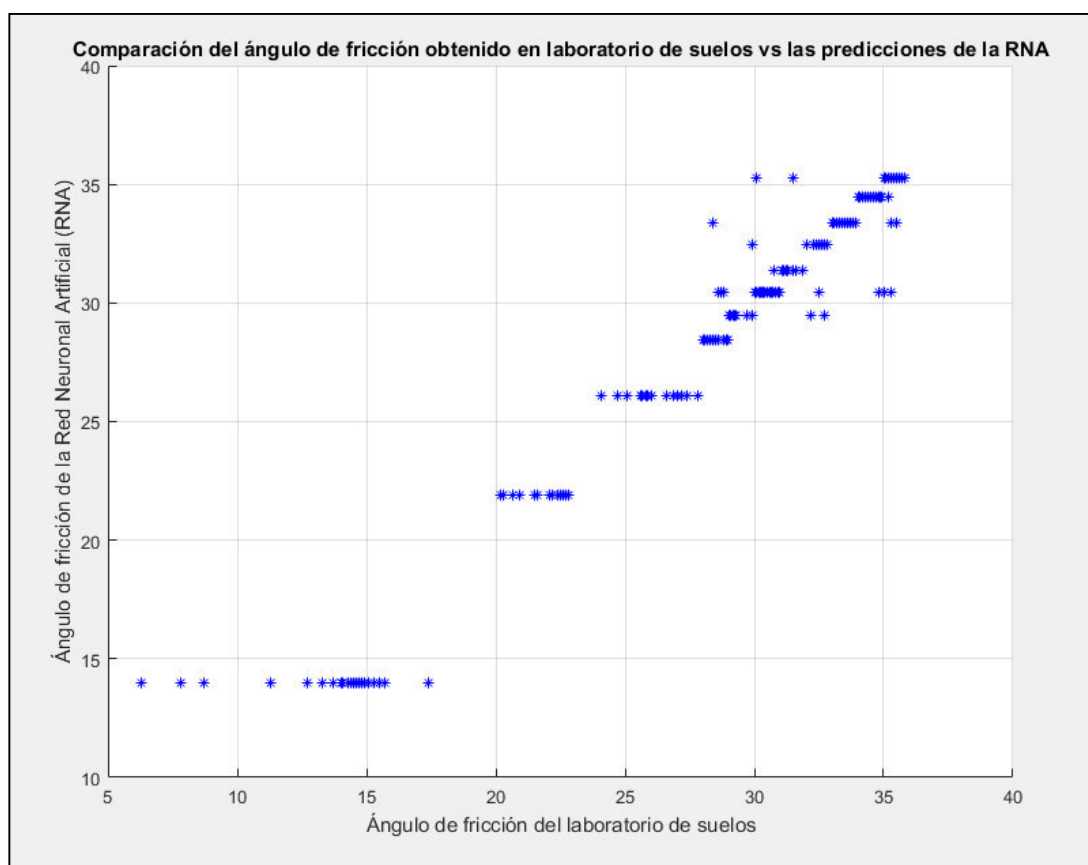


Figure 5: Ángulo de fricción, obtenido por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se puede observar el resultado obtenido de la RNA ya diseñada, al mismo conjunto de patrones de entrada que fueron utilizados para entrenar a la red; Asimismo se obtuvo un **coeficiente de correlación de Pearson de 0.98**, el cual indica un alto grado de correlación entre los resultados obtenidos del laboratorio de suelos y de la RNA, por consiguiente, se puede decir que la red neuronal ha sido entrenada correctamente con un

error de aprendizaje del 3.2488% y una desviación estándar del 9.9380% con respecto a los resultados del laboratorio de suelos. Ahora evaluemos para el caso de la Cohesión.

Para el caso de la cohesión:

```
%Cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson.
x=xlsread('BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA1.xlsx','H2:H270');
y=Cohesion';      % y: Valores de cohesión estimados por la RNA

x=x+1; %Ajuste (+1) para evitar la división por cero, ya que la
cohesión suele ser muy pequeña
y=y+1; %Ajuste (+1) para evitar la división por cero, ya que la
cohesión suele ser muy pequeña
scatter(x,y,'*','b')
title('Comparación de la Cohesión obtenida en laboratorio de suelos
vs las Cohesión obtenida de la RNA')
xlabel('Cohesión obtenida en el laboratorio de suelos')
ylabel('Cohesión obtenida de la Red Neuronal Artificial (RNA)')
grid
b=mean(x); %mean = promedio del vector x
c=mean(y);
b1=x-b;
c1=y-c;
bcproduct=b1.*c1;
bsquare=b1.^2;
csquare=c1.^2;
sumproduct=sum(bcproduct);
sumbsquare=sum(bsquare);
sumcsquare=sum(csquare);
product=sumbsquare*sumcsquare;
denom=sqrt(product);
r=sumproduct/denom
%Promedio del error porcentual
d=(abs(x-y)./x)*100;
PromedioError=mean(d)
%Desviacion estandar del error porcentual
DesvEstand=std(d)
```

En el código se aprecia el archivo 'BASE DE DATOS ETAPA DE

'PRUEBA1.xlsx', en el cual se está seleccionando el rango 'H2:H270', el cual representa los valores de la cohesión obtenidos del laboratorio de suelos. Posteriormente se define una figura para poder apreciar gráficamente el resultado del laboratorio vs el resultado de la RNA. Y por último se utiliza las fórmulas para determinar el coeficiente de correlación de Pearson, el promedio de error porcentual, y la desviación estándar. La gráfica generada es la siguiente:

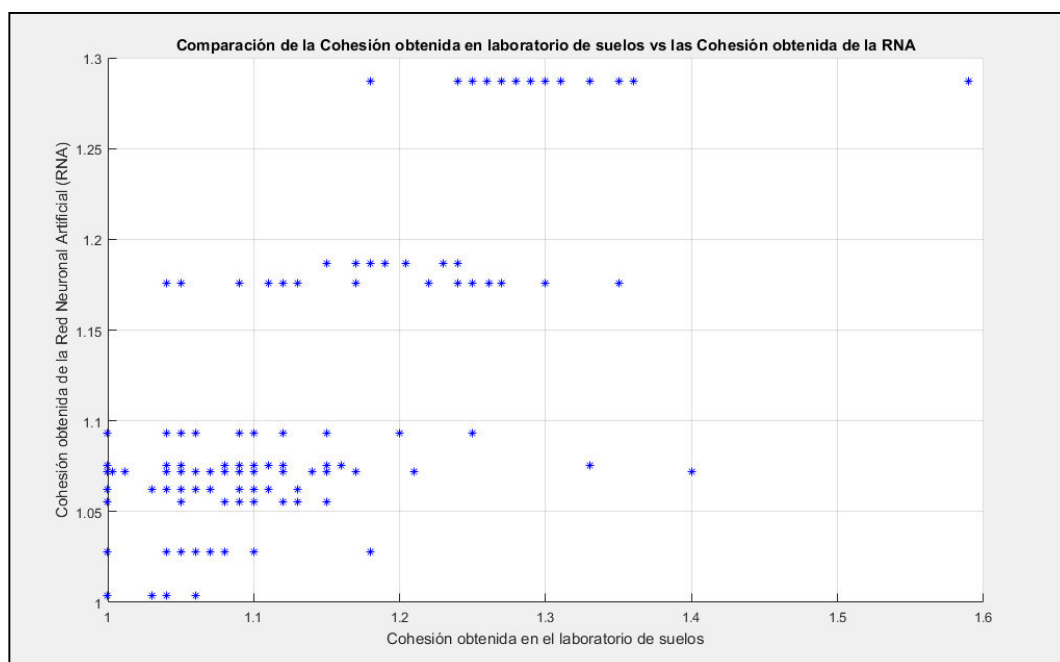


Figure 6: Cohesión, obtenido por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa el resultado obtenido de la RNA ya diseñada, al mismo conjunto de patrones de entrada que fueron utilizados para entrenar a la red; Asimismo se obtuvo un **coeficiente de correlación de Pearson de 0.8335**, el cual indica un alto grado de correlación entre los resultados obtenidos del laboratorio de suelos y de la RNA, por consiguiente, se puede decir que la red neuronal ha sido entrenada correctamente con un error de aprendizaje del 3.4674% y una desviación estándar del 3.3498%. Ahora evaluemos la capacidad de generalización de la RNA.

Capacidad de generalización de la RNA

Para determinar la capacidad de generalización de la RNA, se ingresó nuevos patrones a la red obteniendo los resultados de la RNA y comparándolo con los resultados del laboratorio de suelos de los nuevos patrones. En este caso se usó la información proveniente de nuevos nodos de telecomunicaciones que se han visitado.

En el capítulo de anexos se presenta la tabla con información de nuevos nodos de telecomunicaciones. (anexo 5)

Ingresando los patrones de entrada (usando una nueva base de datos)

Escribimos el siguiente código para realizar la prueba número 2 y determinar la capacidad de generalización de la RNA:

```
x= xlsread('BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA2.xlsx','A2:F60');
%Normalizando los patrones de prueba de entrada
xn=zeros(size(x));
[fx cx]=size(x);
for i=1:fx
    xn(i,:)=x(i,:)/norm(x(i,:));
end
%Se enlista el numero de neuronas de cada grupo
cw1=size(w1,2);
cw2=size(w2,2);
cw3=size(w3,2);
cw4=size(w4,2);
cw5=size(w5,2);
cw6=size(w6,2);
cw7=size(w7,2);
cw8=size(w8,2);
cw9=size(w9,2);
cw10=size(w10,2);
cw11=size(w11,2);

for j=1:fx
    [v,p]=max(xn(j,:)*w);

    if p<=cw1,
```

```

        Gwin=G1;
elseif p<=cw1+cw2,
        Gwin=G2;
elseif p<=cw1+cw2+cw3;
        Gwin=G3;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4,
        Gwin=G4;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5;
        Gwin=G5;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6,
        Gwin=G6;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7;
        Gwin=G7;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8;
        Gwin=G8;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8+cw9;
        Gwin=G9;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8+cw9+cw10;
        Gwin=G10;
else
        Gwin=G11;
end

ANG_FRIC(j,1)=sum(Gwin(:,7))/length(Gwin(:,7));
Cohesion(j,1)=sum(Gwin(:,8))/length(Gwin(:,8));
end

```

En el código se aprecia el archivo 'BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA2.xlsx', el cual es una nueva base de datos, proveniente de 59 nuevos nodos de telecomunicaciones que se está usando como prueba para determinar la capacidad de generalización de la RNA.

Para el caso del ángulo de fricción:

Determinamos el coeficiente de correlación de Pearson:

```

%Cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson.
x=xlsread('BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA2.xlsx','G2:G60');
y=ANG_FRIC';

scatter(x,y,'*', 'b')

```

```

title('Comparación del ángulo de fricción obtenido en laboratorio de
suelos vs las predicciones de la RNA')
xlabel('Ángulo de fricción del laboratorio de suelos')
ylabel('Ángulo de fricción de la Red Neuronal Artificial (RNA)')
grid
b=mean(x); %mean = promedio del vector x
c=mean(y);
b1=x-b;
c1=y-c;
bcproduct=b1.*c1;
bsquare=b1.^2;
csquare=c1.^2;
sumproduct=sum(bcproduct);
sumbsquare=sum(bsquare);
sumcsquare=sum(csquare);
product=sumbsquare*sumcsquare;
denom=sqrt(product);
r=sumproduct/denom
%Promedio del error porcentual
d=(abs(x-y)./x)*100
PromedioError=mean(d)
%Desviacion estandar del error porcentual
DesvEstand=std(d)

```

En el código se define una figura para poder apreciar gráficamente el resultado del laboratorio vs el resultado de la RNA. Y por último se utiliza la fórmula para determinar el coeficiente de correlación de Pearson. La gráfica generada es la siguiente:

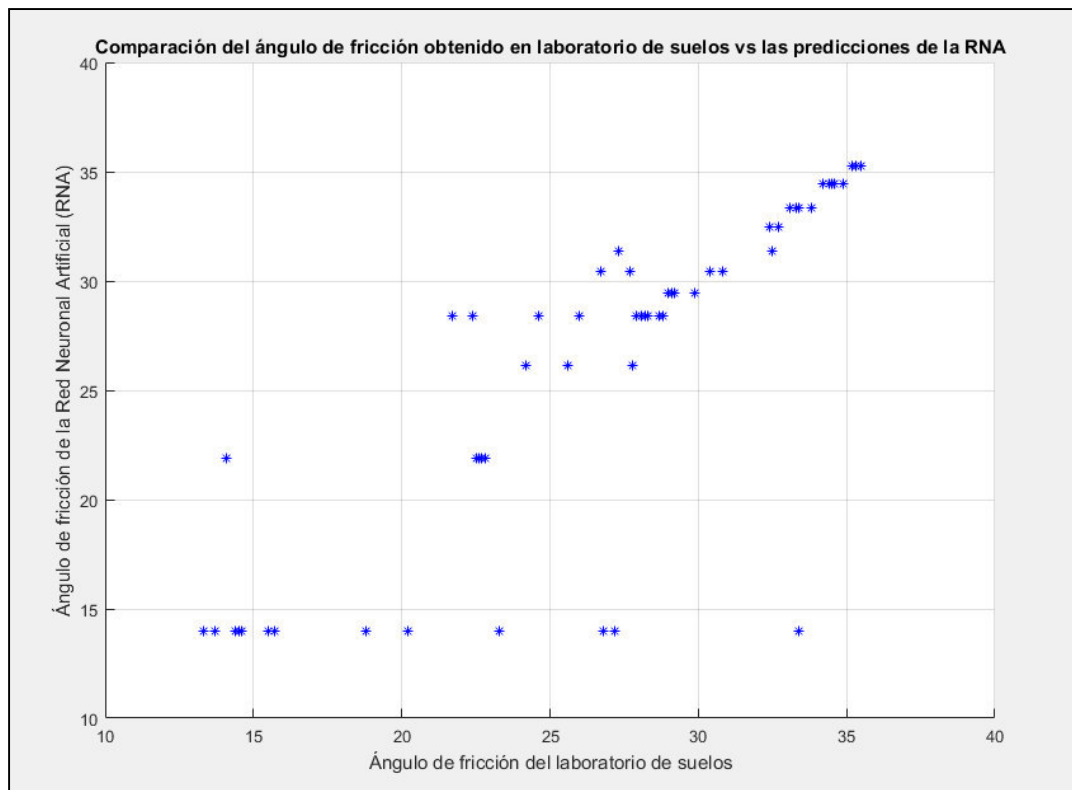


Figure 7: Ángulo de fricción, obtenido por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.

En esta prueba se obtuvo un **coeficiente de correlación de Pearson de 0.82**, el cual indica un alto grado de correlación entre los resultados obtenidos del laboratorio de suelos y de la RNA, por consiguiente, se puede decir que la red neuronal ha sido entrenada correctamente y tiene una capacidad de generalización alta con un error respecto a los resultados obtenidos del laboratorio de suelos del 9.0042% con una desviación estándar de 14.7720%.

Para el caso de la cohesión:

```
%Cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson.
```

```
x=xlswread('BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA2.xlsx','H2:H60');
```

```
y=Cohesion';
```

```
x=x+1; %Ajuste (+1) para evitar la división por cero, ya que la  
cohesión suele ser muy pequeña
```

```
y=y+1; %Ajuste (+1) para evitar la división por cero, ya que la  
cohesión suele ser muy pequeña
```

```

scatter(x,y, '*', 'b')
title('GRÁFICA: Cohesión(laboratorios de suelos) vs Cohesión(RNA)')
xlabel('Cohesión del laboratorio de suelos')
ylabel('Cohesión de la Red Neuronal Artificial (RNA)')
grid
b=mean(x); %mean = promedio del vector x
c=mean(y);
b1=x-b;
c1=y-c;
bcproduct=b1.*c1;
bsquare=b1.^2;
csquare=c1.^2;
sumproduct=sum(bcproduct);
sumbsquare=sum(bsquare);
sumcsquare=sum(csquare);
product=sumbsquare*sumcsquare;
denom=sqrt(product);
r=sumproduct/denom
%Promedio del error porcentual
d=(abs(x-y)./x)*100;
PromedioError=mean(d)
%Desviacion estandar del error porcentual
DesvEstand=std(d)

```

En el código se aprecia el archivo 'BASE DE DATOS ETAPA DE PRUEBA2.xlsx', en el cual se está seleccionando el rango 'H2:H60', el cual representa los valores de la cohesión obtenidos del laboratorio de suelos.

Posteriormente se define una figura para poder apreciar gráficamente el resultado del laboratorio vs el resultado de la RNA. Y por último se utiliza las fórmulas para determinar el coeficiente de correlación de Pearson, el promedio de error porcentual, y la desviación estándar. La gráfica generada es la siguiente:

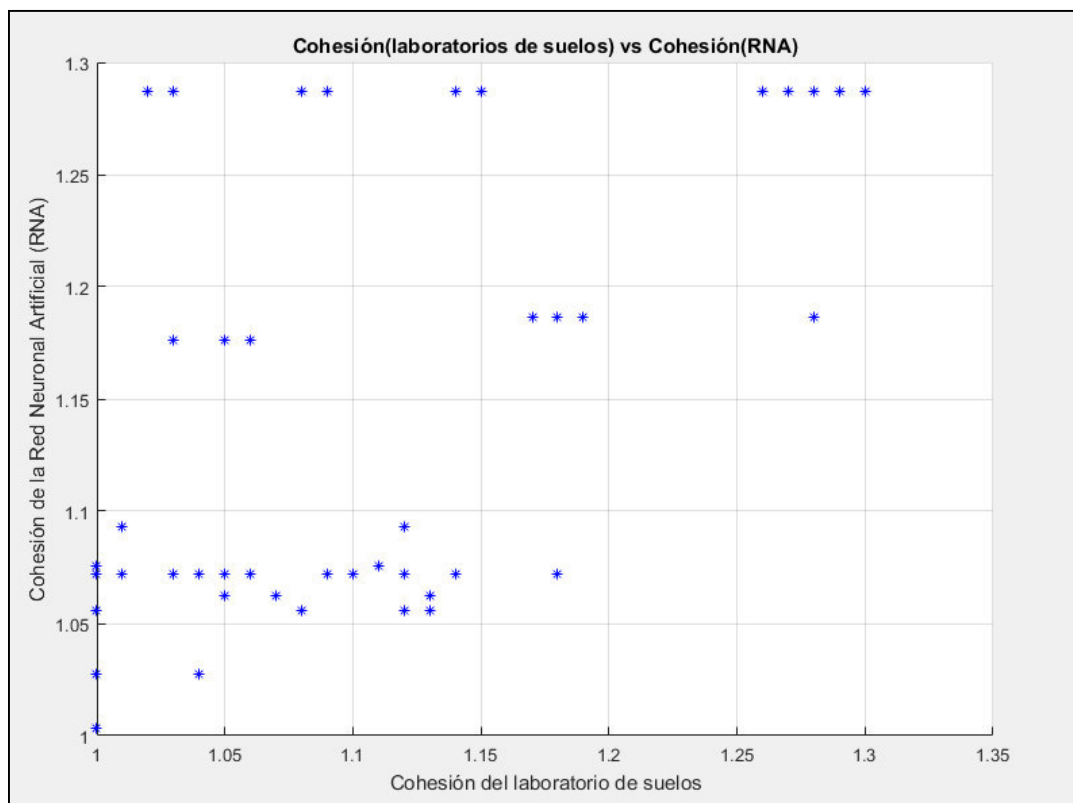


Figure 8: Cohesión, obtenida por el laboratorio de suelos vs obtenido por la RNA. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se puede observar el resultado obtenido de la RNA a un conjunto nuevo de patrones de entrada que se tomaron de nuevos nodos de telecomunicaciones; Asimismo se obtuvo un **coeficiente de correlación de Pearson de 0.6885**, el cual indica una correlación moderada entre los resultados obtenidos del laboratorio de suelos y de la RNA, por consiguiente, se puede decir que la red neuronal ha sido entrenada correctamente con una capacidad de generalización cuyo error con respecto a los resultados del laboratorio de suelos es del 5.1453% y una desviación estándar del 5.8806%.

Luego de obtener estos resultados procedemos a realizar el diseño de la interfaz gráfica y creación del archivo ejecutable de la RNA diseñada. El detalle del proceso de esta tarea se puede observar en el anexo 6.

3.6 Resultado de la actividad

- ✓ Se diseñó una RNA enfocándose primeramente en la etapa de entrenamiento con una base de datos proveniente de estudios de laboratorios de suelos, posteriormente se realizaron las pruebas para obtener el error de aprendizaje y la capacidad de generalización de la RNA; Toda la codificación de la RNA fue realizada en el software Matlab.
- ✓ Se obtuvo un error de aprendizaje de la RNA muy buena con respecto al “ángulo de fricción” con un coeficiente de correlación fuerte de Pearson de 0.98 y un promedio de error del 3.2488%. Se puede decir que la RNA ha sido entrenada correctamente y presenta un promedio de error de aprendizaje del 3.2488%.
- ✓ Se obtuvo un error de aprendizaje de la RNA muy buena con respecto a la “cohesión” con un coeficiente de correlación fuerte de Pearson de 0.83 y un promedio de error del 3.4674%. Se puede decir que la RNA ha sido entrenada correctamente y presenta un promedio de error de aprendizaje del 3.4674%.
- ✓ Se obtuvo una capacidad de generalización de la RNA muy buena con respecto al “ángulo de fricción” con un coeficiente de correlación fuerte de Pearson de 0.82 y un promedio de error del 9.0042%. Se puede decir que la RNA ha sido entrenada correctamente y tiene la capacidad para predecir el resultado del ángulo de fricción con un promedio de error del 9.0042%.
- ✓ Se obtuvo una capacidad de generalización de la RNA moderada con respecto al valor de la “cohesión” con un coeficiente de correlación moderada de Pearson de 0.69 y un promedio de error del 5.1453% con respecto a los resultados del laboratorio de suelos. Se puede decir que la RNA ha sido entrenada correctamente con la restricción de que, para mejorar la precisión en los resultados referentes a la cohesión, se deberá entrenar a la red con una mayor cantidad de datos de muestras de suelos cohesivos.
- ✓ Se creó un ejecutable en Matlab de la RNA con nombre “Soil

Estimator”, donde se debe ingresar 5 parámetros físicos de los suelos como son: (límite líquido, límite plástico, humedad natural, %gravas, %arenas), que permite predecir los parámetros de resistencia al corte de suelos como son el ángulo de fricción y la cohesión.

- ✓ Se implementó la RNA en la etapa de entrega de anteproyectos de la empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L. para el cliente Orocom S.A.C en los proyectos regionales de implementación de banda ancha de la región de Puno, Moquegua, Tacna y Junín. Aportando la RNA una mejora en los procesos del área de diseño de planos y estudios de todas las especialidades o ingenierías que intervienen en el proceso y aumentando la capacidad de adquisición, control y seguimiento de nuevos proyectos.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES

4.1 Justificación

Cuando comenzamos a realizar los trabajos para PRONATEL, notamos que una vez que la información llegaba del área de campo a oficina, había tiempos extras que se necesitaban esperar para poder dimensionar la cimentación de las torres de telecomunicaciones además del cerco perimétrico de la estación y aparte que producía algunas demoras en los procesos internos de oficina. Asimismo, desde campo provenía bastante información específicamente de las calicatas que poco a poco fuimos recolectando con los ingenieros civiles formando una base de datos. Es así que, con esa base de datos, tomando los criterios sugeridos por ingenieros civiles y por los criterios planteados en las bases teóricas del presente trabajo se pudo obtener una base de datos idónea para diseñar la RNA.

4.1.1 Evaluación económica

Para poder hacer uso de la presente solución tecnológica se debe tener en cuenta que debemos obtener inicialmente resultados previos para poder ingresarlos al ejecutable de Matlab; Si bien en la implementación de la presente solución tecnológica la empresa de diseño Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L. se apoyó en los resultados previos de los laboratorios de suelos y en base a ello se aplicó el ejecutable en Matlab de la RNA; Sin embargo, en la presente evaluación económica consideraremos el costo de cada elemento que se necesita para poder tener los resultados previos en la

misma empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L. e ingresar esos resultados al ejecutable Matlab de la RNA.

En cuanto a equipos de laboratorio para obtener los resultados previos para utilizar la RNA:

Tabla 6: Costos de equipos e implementos complementarios a la solución tecnológica. Fuente: Elaboración propia

Ensayos a realizar previos al uso de la RNA	Datos a obtener para ingresar al ejecutable de la RNA	Equipos e Implementos requeridos	Costos promedio
Granulometría	% Arenas, %Finos	Conjunto de Tamices	S/5,750.00
		Balanza (resolucion:1g) 30000g	S/1,650.00
Limites de Atterberg	Limite liquido (L.L), Limite plástico (L.P)	Conjunto de Limite Líquido	S/1,320.00
		Conjunto de Limite Plástico	S/250.00
Contenido de Humedad	% Humedad.	Horno Eléctrico (136 litros)	S/3,500.00
		Balanza (resolucion:0.01g) 620g	S/1,780.00
TOTAL:			S/14,250.00

Con el monto de S/. 14,250.00 nuevos soles se puede ya realizar los ensayos para poder tener los resultados previos para ingresar a la RNA. Asimismo, contar con el equipamiento de la tabla anterior, brinda la posibilidad a la empresa de diseño Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L., implementar su propio laboratorio de suelos teniendo como uno de sus elementos principales a la RNA. En el futuro el mejoramiento del laboratorio de suelos dependerá de los requerimientos de la empresa. Cabe mencionar que la RNA diseñada tiene la capacidad de mejorar continuamente con los trabajos que se vayan realizando en el laboratorio de suelos de la empresa de diseño.

A continuación, se presenta el flujo de caja del proyecto:

Tabla 7: Flujo de caja de implementación de laboratorio. Fuente:

Elaboración propia

CONCEPTO		MES						
		0	1	2	3	4	5	6
Egresos	Personal técnico de laboratorio		-1025	-1025	-1025	-1025	-1025	-1025
	Inversión de implementación de laboratorio.	-14250						
	Total egresos mensuales (S/.)	-14250	-1025	-1025	-1025	-1025	-1025	-1025
Ingresos	Ingresos adicionales al mes debido a RNA		4200	4200	4200	4200	4200	4200
	Total ingresos mensuales (S/.)	0	4200	4200	4200	4200	4200	4200
FLUJO DE CAJA		-14250	3175	3175	3175	3175	3175	3175

Continuamos con el cálculo de los indicadores para evaluar el proyecto.

Cálculo del VAN:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n}$$

En donde:

A: Desembolso inicial.

Q: Los resultados de los flujos de caja.

k: Taza de descuento privada mensual = 3%.

n: Número de periodos.

Como ya se tienen los datos anteriores (A, Q, k, n), se procede a calcular el VAN:

Tabla 8: Cálculo del valor actual neto del Proyecto. Fuente: Elaboración propia.

MES	FLUJO DE CAJA	DIVISIÓN	VALOR ACTUAL
1	3175	$(1 + 0.03)^1$	3082.52
2	3175	$(1 + 0.03)^2$	2992.74
3	3175	$(1 + 0.03)^3$	2905.57
4	3175	$(1 + 0.03)^4$	2820.95
5	3175	$(1 + 0.03)^5$	2738.78
6	3175	$(1 + 0.03)^6$	2659.01
			17199.58

$$\text{VAN} = 17199.58 - 14250.00 = 2949.58$$

$$\text{VAN} = 2949.58$$

Cálculo del TIR:

Calculando el TIR para un VAN = 0, mediante la fórmula:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

$$\text{TIR} = 8.98\%$$

Evaluación:

En el caso del cálculo del VAN, se obtiene un VAN > 0, a una tasa de descuento privada de 3%, por lo tanto, el proyecto es rentable.

En el caso del cálculo del TIR, para un VAN = 0, se obtiene un TIR = 8.98%.

A efectos del presente cálculo el TIR (8.98%) es mayor a la tasa de descuento de (3%). Por lo tanto, el proyecto es rentable.

La segunda etapa corresponde al periodo de espera obligatorio que se requiere para obtener los estudios de mecánica de suelos (EMS) provenientes de los laboratorios de suelos. (de 4 a 5 días)

La tercera etapa corresponde al periodo de revisión final de entregables del proyecto. (2 días)

En forma ideal se deberían estar entregando 9 proyectos al mes, como se observa en la tabla anterior, sin embargo, se requería tiempos extras del personal para poder terminar al menos 12 proyectos al mes solicitados por el cliente como mínimo. Esto cambió al momento de implementar la presente solución tecnológica.

De forma adicional se puede observar en el anexo 2 el promedio de tiempo requerido por un laboratorio de mecánica de suelos para poder realizar los ensayos y obtener el informe de estudio de mecánica de suelos final; Asimismo una breve lista de equipos e implementos que se podrían obtener para poder instalar un Laboratorio de Mecánica de suelos básico.

A continuación, se presenta el proceso para la entrega de proyecto a OROCOM implementando el presente trabajo de suficiencia profesional.

Tabla 10: Indicadores de mejoras en el proceso de entrega de proyectos finales. Fuente: Elaboración propia.

Indicadores de mejoras en la entrega mensual de proyectos finales.	Comparación de procesos	
	Habitual	Con implementación de RNA
Número de proyectos finalizados al mes.	12	18
Días requeridos para levantar observaciones y/o actualizar los proyectos al mes.	8	4
Días hombre adicionales requeridos para cumplir con el mínimo de proyectos al mes	4	0
Grado de dependencia de laboratorios de suelos externos.	100%	50%
Calidad de entregables del proyecto	Buena	Alta

De la tabla se desprende que al mes se estaría entregando 6 proyectos adicionales, este dato se ha considerado para la evaluación económica anterior; Asimismo los días requeridos para volver a revisar los proyectos se redujo de 8 a 4 días en promedio debido a tener resultados anticipados con la RNA. En cuanto a las horas hombre adicionales del personal que se requería para cumplir con lo solicitado por el cliente se redujo a cero. Ya no se dependía en tiempo al 100% de los resultados de los laboratorios de suelos externos, en lugar de ello se dependía un 50%. En la calidad de entregables se mejoró considerablemente ya que, debido a la optimización del tiempo del personal, aparte de los entregables se enviaba al cliente otros archivos que facilitaban de alguna forma la viabilidad en diversos aspectos del proyecto.

4.2 Descripción de la implementación

El presente trabajo se implementó en la empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L. específicamente en el área de diseño y elaboración de planos de los proyectos; donde es común enviar a los clientes los planos de anteproyecto con modelos de estaciones de telecomunicaciones preestablecidos en planos de arquitectura sin considerar la cimentación de las torres; Sin embargo, con la implementación del presente trabajo se pudo definir con anticipación la dimensión de la cimentación de la torre y por ende avanzar con los otros planos de las otras especialidades así como también los

estudios de resistividad pudiendo proyectar por ejemplo la distribución de pozos, configuración horizontal o vertical y longitud de la malla de tierra.

La implementación de este trabajo ha sido de utilidad en el área de elaboración de planos para entregables de anteproyectos y proyectos finales, cumpliéndose las entregas de forma más eficiente y eficaz. Permitiendo la continuidad del desarrollo de planos de las otras especialidades, así como también el avance de informes y estudios como por ejemplo el diseño de sistema de puesta a tierra de cada nodo de telecomunicaciones.

Estimando los valores de ángulo de fricción y cohesión anticipadamente por medio de la RNA; Los ingenieros estructurales ya pueden determinar las dimensiones de la cimentación de la torre y los arquitectos pueden plasmar estos resultados en la documentación entregable para anteproyectos y proyectos. Asimismo, los ingenieros eléctricos ya pueden determinar y diseñar el tipo de sistema de puesta a tierra (convencional, proynet o faragauss) que se implementará en el nodo de acuerdo a las dimensiones de la cimentación de la torre y al espacio que generalmente es reducido dentro de una estación. De esta manera se evidencia la importancia del presente trabajo en el desarrollo de las actividades ingenieriles de la empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L., así como también mejorando su capacidad de adquisición y control de nuevos proyectos aplicando tecnología de vanguardia como son las redes neuronales artificiales.

4.3 Conclusiones

- ✓ Se pudo dimensionar la cimentación de torres de telecomunicaciones, en base a los resultados de la RNA, evitando el tiempo de espera que se necesitaría para obtener los ángulos de fricción y cohesión provenientes del laboratorio de suelos.
- ✓ Se pudo dar continuidad a los planos de las demás especialidades involucradas en cada proyecto, debido que se agilizo el dimensionamiento de la torre de telecomunicaciones.

- ✓ Se pudo realizar el diseño de sistemas de puestas a tierra dimensionando los pozos de forma horizontal o vertical de acuerdo a las dimensiones de la cimentación de la torre de telecomunicaciones, ya determinada por la RNA,
- ✓ Se pudo mejorar el tiempo y calidad de entrega de anteproyectos y proyectos finales de forma más eficiente, obteniendo resultados anticipados de la RNA y optimizando las horas hombre.
- ✓ Se aumentó la capacidad de manejo de proyectos de la empresa Delta Projekt ingeniería y construcción E.I.R.L.

CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta las recomendaciones a tener en cuenta para la mejora del presente trabajo, así como las sugerencias para la aplicación exitosa de la presente solución tecnológica.

- El presente trabajo se usará principalmente para tipos de suelos no cohesivos obteniendo una precisión alta con un error del 9.0042% con respecto a los resultados del ángulo de fricción.
- La RNA se limita a mostrar resultados del ángulo de fricción en el rango de 10° hasta los 36°, sin embargo, la presente RNA tiene la capacidad de ser escalable pudiéndose aumentar el rango de resultados y a la vez mejorar la precisión de los mismos, aplicándole el entrenamiento con una mayor cantidad de datos.
- La aplicación de la RNA diseñada ha demostrado ser una alternativa de solución tecnológica eficaz, eficiente y complementaria a los resultados obtenidos por el laboratorio de suelos.
- Para el caso de muestras cohesivas se deberá resolver la siguiente interrogante: ¿Qué otras variables, físicas o no, intervienen drásticamente en los resultados de la cohesión de una muestra de suelo?, esto significará incrementar el número de componentes de cada patrón de entrada y al mismo tiempo aumentar la base de datos debido a la complejidad en las muestras de suelos de tipo cohesivos ; Asimismo escoger con criterio las nuevas componentes de cada patrón de entrada en base a estudios o investigaciones científicas actualizadas.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA

- Celis, G. De, Barcia, D., Navarro, U., Celis, G. De, Barcia, D., & Navarro, U. (2014). Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción Interna (\emptyset) y su relación con los parámetros densidad relativa (D_r) y relación de vacíos (e) en suelos granulares. *Ciencia e Ingeniería*, 35(3), 135-146. <https://bit.ly/3bAf2uM>
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (EDITORIAL LIMUSA S.A. (ed.); 5° Edición). EDITORIAL LIMUSA S.A.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (S. R. Cervantes Gonzales & O. A. Ramirez Rosas (eds.); 7° Edición). Centage Learning Editores, S.A. <http://www.ebooks7-24.com/?il=824>
- Martín del Brio, B., & Sanz Molina, A. (2001). *Redes Neuronales y Sistemas Difusos* (ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A. (ed.); 2° Edición). ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A.
- Medina-lópez, S. B., & Salazar-gutiérrez, L. F. (2009). Relación entre la resistencia al corte directo y propiedades físicas y químicas en algunos suelos de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé*, 60(3), 253-268. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc060\(02\)173-189.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc060(02)173-189.pdf)

CAPITULO VII:

GLOSARIO

Suelo

Según (Crespo Villalaz, 2004):

“Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan”

Suelo cohesivo

Según (Crespo Villalaz, 2004):

“Los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas”

Granulometría

Según (Crespo Villalaz, 2004):

“El conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo”

Plasticidad

Según (Crespo Villalaz, 2004):

“La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse”

Limite liquido (LL)

Según (Das, 2012)

“El contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo cambia de un estado líquido a uno plástico, se define como límite liquido (LL)”

Limite Plástico (LP)

Según (Das, 2012)

“El contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido, se define como límite Plástico (LP)”

Índice de plasticidad(IP)

Según (Das, 2012)

“Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico”

$$IP = LL - LP$$

Ángulo de fricción (Ø)

Es una característica de los suelos por el cual se determina el ángulo máximo que puede estar un suelo en estado de reposo.

El ángulo de fricción depende de muchas características físicas de los suelos, principalmente de la compacidad, forma y rugosidad de las partículas, grosor de las partículas y la granulometría (uniformidad). Como podemos observar, las 3 últimas características son propiedades físicas de las partículas, y eso nos demuestra que desde hace mucho tiempo investigaciones querían plantear modelos matemáticos para la determinación del ángulo de fricción interna a partir de este tipo de características.

Cohesión (C)

Es la capacidad que tienen las partículas de la masa del suelo para permanecer unidas debido a las fuerzas de atracción que se presentan según el porcentaje de humedad.

Contenido de humedad(W)

Se define como la relación entre el peso del agua contenido en una muestra de suelo entre el peso seco de la misma

RNA

Red Neuronal Artificial

Redes supervisadas

Según (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001):

“La idea que subyace en este tipo de aprendizaje es la de presentar a la red un patrón de salida, el cual será el patrón deseado que se comparará posteriormente con la salida de la red obteniendo un error, de modo que el objetivo general será minimizar el error modificando y actualizando los pesos sinápticos de la red.

Muchos problemas del mundo real pueden interpretarse desde el punto de vista de la estimación o aproximación funcional, en el sentido de tratar de encontrar la función que a partir de los datos de entrada obtenga la salida deseada.

Las redes más conocidas por su importancia histórica y a la vez por su generalidad y aplicabilidad práctica. El Perceptrón Simple, La Adalina, El Perceptrón Multicapa (con su algoritmo de aprendizaje back-propagation).

Ejemplo: Un reconocedor de caracteres; Aquí el objetivo podría ser un sistema que implemente la función que asocie una determinada letra o carácter con su respectiva clase a la que pertenece.”

Redes no supervisadas

Según (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001):

“Estas redes se caracterizan porque en su entrenamiento no se presentan las salidas objetivo que se desean asociar a cada patrón de entrada. A diferencia de las redes supervisadas, no se indica si la red está funcionando correcta o incorrectamente.

La red realiza un proceso de autoorganización de neuronas el cual brindara un cierto resultado, en base a las relaciones de similitud (rasgos comunes, regularidades, correlaciones) entre los patrones de entrada.

La principal aplicación de este tipo de redes es el agrupamiento de patrones, visualización y minería de datos”

Una de las redes más conocidas es el de los mapas autoorganizados de kohonen y es la red que diseñaremos en este trabajo de investigación.

Redes Reforzadas

Según (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001):

“Se sitúa a medio camino entre el supervisado y no supervisado. Existe una única señal de error que representa un índice global del rendimiento de la red, es decir, solamente se le indica lo bien o mal que está actuando. No se le da explícitamente la salida deseada. Se le denomina generalmente aprendizaje por premio – castigo“

Redes Híbridas

Según (Martín del Brio & Sanz Molina, 2001):

“Estas redes están formadas por los 2 tipos de aprendizaje, el supervisado y el no supervisado, los cuales son aplicados a distintas capas de neuronas”

CAPITULO VIII: ANEXOS

ANEXO 1

UBICACIÓN DE ALGUNOS DE LOS NODOS DEL PROYECTO REGIONAL DE TELECOMUNICACIONES EN PUNO Y TACNA QUE SE EXPLORARON PARA CREAR LA BASE DE DATOS

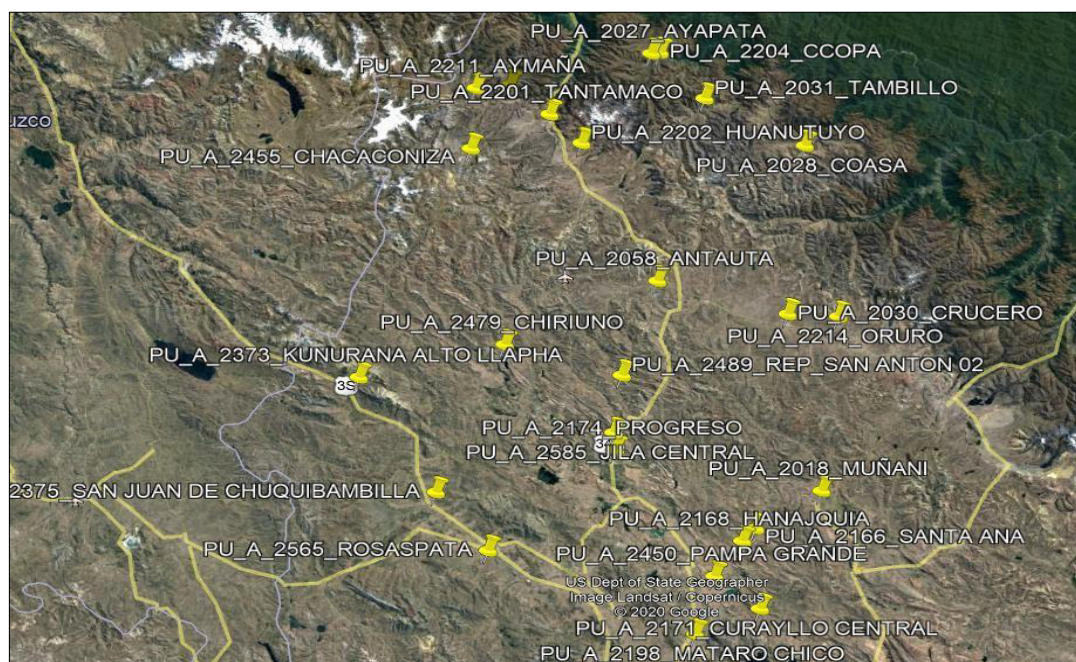


Figure 11: Ubicación de nodos en la región de Puno. Fuente: Elaboración propia

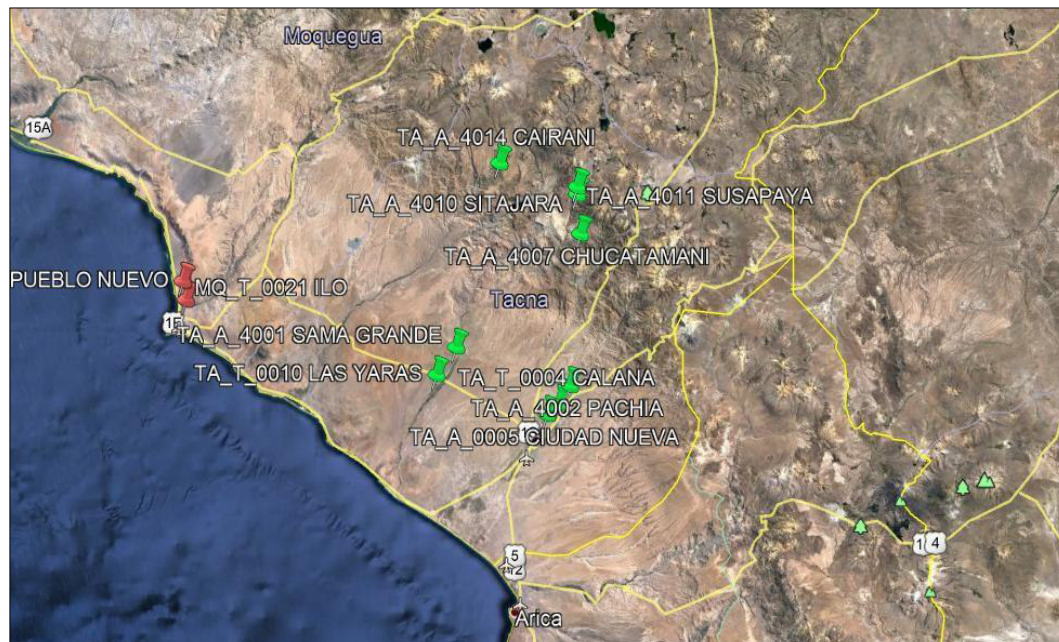


Figure 12: Ubicación de los nodos en la región de Tacna. Fuente:
Elaboración propia.

ANEXO 2

ANÁLISIS DEL TIEMPO PROMEDIO REQUERIDO DE CADA ENSAYO DE SUELOS A REALIZAR POR LOS LABORATORIOS PARA OBTENER LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE.

Según: Ing. Uribe Lopez, Jair (Coordinador General de proyectos de telecomunicaciones y Jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la empresa JGRB Ingenieros S.R.L)

Afirma: “Se podría resumir los tiempos de los ensayos como se muestra en la siguiente tabla”

Tabla 11: Promedio de tiempos necesarios para obtener los parámetros de resistencia al corte de suelos.

DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4 / DIA 5
Preparación para la Granulometría	Resultado de la Granulometría	Resultado de los límites de Atterberg	Consolidación y Resultado de los parámetros de resistencia al corte de suelos.
Preparación para el contenido de humedad	Resultado del contenido de humedad Se realizan los ensayos para los límites de atterberg	Preparación para el ensayo de corte directo (consolidación)	

De la tabla se puede observar el tiempo extra que toma realizar el ensayo de corte directo pudiendo llegar hasta 5 días, dependiendo del material que se esté ensayando. Este tiempo extra puede ser eliminado con el uso de una Red Neuronal Artificial que podrá predecir los resultados de los parámetros de resistencia al corte (ángulo de fricción interna y cohesión) en 2 días. Por lo cual el uso de esta tecnología ayuda a predecir los resultados con anterioridad y sin hacer uso de una máquina de corte directo.

En cuanto a costos promedio de equipos de laboratorio requeridos para obtener los estudios de mecánica de suelos con fines de cimentación de torres de telecomunicaciones se puede mencionar a los que se observan en la tabla siguiente:

Tabla 12: Costos promedio de equipos para un laboratorio de mecánica de suelos básico que pueda brindar los parámetros de resistencia al corte.

Fuente: Elaboración propia.

Equipos fundamentales para los ensayos en laboratorio de suelos	Costos Promedio
kit para ensayo de limite plástico.	S/250.00
Balanza (Resolution: 0.1g) 500g.	S/380.00
kit para ensayo de limite liquido.	S/1,320.00
Balanza (Resolution: 1g) 30 000g.	S/1,650.00
Balanza (Resolution: 0.01g) 620g.	S/1,780.00
Horno Eléctrico (136 litros).	S/3,500.00
Juego de tamices para la granulometría.	S/5,750.00
Máquina de corte directo.	S/25,000.00
	TOTAL: S/39,630.00

En esta tabla se puede apreciar que el precio de una “máquina de corte directo” ocupa aproximadamente el 63% del costo total. El uso de una Red Neuronal Artificial se ve también de esta forma viable ya que prescindiríamos de la máquina de corte directo y además de sus costos de operación y mantenimiento.

ANEXO 3

BASES DE DATOS CREADAS DE PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE BANDA ANCHA DE LAS REGIONES DE MOQUEGUA, TACNA, PUNO Y PROYECTOS PARTICULARES.

Tabla 13: Proyectos particulares para la empresa CICSA, año 2015.

Fuente: Elaboración propia

DEPARTAMENTO	SITE	SUCS	Grava %	Arena %	Finos %	W %	L.L	L.P	DENSIDAD (tn/m ³)	FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kg/cm ²)
ANCASH	EMS YURACMARCA	GC	60.8	23.7	15.5	5.12	25	14	1.47	25.8	0.25
	EMS NODO CHIMBOTE	SP-SM	-	-	-	2.75	0	NP	1.49	29.9	0.05
	EMS CHIMBOTE	ML/SM	0	28.1/52.8	71.9/47.2	26.14/25.19	NP	NP	1.47	30.95	0
APURIMAC	EMS TALAVERA	SW-SM	11.8	79.6	8.7	7.34	NP	NP	1.49	33	0.06
AREQUIPA	EMS EL CRUCE	SM	10	71.2	18.8	1.12	0	NP	1.523	29.3	0
	EMS NUEVO VITOR FINAL	SP	38.5	58.8	2.7	1	0	NP	1.4	31.5	0
	EMS LA PLANCHADA	SW-SM	-	-	-	7.42	18	16	1.69	34.2	0
CAJAMARCA	EMS LA HACIENDA	MH	-	-	-	-	-	-	1.3	17.6	0
	EMS CHUMUCH B	GP-GM	86.4	5.9	7.7	3.06	NP	NP	-	38	3.36
	EMS PUCYURA	CL	0	34.9	65.1	26.67	47	27	1.42	24.1	0.24
CUSCO	EMS LAMAY	GM-GC	52.6	16.9	30.5	11.16	19	13	1.84	36	0
	EMS CALCA	GC	38.9	36.7	24.4	9.56	24	15	1.71	21.5	0.24
	EMS CENTENARIO	CL	-	-	-	-	-	-	1.56	26.26	0.24
	EMS SAYLLA	GC	39.8	33.7	26.5	4.37	19	11	1.67	29.3	0.05
	EMS HUASCARAY	GW-GM	75.9	17.4	6.7	4.06	17	14	1.9	41	0
	EMS RIO SAGRADO	Roca	-	-	-	-	NP	NP	-	35	3.06
ICA	EMS STO. DOMINGO	SM	0	83.7	16.3	5.27	NP	NP	1.55	29.92	0
	EMS GUADALUPE SALAS	SM	2.8	57.2	40	11.16	20	17	1.49	30.7	0.06
	EMS VILLA CURI	SP-SM	0	94.6	5.4	3.31	0	NP	1.59	32.7	0
	EMS PROYECTO SHOUGANG 1	SM	0	86.6	13.4	9.42	18	15	1.51	32.5	0.33
	EMS PROYECTO SHOUGANG 2	GP	-	-	-	0.34	0	NP	-	-	-
	EMS TUEROS	SP-SM	0	90.5	9.5	4.95	0	NP	1.45	33.6	0
JUNIN	EMS JUNIN										
LA LIBERTAD	EMS HUAMACHUCO	CL	-	-	-	12.1	23.15	13.69	1.31	7.8	0.3
	EMS SANAGORAN	SM	-	-	-	-	-	-	1.5	26	0
	EMS GUADALUPITO	GM	47.2	37.5	15.3	4	37	25	-	45	4.08
	EMS ALMAGRO	SM	-	-	-	3.3	0	0	1.6	21.5	0
	EMS ORQUIDEAS NORTE	CL	0	34.6	65.4	18.4	29	20	1.34	26	0.22
	EMS LA VIRGEN	GP	72.8	26.2	1	0.8	-	-	1.06	30.4	0
	EMS DEL PINO	GP	62.9	36.4	0.7	1.7	NP	NP	1.12	30.4	0
	EMS PANKA	GP	-	-	-	-	-	-	1.95	32	0
	EMS DEFENSORES DEL MORRO	SP	0	98.5	1.5	1.81	NP	NP	1.614	32.5	0
	EMS TELEPUERTO VILLA EL SALVADOR	SP-SM	0	92.7	7.3	14.7	NP	NP	1.44	29.9	0
	EMS LEONCITOS VES F	GM-GC	57.7	30.1	12.2	5.9	19	13	-	-	-
	EMS RAMON CASTILLA B	SW-SM	31.8	60.9	7.3	3.5	-	NP	1.84	32.4	0
	EMS CAUJUL	Roca	-	-	-	-	-	-	-	36	-
MADRE DE DIOS	EMS CAYCHIVE	GP-GM	-	-	-	-	-	-	1.7	28	0
PASCO	EMS QUILLAZU	SC	-	68.4	23.4	13	30.6	22.63	1.65	20.9	0.23
PIURA	EMS MORROPON	SP	-	-	-	7.15	NP	NP	1.57	33.4	0
	EMS ARGUEDAS C	SP	0	99.7	0.3	1.9	NP	NP	1.55	30	0
	EMS ARGUEDAS D	SM	0	76.3	23.7	4.18	0	NP	1.49	30	0.06
	EMS SIMBILA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EMS DALIAS PIURA	SP-SM	-	-	-	5.21	NP	NP	1.45	34	0
	EMS AGROALEGRE CAMPOSO	SP	0	97.6	2.4	3.1	0	0	1.4	30.1	0.0032
SAN MARTIN	EMS TARAPOTO	SC	-	-	-	11	24	13	1.865	23	0.15
	EMS LEGUIA	CL	-	-	-	-	-	-	1.4	11	0.38

Tabla 14: Proyectos particulares para la empresa CICSA, año 2016.

Fuente: Elaboración propia

DEPARTAMENTO	SUCS	Grava %	Arena %	Finos %	W %	L.L	L.P	DENSIDAD (tn/m ³)	FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kg/cm ²)	
AMAZONAS	GC	78.7	5.7	15.6	26.91	30	19	2.10	26.6	0.35	
	MH	1.1	19.5	79.5	36.07	53	30	1.94	6.3	0.59	
ANCASH	GP	87.7	9.9	2.4	4.37	28	15	1.78	34.8	0.05	
	CL-ML	0	31.3	68.7	28.29	25	19	1.65	15.3	0.18	
AREQUIPA	GP-GM		49.42	7.34	19.2	NP	NP	-	34.48	0.04	
	SM	11.1	72.2	16.7	6.21	0	NP	1.63	30.2	0.02	
	SM		62.49	28.48	7.43	NP	NP	1.75	34.88	0.06	
	GP					-	-		23	1.82	
	-		47.08	48.14			NP	NP		33.42	0.13
	SC-SM	0.6	72.5	26.9	1.38	18	13	1.54	32.4	0.04	
	GP-GC	61.8	26.9	11.4	38.46	21	14	2.20	34.6	0.08	
AYACUCHO	SC	31.5	38.5	30	7.86	36	21	1.70	31.5	0.04	
	GC	56.5	29.6	13.8	12.18	32	20	1.80	25.1	0.11	
	SC		41.77	45.45	15.14	33.21	22.47	1.74	31.08	0.09	
CAJAMARCA	GC	65.5	9.3	25.1	7.09	36	20		33.8	2.94	
	CL	2.8	33.6	63.6	11.2	45	19	1.88	17.4	0.36	
	CL	0	31.1	68.9	22.42	45	21	1.94	24.7	0.3	
	SC/GC/SC	17.2/38.7 /13.1	49/38.5/6 0.5	33.8/22.8 /26.5	7.12/6.79 /8.58	31	20	1.67	34.1	0.07	
	MH	0	21.7	78.05	35.6	57	33	1.75	0	0.44	
	MH							1.75	0	0.44	
	CL	0	28.3	71.7	20.66	30	16	2.17	0	0.67	
CUSCO	MH	0	10.3	89.7	57.15	51	41	1.70	7.8	0.35	
	GP	69.2	26.5	4.3	5.3	23	17	2.12	39.9	0	
	ML	2.7	32.5	64.8	29.1	29.9	2.7	1.23	26.89	0.261	
	CL	0	34.7	65.3	20.46	34	23	1.53	8.7	0.31	
HUANUCO	CL	0	9.1	90.9	56.7	42	20	1.63	15.1	0.24	
ICA	SP-SM	-	88.19	11.72	1.82	NP	NP		28.37	0.0599	
	GW				2.04	0	NP	2.15	33	0	
JUNIN	CL	3.8	31.3	64.8	16.4	0	NP	1.71	20.3	0.204	
	SP-SM				1.9	21	16	1.55	30.07	0.018	
	CL	0	38.1	61.9	12.9	26	15	1.70	31.3	0.25	

LA LIBERTAD	CL	-	-	-	22.28	28	14	1.49	28.9	0.18
	SP-SC	0	89.2	10.8	2.49	15	8	1.65	30.8	0.07
	SC	-	-	-	14.09	46	23	1.52	23.6	0.25
LIMA	GP	-	38.12	2.34	4.69	NP	NP	1.90	35.5	0.06
	SP	-	-	-	2.11	NP	NP	1.92	35	0.08
	SM	0.8	55.7	43.4	4.96	0	NP	1.65	36.4	0.07
	CL	0	43.3	56.7	47.62	33	18	1.88	30	0.01
	GP-GC	-	-	-	-	20	15	-	25	2.04
	GP-GM		13.77	5.27	1.04	20.32	NP	1.95	37.85	0.18
	CL	0	12.2	87.8	17.08	35	21	1.67	11.3	0.33
	GM	73.8	14	12.2	2.74	NP	NP	1.96	33.6	0.04
	GW	65.7	29.5	4.8	2.04	0	NP	2.15	33	0.00
	SM	0	62.9	37.1	13.31	NP	NP	1.62	34	0.00
	SP	53.6	42.9	3.5	2.88	NP	NP	1.96	31.5	0.00
	SC-SM	0	73.1	26.9	9.87	24	20	1.70	30	0.06
	GM	49.2	22.8	28	1.94	NP	NP	2.00	34.2	0.00
	SC	-	-	-	25.49	23	16	1.67	26	0.16
	SW-SM	38.6	49.8	11.5	2.84	19	16	1.75	34	0.06
	GP-GC	82	8.4	9	2.18	28	22	-	35	2.96
GC	48.6	35.9	15.5	4.9	0	NP	-	-	-	
SP	0	98.8	1.2	2.3	NP	NP	1.39	30..29	0.17	
SP	0	96.6	3.4	3.18	0	0	1.65	32.2	0.00	
MADRE DE DIOS	GW	-	27.43	0.36	13.97	NP	NP	-	35.86	0.04
	GM	49.6	34.3	16.1	6.09	NP	NP	1.57	26	0.16
	SM	-	-	-	12.25	31	23	1.63	31.2	0.16
	-	-	6.63	93.37	-	36.7	23.53	-	22.92	0.15
MOQUEGUA	GM	-	20.71	20.2	11.48	NP	NP	1.80	33.16	0.09
PIURA	CL	4.3	34.9	60.8	16.42	32	15	1.6	20.2	0.18
	GC		8.87	19.64	11.04	36.83	23.06	2	30.84	0.21
	SM	0	83	17	5.1	-	NP	1.56	32	0

Tabla 16: Proyectos para PRONATEL, año 2019. Fuente: Elaboración propia.

N°	CODIGO	NOMBRE DE SITE	DEPARTAMENTO	LL	LP	gravas	arenas	finos	Ø	c(KG/CM2)	P/unitario(g/cm3)	humedad(%)
1	LI4773	CARMEN ALTO	LIMA	26.8	21.4	21.14	26.58	16.52	27.42	0.17	1.66	16.63
2	LI4722	CANTAGALLO NUEVO	LIMA	19.7	NP	30	63.47	36.22	30.36	0.05	1.62	18.89
3	LI4770	LA RINCONADA DE CONTA	LIMA	NP	NP	44.99	50.09	4.92	31.86	0.15	1.76	3.45
4	LI4492	HERBAY BAJO	LIMA	NP	NP	71.7	27	1.3	35	0	1.81	1
5	LI4494	MONTEJIATO	LIMA	NP	NP	0	83.48	16.52	29.21	0	1.64	3.08
6	LI5751	SAN JUAN DE MALLEURAN	LIMA	29.3	17.41	5.45	28.07	66.48	20.68	0.15	1.73	6.56
7	LI9063	RTND SAN BARTOLOME	LIMA	24.8	15.82	66.43	23.8	9.77	30.09	0.15	1.81	6.56
8	LI4838	ZUÑIGA	LIMA	NP	NP	29.21	52.42	18.37	32.71	0.08	1.7	3.51
9	LI9067	RTND_SAN LORENZO DE QUINTI	LIMA	NP	NP	35.7	35.5	28.8	33.9	0.04	1.8	9.1
10	LI5641	QUINCHES	LIMA	41.6	22.95	40.75	39.66	11.59	31.15	0.15	1.81	8.15
11	LI5611	AYAVIRI	LIMA	42.3	29.66	54.44	27.62	17.94	30.67	0.12	1.77	18.43
12	LI5633	HUAÑEC	LIMA	22	15.4	7.41	32.93	59.66	25.89	0.27	1.67	4.38
13	LI5648	TOMAS	LIMA	NP	NP	80.2	12.6	7.2	15.3	0.25	1.62	12.6
14	LI5029	CORCONA	LIMA	31	20	69.7	19.8	10.5	33.6	0.07	1.81	6.8
15	LI4522	SANTA ROSA DE ASIA	LIMA	NP	NP	6.25	71.14	19.5	29.73	0.09	1.81	4.32
16	LI4553	BUJAMA ALTA	LIMA	NP	NP	0.47	70.05	29.48	30.52	0.05	1.65	9.58
17	LI4642	SAN JUAN DE CORREVIENTO	LIMA	NP	NP	30.6	54.1	15.3	30.5	0.4	1.7	3.3
18	LI5240	SANTIAGO DE ANCHUCAYA	LIMA	NP	NP	88.4	10.7	0.9	35.1	0	1.81	3
19	LI5179	HUAROCHIRI	LIMA	NP	NP	72.6	19.7	7.7	34	0.04	1.8	10.1
20	LI9055	RTND_HUAROCHIRI	LIMA	NP	NP	72.6	19.7	7.7	34	0.04	1.8	11.1
21	LI5649	VIÑAC	LIMA	25.4	22.9	7.96	30.18	61.86	25.68	0.12	1.62	16.56
22	LI5174	SAN LORENZO DE HUACHUPAMPA	LIMA	38.2	25.05	73.68	9.4	16.91	30.26	0.17	1.96	10.84
23	LI5209	SAN JUAN DE IRIS	LIMA	26.4	21.74	18.6	35.24	46.17	31.59	0.2	1.77	10.53
24	LI4750	CERRO ALEGRE (CAIDO)	LIMA	NP	NP	53.98	44.3	1.72	30.67	0.1	1.77	2.26
25	LI4791	CANTERA	LIMA	NP	NP	53.71	36.5	9.79	34.48	0.18	1.82	2.98
26	LI4799	LA FLORIDA NUEVO IMPERIAL	LIMA	NP	NP	32.47	46.49	21.08	29.24	0.12	1.67	4.89
27	LI4814	LA HUERTA(SANTA ELENA)	LIMA	NP	NP	39.16	58.56	2.28	30.74	0	1.67	1.86
28	LI5683	CALTOPIILLA	LIMA	NP	NP	45.84	41.78	12.38	30.95	0.1	1.78	5.64
29	LI4823	SAN JUAN DE ROLDAN	LIMA	NP	NP	13.59	69.15	17.26	25.84	0.09	1.62	2.98
30	LI5190	ESCOMARCA	LIMA	29	23	50.8	37.6	11.6	33.2	0.05	1.8	14.9
31	LI5608	HUAYLLAMPI	LIMA	NP	NP	15.22	67.46	17.32	31.12	0.12	1.67	4.88
32	LI5739	CALACHOTA	LIMA	NP	NP	46.23	24.07	29.7	30.36	0.1	1.86	2.92
33	LI5752	PIRHUAYOC	LIMA	NP	NP	65.09	20.69	14.32	30.28	0.1	1.82	8.6
34	LI5644	TAURIPAMPA	LIMA	31.3	18.66	23.14	31.22	45.65	30.08	0.09	1.91	3.49
35	LI9128	RTND_TAUROPAMPA	LIMA	31.3	18.66	23.14	31.22	45.65	30.08	0.09	1.91	3.49
36	LI9076	RTND_SANTIAGO DE ANCHUCAYA	LIMA	NP	NP	88.4	10.7	0.9	35.1	0	1.81	3
37	LI5170	CARAMPOMA	LIMA	34.2	16.64	23.18	38.54	38.28	28.99	0.1	1.77	4.73
38	LI9069	RTND_SAN JUAN DE LANCA (CAIDO)	LIMA	NP	NP	71	16.5	12.5	34.8	0	1.81	8.7
39	LI9125	RTND_SAN JOAQUIN	LIMA	37.2	25.3	27.31	39.25	33.44	29.16	0.15	1.81	3.49
40	LI9118	RTND_LINCHA	LIMA	18.4	NP	16.85	61.01	22.14	30.84	0.12	1.8	8.91
41	LI9107	RTND_CATAHUASI	LIMA	18.4	NP	34.43	42.49	23.08	31.26	0.1	1.75	4.32
42	LI5651	VITIS	LIMA	NP	NP	2.5	87.1	10.4	28.9	0.06	1.65	7.3
43	LI4774	ALMENARES	LIMA	NP	NP	49.7	44.4	5.9	35.1	0	1.81	3.1
44	LI4759	SANTA CRUZ DE SAN LUIS	LIMA	36	18	87.2	3.3	9.5	33.2	0.1	1.81	4.2
45	LI5239	HUAYARINGA ALTA	LIMA	NP	NP	45.7	46.4	7.9	30.1	0.04	1.7	3.3
46	LI4633	SANTA BARBARA	LIMA	NP	NP	78.7	20.1	1.2	35.7	0	1.9	1.3
47	LI5200	JICAMARCA	LIMA	NP	NP	0	74.3	25.7	31.5	0	1.65	16
48	LI9027	RTND_MALA	LIMA	NP	NP	75.7	21.5	2.8	35.5	0	1.81	7
49	LI5619	CANCHAN	LIMA	NP	NP	61.8	31.8	6.4	35.3	0	1.81	2
50	LI5097	QUICHAS	LIMA	NP	NP	67.1	20.8	12.1	32.6	0.05	1.8	10.2
51	LI3899	EL TREBOL	LIMA	NP	NP	68.8	18.3	0.5	35.2	0	1.81	1.5
52	LI4213	PARIAMARCA	LIMA	30	15	12.8	40	47.2	29.1	0.1	1.65	11.6
53	LI5053	PICHUPAMPA	LIMA	NP	NP	24	53	23	31.1	0.06	1.65	3.5
54	LI5120	CANDELARIA	LIMA	NP	NP	0	94.5	5.5	28.1	0.05	1.65	6.2
55	LI5005	EL ANGEL MACATON	LIMA	NP	NP	59	24.7	16.3	35.1	0	1.81	5.7
56	LI9013	RTND_HUAROS	LIMA	38	22	64.2	24.5	11.3	32.5	0.1	1.81	10.6
57	LI4330	HUAROS	LIMA	38	22	64.2	24.5	11.3	32.5	0.1	1.81	11.6

Tabla 17: Proyectos para PRONATEL, años 2020-2021. Fuente:

Elaboración propia

N°	CODIGO	NOMBRE DE SITE	DEPARTAMENTO	LL	LP	gravas	arenas	finos	Ø	c(KG/CM ²)	humedad(%)
1	PU_T_0004	CAPACHICA	PUNO								
2	PU_T_0058	PUSI	PUNO	NP	NP	52.8	39.4	7.8	34.5	0	3.4
3	PU_T_0008	HUATA	PUNO	26	16	0	18.1	81.9	14.1	0.27	18.7
4	PU_T_0003	ATUNCOLLA	PUNO								
5	PU_T_0071	AYAVIRI	PUNO	NP	NP	62	32.3	5.7	34.5	0	8.2
6	PU_T_0028	SAN JUAN DE SALINAS	PUNO	25	15	0	48	52	14.9	0.27	34.1
7	PU_T_0006	CHUCUITO	PUNO	NP	NP	70.8	22	7.2	34.9	0	25.9
8	PU_T_0070	VILAVILA	PUNO	38	25	0	26.6	73.4	14.5	0.27	20
9	PU_A_2016	CHUPA	PUNO	22	14	0	56.2	43.8	28	0.08	28.8
10	PU_A_2022	SAN JOSE	PUNO	NP	NP	81.1	15.6	3.3	35.2	0	5.5
11	PU_A_2446	MORORCCO	PUNO								
12	PU_A_2449	SOLLOCOTA	PUNO								
13	PU_A_2048	ROSASPATA	PUNO								
14	PU_A_2505	REP_ROSASPATA	PUNO								
15	PU_A_2071	DEUSTUA	PUNO	34	17	18.8	56.8	24.4	32	0.1	4.4
16	PU_A_2347	SOLITARIO	PUNO	52	28	0	37.8	62.2	14	0.29	50.5
17	PU_A_2183	RUCOS	PUNO	NP	NP	0	69.1	30.9	28.3	0.05	14.1
18	PU_A_2045	HUATASANI	PUNO	NP	NP	0	75.1	24.9	28.6	0.05	7.8
19	PU_A_2340	CENTRO CAHUAYA	PUNO								
20	PU_A_2171	CURAYLLO CENTRAL	PUNO	28	16	0	51.1	48.8	28.2	0.1	11.4
21	PU_A_2184	AGUA MILAGRO	PUNO	NP	NP	6.9	34.6	58.5	22.2	0.18	38.2
22	PU_A_2050	VILQUE CHICO	PUNO								
23	PU_A_2023	SAN JUAN DE SALINAS	PUNO	25	15	0	48	52	14.9	0.27	34.1
24	PU_A_2182	COLLPANI	PUNO								
25	PU_A_2044	COJATA	PUNO								
26	PU_A_2373	KUNURAMA ALTO LLAPHA	PUNO	NP	NP	74.9	20.7	4.4	35.1	0	4.4
27	PU_A_2055	PUCARA	PUNO	NP	NP	30.3	69	0.7	30.9	0	5.1
28	PU_A_2063	CONIMA	PUNO								
29	PU_A_2349	SAN JOSE DE QUISHUARANI	PUNO	79	33	0	20	80	14	0.28	46.6
30	PU_A_2057	VILAVILA	PUNO	38	25	0	26.6	73.4	14.5	0.27	20
31	PU_A_2062	SANTA ROSA	PUNO	NP	NP	0	9.8	90.2	22.6	0.18	14.9
32	PU_A_2097	AYAVIRI	PUNO	41	25	0	9.4	90.6	14.6	0.27	28
33	PU_A_2372	PICCHU	PUNO	28	18	70.3	19	10.7	32.7	0.09	8.7
34	PU_A_2374	KUNURAMA BAJO	PUNO	72	35	0	2.3	97.7	14.3	0.28	64.5
35	PU_A_2180	ANORAVI CENTRAL	PUNO	42	21	1.9	5.9	92.2	14.5	0.28	23.6
36	PU_A_2368	QUISUNI	PUNO	NP	NP	70.6	23.3	6.1	34.9	0	8.9
37	PU_A_2366	QUISHUARA	PUNO	24	15	55	38.5	6.5	33.4	0.09	5.2
38	PU_A_2367	SANTA CRUZ	PUNO	NP	NP	19.7	59.5	20.8	30.2	0.05	7.2
39	PU_A_2477	SAN FRANCISCO	PUNO	NP	NP	59	24.5	16.5	33.4	0.05	7.2
40	PU_A_2491	REP MACARI	PUNO								
41	PU_A_2061	ORURILLO	PUNO	NP	NP	44.9	42.6	12.5	33.3	0.05	13.2
42	TA_A_4067	LA ESPERANZA 1	TACNA	NP	NP	0	96.4	3.6	29.7	0	1.1
43	TA_A_4034	ASENTAMIENTO 3 (28 DE AGO)	TACNA	NP	NP	33.6	23.7	42.7	33.1	0.05	25.1
44	TA_A_4033	ASENTAMIENTO 4	TACNA	NP	NP	0	77.9	22.1	28.8	0.04	3.5
45	TA_A_4035	ASENTAMIENTO 5 Y 6	TACNA	NP	NP	0	96	4	29.9	0	3.2
46	MQ_A_3011	LLOQUE	MOQUEGUA								
47	MQ_A_3010	LA CAPILLA	MOQUEGUA	NP	NP	35.7	42.8	21.5	30.3	0.04	1.7
48	MQ_A_3052	QUERALA	MOQUEGUA	NP	NP	0	77.1	22.9	29.9	0.05	1.1
49	TA_A_4063	TOMASIRI	TACNA	NP	NP	72.8	25.8	1.4	35	0	1.2
50	TA_A_4001	SAMA GRANDE	TACNA	NP	NP	64.1	34	1.9	35.3	0	3.3
51	PU_A_2361	CONDORMILLA ALTO	PUNO	NP	NP	83.2	13.8	3	34.7	0	7.1
52	PU_A_2165	CONDORIRI	PUNO								
53	PU_A_2019	POTONI	PUNO	30	15	46.2	31.4	22.4	33	0.1	15.3
54	PU_A_2478	HUAMANRURO	PUNO	NP	NP	5.2	75.5	19.3	28.6	0.05	6.2
55	PU_A_2364	CORANI	PUNO	NP	NP	15	48.2	36.8	27	0.04	29.4
56	PU_A_2365	MACHACMARCA	PUNO	NP	NP	60.9	31.8	7.3	33.5	0.04	14.1
57	PU_A_2376	UNION COLLANA	PUNO	31	21	11.4	34.4	54.2	15.7	0.26	39
58	PU_T_0093	SANDIA	PUNO	NP	NP	73.6	23.6	2.8	34.5	0	4.5
59	MQ_A_3068	ORLAQUE	MOQUEGUA								
60	PU_T_0033	AYAPATA	PUNO	NP	NP	46.8	19.1	34.1	33.5	0.06	27.1
61	PU_T_0103	YANAHUAYA	PUNO	33	21	0	10.3	89.7	14.9	0.27	14.1
62	PU_T_0089	JULIACA	PUNO	NP	NP	0	49	51	22.1	0.18	30
63	PU_A_2526	ROSASPATA	PUNO	NP	NP	35.7	26.7	37.6	33.3	0.05	12.1
64	PU_A_2534	CCORPA ACCOPATA CENTRAL	PUNO	NP	NP	44	44	12	30.5	0.05	17
65	PU_A_2540	KM48 LLALLAHUA	PUNO	NP	NP	0	38.1	61.9	22.4	0.17	8.3
66	PU_A_2371	CHOQUESANI	PUNO	NP	NP	0	75.1	24.9	28.6	0.05	16.4
67	PU_A_2592	AYPATI	PUNO	47	22	0	57.8	42.2	27.2	0.13	15.3
68	PU_A_2518	YAPUSCACHI	PUNO	NP	NP	44.7	54.1	1.2	30.5	0	7.4
69	TA_A_4002	PACHIA	TACNA	NP	NP	59.5	36.8	3.7	34.8	0	1.4
70	PU_A_2127	ANCCACCA	PUNO	NP	NP	0	92.98	7.02	28.1	0.05	16.1

71	PU_A_2130	QUELCCA OPOJANI	PUNO		46	27	0	12.32	87.68	21.6	0.18	40.9
72	PU_A_2527	ALIANZA	PUNO									
73	PU_A_2010	JUNCAL	PUNO		50	24	53.4	20.75	25.85	32.3	0.15	20.6
74	PU_A_2131	CUSINI	PUNO		22	14	0	38.27	61.73	14.7	0.27	29.6
75	PU_A_2198	MATARO CHICO	PUNO	NP	NP	NP	0	47.72	52.28	22.6	0.18	16.9
76	PU_A_2450	PAMPA GRANDE	PUNO		31	21	0	13.8	86.2	14	0.27	30.9
77	PU_A_2168	HANAQUA	PUNO		31	22	0	36.56	63.44	14.4	0.27	28.2
78	PU_A_2373	KUNURAMA ALTO LLAPHA	PUNO	NP	NP	NP	43.67	38.81	17.52	33.8	0.05	8.4
79	PU_A_2174	PROGRESO	PUNO		25	18	77.87	18.68	3.45	33.3	0.07	8.5
80	PU_A_2585	JILA CENTRAL	PUNO	NP	NP	NP	80.51	17.83	1.66	34.1	0	5.2
81	PU_A_2479	CHIRIUNO	PUNO		36	27	83.89	8.9	7.21	34.2	0.1	12.6
82	PU_A_22.02	HUANUTUYO	PUNO		18	13	62.42	23.03	14.55	33.1	0.09	5.9
83	PU_A_2214	ORURO	PUNO	NP	NP	NP	75.08	20.96	3.96	35.2	0	5.7
84	PU_A_2204	CCOPA	PUNO		26	20	64.19	20.02	15.79	33	0.11	12
85	PU_A_2211	AYMAÑA	PUNO	NP	NP	NP	73.96	25.48	0.56	34.7	0	4.4
86	PU_A_2029	CORANI	PUNO		22	14	47.28	38.14	14.58	33.6	0.1	7.1
87	PU_A_2565	ROSPATA	PUNO	NP	NP	NP	11.28	65.49	23.23	28.4	0.06	16
88	PU_A_2028	COASA	PUNO	NP	NP	NP	0	55.8	44.2	27.8	0.04	17.3
89	PU_A_2201	TANTAMACO	PUNO									
90	PU_A_2031	TAMBILLO	PUNO									
91	PU_A_2489	REP_SAN ANTON 02	PUNO	NP	NP	NP	72.33	22.79	4.88	35.4	0	5.3
92	PU_A_2030	CRUCERO	PUNO	NP	NP	NP	61.53	35.57	2.9	34.3	0	9.8
93	PU_A_2058	ANTAUTA	PUNO	NP	NP	NP	52.1	45.98	1.92	34	0	9.3
94	JU_T_0120	CHUPACA	JUNIN		20	NP	39.91	59.04	1.05	32.3	0	5.5
95	JU_T_0064	MARCO	JUNIN		51	30	0	8.31	91.69	14	0.29	22.2
96	JU_T_0077	SAN LORENZO	JUNIN		19	NP	89.96	8.18	1.86	34.6	0	4.8
97	JU_T_0079	SAUSA	JUNÍN		21	15	72.4	19.75	7.85	33.3	0.07	4
98	MQ_A_3009	ICHUÑA	MOQUEGUA		21	NP	73.72	24.88	1.4	35.2	0	6.5
99	PU_A_2119	JAYU JAYU	PUNO		21	17	0	62.8	37.2	28.8	0.1	14.1
100	PU_A_2147	HUAYRAPATA	PUNO		30	19	73.67	20.03	6.3	32.7	0.11	9.5
101	PU_A_2203	KANCHI ORCOTAQUI	PUNO		40	30	0	20.52	79.48	22.5	0.19	23
102	PU_A_2217	TAYACCUCHO	DE PUNO		22	NP	50.81	35.96	13.23	0.05	33.8	4.9
103	PU_A_2375	SAN JUAN DE CHUQUIBAMBILLO	PUNO		29	19	0	6.21	93.79	14.4	0.29	33
104	PU_T_0101	SAN JUAN DEL ORO	PUNO		33	21	0	50.23	49.77	28.2	0.12	12.9
105	PU_T_0105	PUTINA PUNCO	PUNO		36	22	15.83	29.19	54.98	15.7	0.27	20.3
106	PU_T_0038	OLLACHEA	PUNO		24	NP	51.49	36.06	12.45	34.2	0.04	6.5
107	JU_T_0079	SAUSA	DE JUNÍN		21	15	72.4	19.75	7.85	33.3	0.07	4
108	JU_T_0099	TARMA	JUNÍN		28	21	29.37	29.3	29.3	32.5	0.12	16.3
109	MQ_A_3020	SAMEGUA	MOQUEGUA		23	23	63.68	31.75	4.57	34.4	0	4.1
110	PU_T_0047	HUACANI	PUNO		21	NP	17.41	43.67	38.92	28.1	0.09	24.8
111	PU_A_2580	POCCONA 25 DE JULIO	PUNO		30	24	38.45	55.17	6.38	32.8	0.09	9.9
112	PU_A_2197	MERCEDES	PUNO		28	22	0	71.92	28.08	28.5	0.1	9.7
113	PU_A_2205	KANA	PUNO		42	33	16.5	47.55	35.95	30.2	0.09	35.1
114	PU_A_2215	ITUATA	PUNO		24	20	80.78	11.1	8.12	34.6	0.08	9
115	PU_A_2457	QUICHO	PUNO									
116	PU_A_2494	REP_LANLACUNI BAJO 03	PUNO									
117	PU_A_2539	VILLA HERMOSA DE CAÑICUTO	PUNO									
118	PU_A_2077	QUIACA	PUNO		28	NP	0	72.63	27.37	30.4	0.05	16.4
119	PU_A_2149	TACASAYA	PUNO		21	NP	0	91.61	8.39	25.6	0.05	21.9
120	PU_T_0042	DESAGUADERO	PUNO		28	24	31.86	34.61	33.53			28.8
121	TA_T_0015	ALTO CAMILACA	TACNA		19	NP	0	93.53	6.47	29	0	3
122	PU_A_2005	CHUCUITO	PUNO	NP	NP	NP	41.14	36.97	21.89	33.4	0.05	13.3
123	PU_A_2133	HUILASIPE	PUNO									
124	PU_A_2397	ESQUEN TARIACHI CHAUPICACA	PUNO		41	24	0	17.1	82.9	14.6	0.29	44.1
125	PU_A_2063	CONIMA	PUNO									
126	PU_A_2074	LIMBANI	PUNO		22	NP	25.2	47.16	27.64	30.8	0.05	10.7
127	PU_A_2474	QQUEPA	PUNO		20	NP	38.78	60.19	1.03	32.4	0	8.8
128	PU_A_2592	AYPATI	PUNO		33	22	14.08	23.69	62.23	15.5	0.27	15.2
129	MQ_A_3025	ATASPAYA	MOQUEGUA		28	17	29.22	54.06	16.72	28.3	0.1	14
130	PU_A_2048	ROSPATA	PUNO		26	16	0	58.65	41.35	28.3	0.14	10.3
131	PU_A_2064	HUAYRAPATA	PUNO		22	16	0	58.14	41.86	29.2	0.13	10.1
132	PU_A_2146	SAN JOSE DE PUCANI	PUNO									
133	PU_A_2360	COLQUE	PUNO		20	NP	3.48	77.41	19.11	28.3	0.04	8.6
134	PU_A_2415	QUIQUIRA	PUNO		35	17	0	59.92	40.08	29.9	0.12	14.8
135	PU_T_0097	PATAMBUCO	PUNO		25	16	39.61	39.61	40.41	33.4	0.09	18.2
136	PU_T_0099	QUIACA	PUNO		30	NP	0	40.48	59.52	22.6	0.17	14.9
137	TA_A_4053	PAMPA BAJA	TACNA		21	NP	69.24	28.3	2.46	34.6	0	2.8
138	TA_A_4062	PESCADORES SANTA ROSA	TACNA		33	27	0	29.64	70.36	22.7	0.18	33.6
139	JU_A_1340	MISQUIPATA	JUNÍN									
140	U_A_1014	ACO	JUNÍN		23	NP	50.48	29.89	19.63	33.7	0.07	18.3
141	JU_A_1025	SANTA ROSA	JUNÍN		27	14	71.72	23.01	5.27	33.5	0.11	11.2
142	JU_A_1077	HUAMANCACA CHICO	JUNÍN		34	19	0	16.61	83.39	14.6	0.28	11.1
143	U_A_1092	NUOVO MOROCOCHA	JUNÍN		22	NP	44.89	36.84	18.27	32.3	0.05	15.5
144	JU_A_1334	PUMPUNYA	JUNÍN		27	NP	67.83	24.93	7.24	34	0.05	5.8
145	JU_A_1360	CRUZ PAMPA	JUNÍN		60	26	40.57	13.29	46.14	32	0.16	22.4
146	MQ_T_0003	TITIRE	MOQUEGUA		25	NP	2.77	49.83	47.4	29.1	0.08	43.3
147	PU_A_2026	AJOYANI	PUNO		21	15	75.69	20.35	3.96	34.9	0.07	4.6
148	PU_A_2045	HUATASANI	PUNO		26	21	0	3.1	96.9	12.7	0.29	21.5
149	PU_A_2067	AYRAMPUNI	PUNO		32	17	41.43	47.69	10.88	33.1	0.13	27.8
150	PU_A_2068	QUILCAPUNCU	PUNO		18	NP	62.23	34.55	3.22	35.5	0	4.8
151	PU_A_2085	SAN JUAN DE CUTURAPI	PUNO		21	NP	59.54	23.03	17.43	34	0.05	20.5
152	PU_A_2144	LUQUINA CHICO	PUNO		29	21	0	45.15	54.85	13.7	0.28	9.9
153	PU_A_2157	HUARIJUYO	PUNO		21	NP	71.82	24.11	4.07	34.9	0	9.6
154	PU_A_2166	SANTA ANA	PUNO		32	18	0	11.37	88.63	14.6	0.27	28.1

ANEXO 4
BASE DE DATOS ELABORADA PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA
RNA

Tabla 18: Base de datos procesada para el entrenamiento de la RNA.

Fuente: Elaboración propia

LL(limite líquido)	LP (Limite plástico)	IP(Indice de plasticidad)	%Arenas	%Finos	%Humedad	Ø (Ángulo de fricción)	C (Cohesión en Kg/cm2)
26.8	21.4	5.4	26.58	16.52	16.63	27.42	0.17
19.7	0	19.7	63.47	36.22	18.89	30.36	0.05
100	0	100	50.09	4.92	3.45	31.86	0.15
100	0	100	27	1.3	1	35	0
100	0	100	83.48	16.52	3.08	29.21	0
29.3	17.41	11.89	28.07	66.48	6.56	20.68	0.15
24.8	15.82	8.98	23.8	9.77	6.56	30.09	0.15
100	0	100	52.42	18.37	3.51	32.71	0.08
100	0	100	35.5	28.8	9.1	33.9	0.04
41.6	22.95	18.65	39.66	11.59	8.15	31.15	0.15
42.3	29.66	12.64	27.62	17.94	18.43	30.67	0.12
22	15.4	6.6	32.93	59.66	4.38	25.89	0.27
100	0	100	12.6	7.2	12.6	15.3	0.25
31	20	11	19.8	10.5	6.8	33.6	0.07
100	0	100	71.14	19.5	4.32	29.73	0.09
100	0	100	70.05	29.48	9.58	30.52	0.05
100	0	100	54.1	15.3	3.3	30.5	0.4
100	0	100	10.7	0.9	3	35.1	0
100	0	100	19.7	7.7	10.1	34	0.04
100	0	100	19.7	7.7	11.1	34	0.04
25.4	22.9	2.5	30.18	61.86	16.56	25.68	0.12
38.2	25.05	13.15	9.4	16.91	10.84	30.26	0.17
26.4	21.74	4.66	35.24	46.17	10.53	31.59	0.2
100	0	100	44.3	1.72	2.26	30.67	0.1
100	0	100	36.5	9.79	2.98	34.48	0.18
100	0	100	46.49	21.08	4.89	29.24	0.12
100	0	100	58.56	2.28	1.86	30.74	0
100	0	100	41.78	12.38	5.64	30.95	0.1
100	0	100	69.15	17.26	2.98	25.84	0.09
29	23	6	37.6	11.6	14.9	33.2	0.05
100	0	100	67.46	17.32	4.88	31.12	0.12
100	0	100	24.07	29.7	2.92	30.36	0.1
100	0	100	20.69	14.32	8.6	30.28	0.1
31.3	18.66	12.64	31.22	45.65	3.49	30.08	0.09
31.3	18.66	12.64	31.22	45.65	3.49	30.08	0.09
100	0	100	10.7	0.9	3	35.1	0
34.2	16.64	17.56	38.54	38.28	4.73	28.99	0.1
100	0	100	16.5	12.5	8.7	34.8	0
37.2	25.3	11.9	39.25	33.44	3.49	29.16	0.15
18.4	0	18.4	61.01	22.14	8.91	30.84	0.12
18.4	0	18.4	42.49	23.08	4.32	31.26	0.1

100	0	100	87.1	10.4	7.3	28.9	0.06
100	0	100	44.4	5.9	3.1	35.1	0
36	18	18	3.3	9.5	4.2	33.2	0.1
100	0	100	46.4	7.9	3.3	30.1	0.04
100	0	100	20.1	1.2	1.3	35.7	0
100	0	100	74.3	25.7	16	31.5	0
100	0	100	21.5	2.8	7	35.5	0
100	0	100	31.8	6.4	2	35.3	0
100	0	100	20.8	12.1	10.2	32.6	0.05
100	0	100	18.3	0.5	1.5	35.2	0
30	15	15	40	47.2	11.6	29.1	0.1
100	0	100	53	23	3.5	31.1	0.06
100	0	100	94.5	5.5	6.2	28.1	0.05
100	0	100	24.7	16.3	5.7	35.1	0
38	22	16	24.5	11.3	10.6	32.5	0.1
38	22	16	24.5	11.3	11.6	32.5	0.1
38	18	20	45.5	54.5	23.7	14.8	0.26
100	0	100	44.8	32.1	7.7	30.7	0
100	0	100	20.7	2.9	2.9	35.8	0
100	0	100	66.7	20.8	6.3	31.1	0.05
100	0	100	20.7	2.9	2.9	35.4	0
100	0	100	60.8	0.3	6.9	33	0
100	0	100	53.5	13.4	14.4	30.6	0.05
100	0	100	4.3	0.6	3.9	35.6	0
100	0	100	74.6	25.4	3.4	28.7	0.05
100	0	100	28.8	7.2	1.9	35.5	0
100	0	100	45.7	7.2	1	35	0
100	0	100	29.3	2.6	1	35.3	0
100	0	100	39.4	7.8	3.4	34.5	0
26	16	10	18.1	81.9	18.7	14.1	0.27
100	0	100	32.3	5.7	8.2	34.5	0
25	15	10	48	52	34.1	14.9	0.27
100	0	100	22	7.2	25.9	34.9	0
38	25	13	26.6	73.4	20	14.5	0.27
22	14	8	56.2	43.8	28.8	28	0.08
100	0	100	15.6	3.3	5.5	35.2	0
34	17	17	56.8	24.4	4.4	32	0.1
52	28	24	37.8	62.2	50.5	14	0.29
100	0	100	69.1	30.9	14.1	28.3	0.05
100	0	100	75.1	24.9	7.8	28.6	0.05
28	16	12	51.1	48.8	11.4	28.2	0.1
100	0	100	34.6	58.5	38.2	22.2	0.18
25	15	10	48	52	34.1	14.9	0.27
100	0	100	20.7	4.4	4.4	35.1	0
100	0	100	69	0.7	5.1	30.9	0
79	33	46	20	80	46.6	14	0.28
38	25	13	26.6	73.4	20	14.5	0.27
100	0	100	9.8	90.2	14.9	22.6	0.18
41	25	16	9.4	90.6	28	14.6	0.27
28	18	10	19	10.7	8.7	32.7	0.09
72	35	37	2.3	97.7	64.5	14.3	0.28
42	21	21	5.9	92.2	23.6	14.5	0.28
100	0	100	23.3	6.1	8.9	34.9	0
24	15	9	38.5	6.5	5.2	33.4	0.09
100	0	100	59.5	20.8	7.2	30.2	0.05
100	0	100	24.5	16.5	7.2	33.4	0.05
100	0	100	42.6	12.5	13.2	33.3	0.05
100	0	100	96.4	3.6	1.1	29.7	0

100	0	100	23.7	42.7	25.1	33.1	0.05
100	0	100	77.9	22.1	3.5	28.8	0.04
100	0	100	96	4	3.2	29.9	0
100	0	100	42.8	21.5	1.7	30.3	0.04
100	0	100	77.1	22.9	11	29.9	0.05
100	0	100	25.8	1.4	1.2	35	0
100	0	100	34	1.9	3.3	35.3	0
100	0	100	13.8	3	7.1	34.7	0
30	15	15	31.4	22.4	15.3	33	0.1
100	0	100	75.5	19.3	6.2	28.6	0.05
100	0	100	48.2	36.8	29.4	27	0.04
100	0	100	31.8	7.3	14.1	33.5	0.04
31	21	10	34.4	54.2	39	15.7	0.26
100	0	100	23.6	2.8	4.5	34.5	0
100	0	100	19.1	34.1	27.1	33.5	0.06
33	21	12	10.3	89.7	14.1	14.9	0.27
100	0	100	49	51	30	22.1	0.18
100	0	100	26.7	37.6	12.1	33.3	0.05
100	0	100	44	12	17	30.5	0.05
100	0	100	38.1	61.9	8.3	22.4	0.17
100	0	100	75.1	24.9	16.4	28.6	0.05
47	22	25	57.8	42.2	15.3	27.2	0.13
100	0	100	54.1	1.2	7.4	30.5	0
100	0	100	36.8	3.7	1.4	34.8	0
100	0	100	92.98	7.02	16.1	28.1	0.05
46	27	19	12.32	87.68	40.9	21.6	0.18
50	24	26	20.75	25.85	20.6	32.3	0.15
22	14	8	38.27	61.73	29.6	14.7	0.27
100	0	100	47.72	52.28	16.9	22.6	0.18
31	21	10	13.8	86.2	30.9	14	0.27
31	22	9	36.56	63.44	28.2	14.4	0.27
100	0	100	38.81	17.52	8.4	33.8	0.05
25	18	7	18.68	3.45	8.5	33.3	0.07
100	0	100	17.83	1.66	5.2	34.1	0
36	27	9	8.9	7.21	12.6	34.2	0.1
18	13	5	23.03	14.55	5.9	33.1	0.09
100	0	100	20.96	3.96	5.7	35.2	0
26	20	6	20.02	15.79	12	33	0.11
100	0	100	25.48	0.56	4.4	34.7	0
22	14	8	38.14	14.58	7.1	33.6	0.1
100	0	100	65.49	23.23	16	28.4	0.06
100	0	100	55.8	44.2	17.3	27.8	0.04
100	0	100	22.79	4.88	5.3	35.4	0
100	0	100	35.57	2.9	9.8	34.3	0
100	0	100	45.98	1.92	9.3	34	0
20	0	20	59.04	1.05	5.5	32.3	0
51	30	21	8.31	91.69	22.2	14	0.29
19	0	19	8.18	1.86	4.8	34.6	0
25	14	11	23.7	15.5	5.12	25.8	0.25
100	0	100	79.6	8.7	7.34	33	0.06
0	0	0	71.2	18.8	1.12	29.3	0
0	0	0	58.8	2.7	1	31.5	0
100	0	100	5.9	7.7	3.06	38	3.36
47	27	20	34.9	65.1	26.67	24.1	0.24
19	13	6	16.9	30.5	11.16	36	0
24	15	9	36.7	24.4	9.56	21.5	0.24
19	11	8	33.7	26.5	4.37	29.3	0.05
17	14	3	17.4	6.7	4.06	41	0

100	0	100	83.7	16.3	5.27	29.92	0
20	17	3	57.2	40	11.16	30.7	0.06
0	0	0	94.6	5.4	3.31	32.7	0
18	15	3	86.6	13.4	9.42	32.5	0.33
0	0	0	90.5	9.5	4.95	33.6	0
37	25	12	37.5	15.3	4	45	4.08
29	20	9	34.6	65.4	18.4	26	0.22
100	0	100	26.2	1	0.8	30.4	0
100	0	100	36.4	0.7	1.7	30.4	0
100	0	100	98.5	1.5	1.81	32.5	0
100	0	100	92.7	7.3	14.7	29.9	0
100	0	100	60.9	7.3	3.5	32.4	0
30.6	22.63	7.97	68.4	23.4	13	20.9	0.23
100	0	100	99.7	0.3	1.9	30	0
100	0	100	76.3	23.7	4.18	30	0.06
100	0	100	97.6	2.4	3.1	30.1	0.0032
30	19	11	5.7	15.6	26.91	26.6	0.35
53	30	23	19.5	79.5	36.07	6.3	0.59
28	15	13	9.9	2.4	4.37	34.8	0.05
25	19	6	31.3	68.7	28.29	15.3	0.18
100	0	100	49.42	7.34	19.2	34.48	0.04
100	0	100	62.49	28.48	7.43	34.88	0.06
18	13	5	72.5	26.9	1.38	32.4	0.04
21	14	7	26.9	11.4	38.46	34.6	0.08
36	21	15	38.5	30	7.86	31.5	0.04
32	20	12	29.6	13.8	12.18	25.1	0.11
33.21	22.47	10.74	41.77	45.45	15.14	31.08	0.09
36	20	16	9.3	25.1	7.09	33.8	2.94
45	19	26	33.6	63.6	11.2	17.4	0.36
45	21	24	31.1	68.9	22.42	24.7	0.3
57	33	24	21.7	78.05	35.6	0	0.44
30	16	14	28.3	71.7	20.66	0	0.67
51	41	10	10.3	89.7	57.15	7.8	0.35
23	17	6	26.5	4.3	5.3	39.9	0
29.9	2.7	27.2	32.5	64.8	29.1	26.89	0.261
34	23	11	34.7	65.3	20.46	8.7	0.31
42	20	22	9.1	90.9	56.7	15.1	0.24
100	0	100	88.19	11.72	1.82	28.37	0.0599
100	0	100	31.3	64.8	16.4	20.3	0.204
26	15	11	38.1	61.9	12.9	31.3	0.25
15	8	7	89.2	10.8	2.49	30.8	0.07
100	0	100	38.12	2.34	4.69	35.5	0.06
33	18	15	43.3	56.7	47.62	30	0.01
20.32	0	20.32	13.77	5.27	1.04	37.85	0.18
35	21	14	12.2	87.8	17.08	11.3	0.33
100	0	100	14	12.2	2.74	33.6	0.04
100	0	100	29.5	4.8	2.04	33	0.00
100	0	100	62.9	37.1	13.31	34	0.00
100	0	100	42.9	3.5	2.88	31.5	0.00
24	20	4	73.1	26.9	9.87	30	0.06
100	0	100	22.8	28	1.94	34.2	0.00
19	16	3	49.8	11.5	2.84	34	0.06
28	22	6	8.4	9	2.18	35	2.96
100	0	100	96.6	3.4	3.18	32.2	0.00
32	15	17	34.9	60.8	16.42	20.2	0.18
36.83	23.06	13.77	8.87	19.64	11.04	30.84	0.21
100	0	100	83	17	5.1	32	0

ANEXO 5
ELABORACION DE BASE DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
LA CAPACIDAD DE GENERALIZACIÓN DE LA RNA

Tabla 19: Relación de nuevos nodos para determinar la capacidad de generalización. Fuente: Elaboración propia

LL(limite líquido)	LP (Limite plástico)	IP(Indice de plasticidad)	%Arenas	%Finos	%Humedad	∅ (Ángulo de fricción)	C (Cohesión en Kg/cm ²)
18	0	18	34.55	3.22	4.8	35.5	0
22	0	22	28.37	11.07	7.1	35.3	0
21	0	21	24.88	1.4	6.5	35.2	0
19	0	19	37.91	1.77	0.9	34.9	0
21	0	21	28.3	2.46	2.8	34.6	0
19	0	19	29.06	1.79	6	34.5	0
23	0	23	31.75	4.57	4.1	34.4	0
20	0	20	29.24	3.82	4.4	34.4	0
24	0	24	36.06	12.45	6.5	34.2	0.04
22	0	22	35.96	13.23	4.9	33.8	0.05
100	0	100	36.97	21.89	13.3	33.4	0.05
25	16	9	19.98	40.41	18.2	33.4	0.09
21	15	6	19.75	7.85	4	33.3	0.07
32	17	15	47.69	10.88	27.8	33.1	0.13
30	19	11	20.03	6.3	9.5	32.7	0.11
28	21	7	29.3	41.33	16.3	32.5	0.12
22	0	22	60.19	1.03	8.8	32.4	0
22	0	22	47.16	27.64	10.7	30.8	0.05
28	0	28	72.63	27.37	16.4	30.4	0.05
35	17	18	59.92	40.08	14.8	29.9	0.12
22	16	6	58.14	41.86	10.1	29.2	0.13
25	0	25	49.83	47.4	43.3	29.1	0.08
19	0	19	93.53	6.47	3	29	0
21	17	4	62.8	37.2	14.1	28.8	0.1
26.7	21.4	5.3	52.8	33.5	8.5	28.7	0.04
28	17	11	54.06	16.72	14	28.3	0.1
20	0	20	77.41	19.11	8.6	28.3	0.04
26	16	10	58.65	41.35	10.3	28.3	0.14
33	21	12	50.23	49.77	12.9	28.2	0.12
21	0	21	43.67	38.92	24.8	28.1	0.09
100	0	100	93.5	5.9	9.2	27.9	0

35.6	24.1	11.5	32.3	20	10.3	27.8	0.06
37.6	22.5	15.1	28.5	14.7	19.97	27.7	0.06
27.9	21.6	6.3	35.9	54.3	7.35	27.3	0.01
27.7	21.8	5.9	18.2	78.4	6.72	27.2	0.03
27.1	21.6	5.5	20.5	76.8	7.04	26.8	0.02
100	0	100	100	0	9.2	26.7	0
100	0	100	72.8	27.2	24.06	26	0.01
21	0	21	91.61	8.39	21.9	25.6	0.05
26.8	22.3	4.5	45.3	42.5	11.1	24.6	0.03
26.7	22.1	4.6	38.8	61	8.22	24.2	0.03
33.7	22.8	10.9	35.4	57.5	13.1	23.3	0.08
24	0	24	32.76	67.24	36.2	22.8	0.18
33	27	6	29.64	70.36	33.6	22.7	0.18
30	0	30	40.48	59.52	14.9	22.6	0.17
40	30	10	20.52	79.48	23	22.5	0.19
24	0	24	48.86	51.14	28.5	22.4	0.18
28.6	13.6	15	78.9	21.1	26.3	21.7	0
50.4	30.4	20	11.2	88.6	25.8	20.2	0.15
51.2	30.2	21	2.8	97.2	33.6	18.8	0.14
36	22	14	29.19	54.98	20.3	15.7	0.27
33	22	11	23.69	62.23	15.2	15.5	0.27
42	29	13	10.37	89.63	39.1	15.5	0.26
41	24	17	17.1	82.9	44.1	14.6	0.29
34	17	17	25.52	72.08	21.3	14.5	0.29
29	19	10	6.21	93.79	33	14.4	0.29
39	18	21	24.26	75.74	10.7	14.1	0.28
29	21	8	45.15	54.85	9.9	13.7	0.28
53	30	23	1.8	98.2	41.7	13.3	0.3

ANEXO 6

CREACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA Y ARCHIVO EJECUTABLE DE LA RNA EN MATLAB

Creación de la interfaz Gráfica en App Designer de Matlab

Luego de generar las neuronas características de cada grupo de la base de datos, se procedió a diseñar la interfaz gráfica del programa, ingresando el texto *appdesigner* en la línea de comandos de Matlab. Mostrándonos la siguiente ventana:

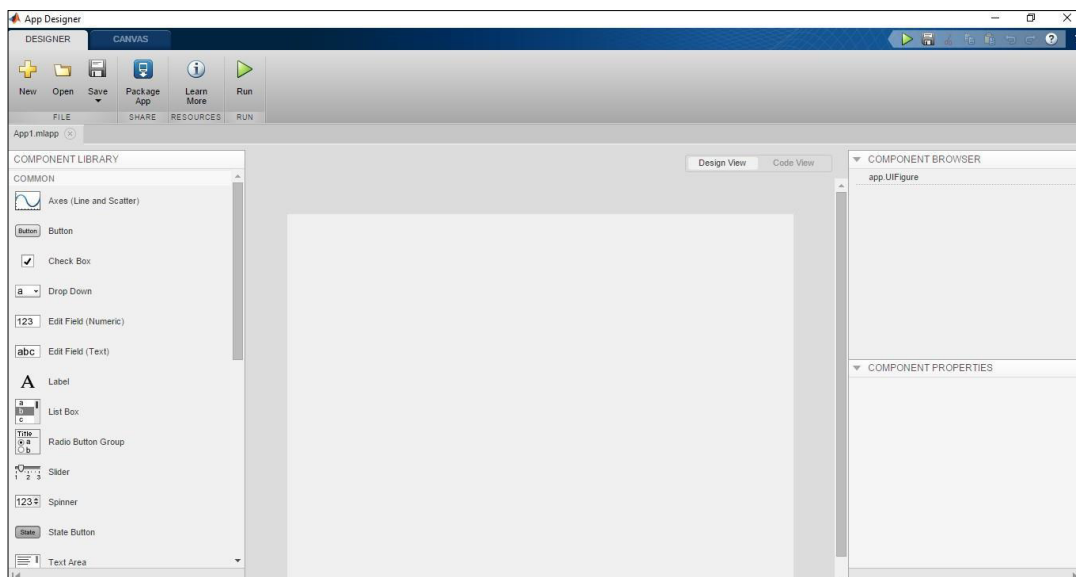


Figure 13: Ventana de App Designer de Matlab. Fuente: Tomado del Software Matlab.

Iniciamos el diseño de la interfaz gráfica jalando los elementos que usaremos de la biblioteca de componentes. Configuraremos cada componente y agregaremos algunas sugerencias para el correcto uso de la interfaz gráfica, así como también informando los límites de los resultados brindados por la RNA.

La interfaz gráfica quedó de la siguiente forma:

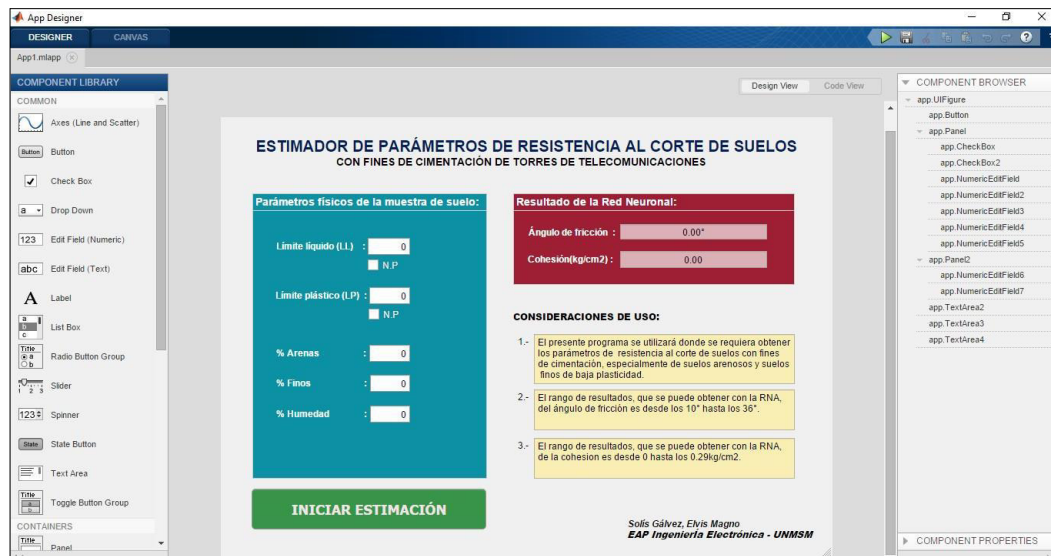


Figure 14: Interfaz gráfica de la solución tecnológica en App Designer de Matlab. Fuente: Tomado del Software Matlab.

Como se puede observar en el lado derecho se muestran todos los componentes que estamos usando en la interfaz gráfica y que procedemos a configurar en la pestaña *Code View*.

Como se puede apreciar en la imagen anterior tenemos 5 *Edit Field(numeric)* de ingreso de datos de tipo numérico, también 2 componentes de tipo *Check Box* los cuales los programaremos en la función del componente *Button*.

Ingresamos a la pestaña *Code View*, nos dirigimos a la función del *Button* y escribimos el siguiente código:

```
function ESTIMA_RESULTADOS (app)
    if app.CheckBox.Value==1           %Si se presiona el Check box
                                        entonces indicará que el límite
                                        líquido es "NP" (No plástico)
                                        % "100" indicará "NP".
        x(1,1)=100;
    else
        app.NumericEditField.Enable='on';
        x(1,1)=app.NumericEditField.Value;
    end
    if app.CheckBox2.Value==1         %Si se presiona el Check box
                                        entonces indicará que el límite
                                        plástico es "NP" (No plástico)
                                        % "0" indicará "NP".
        x(1,2)=0;
```

```

else
    app.NumericEditField2.Enable='on';
    x(1,2)=app.NumericEditField2.Value;
end

x(1,3)=x(1,1)-x(1,2);           %Índice de plasticidad
x(1,4)=app.NumericEditField3.Value; % "Arenas(%)"
x(1,5)=app.NumericEditField4.Value; % "Finos(%)"
x(1,6)=app.NumericEditField5.Value; % Contenido de Humedad(%)

if (norm(x)~=0)                % Aseguramos ingreso de
                                % datos numéricos positivos
load('neuronas.mat')          % Llamamos al conjunto de
neuronas
%Normalización de patron de entrada
xn=zeros(size(x));
xn=x/norm(x);                  % xn= Patron normalizado   módulo =
"1"
%Producto matricial para determinar que neurona se activará
[v,p]=max(xn*w);               %"v" indica el valor máximo y "p" indica la
                                %neurona más activa ante ese patrón de
                                %entrada %xn
if p<=cw1,                      % cw(m) indica el número de neuronas del
Grupo m
    Gwin=G1;
elseif p<=cw1+cw2,
    Gwin=G2;
elseif p<=cw1+cw2+cw3;
    Gwin=G3;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4,
    Gwin=G4;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5;
    Gwin=G5;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6,
    Gwin=G6;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7;
    Gwin=G7;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8;
    Gwin=G8;
elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8+cw9;
    Gwin=G9;

```

```

elseif p<=cw1+cw2+cw3+cw4+cw5+cw6+cw7+cw8+cw9+cw10;
    Gwin=G10;
else
    Gwin=G11;
end
ANG_FRIC=sum(Gwin(:,7))/length(Gwin(:,7)) %ángulo de fricción
Cohesion=sum(Gwin(:,8))/length(Gwin(:,8)) %cohesion
app.NumericEditField6.Value=ANG_FRIC;
app.NumericEditField7.Value=Cohesion;

else
    app.NumericEditField6.Value=0;           % resultado en 0 para
                                            datos %erróneos
    app.NumericEditField7.Value=0;         % resultado en 0 para
                                            datos %erróneos
end
end
end

```

El conjunto de neuronas que forman la RNA se llamó en el código anterior con *load* el archivo “neuronas.mat”, el cual contiene a todas las neuronas con sus pesos sinápticos. Lo que se realiza internamente es el producto matricial del patrón de entrada normalizado con la matriz de neuronas, identificándose posteriormente que neurona es la más activa, es decir, que neurona se encuentra más cercana al patrón de entrada. Una vez que se logre identificar a la neurona, esta tendrá una salida el cual será el ángulo de fricción y cohesión estimados por la RNA.

Creación del ejecutable de la RNA en Matlab.

Se creó el ejecutable con ayuda de la herramienta “*Application Compiler*” de la sección de APPS del Software Matlab. Se presenta el proceso de creación del ejecutable.

Ingresamos a *Application Compiler* y se nos mostrara la siguiente imagen:

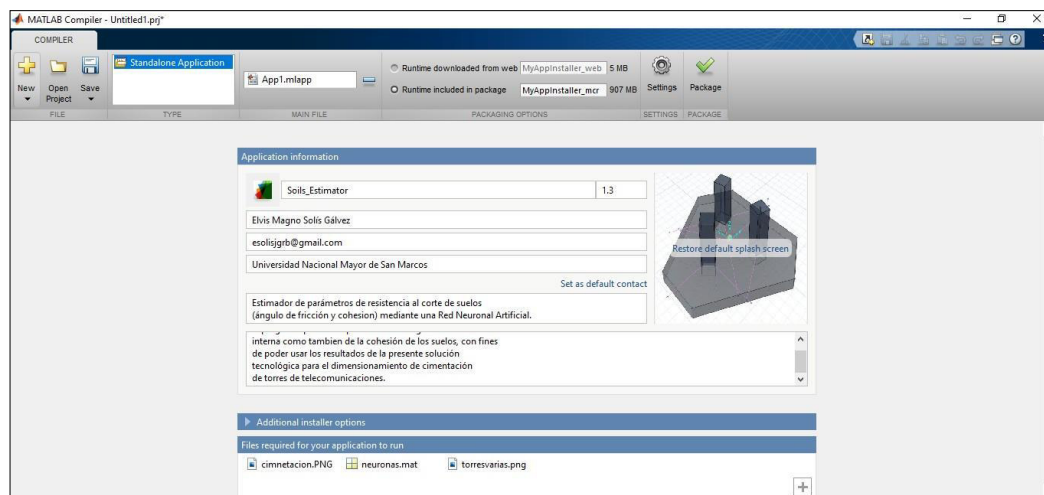


Figure 15: Interfaz de Application Compiler de Matlab. Fuente: Tomado del Software Matlab.

Aquí ingresamos el nombre de nuestro ejecutable así como también la versión de la actualización; Seguidamente ingresamos el nombre del Autor, el correo y la compañía o en este caso Universidad, luego de ello colocaremos un resumen de lo que realizara el ejecutable. En el lado derecho elegimos una imagen, la cual se nos presentara al ejecutar el programa. En la parte inferior vemos archivos de los cuales tenemos que estar seguros principalmente de agregar el archivo “neuronas.mat” ya que este almacena a las neuronas entrenadas de la RNA diseñada.

Una vez terminado de realizar el proceso anterior, le damos en *Package* y esperamos que termine de compilar hasta que aparezca la siguiente imagen:

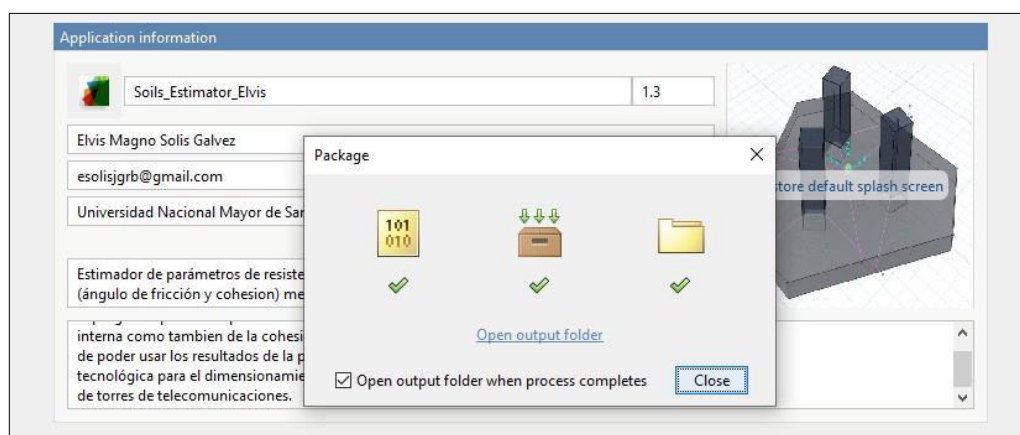


Figure 16: Finalización de compilación. Fuente: Tomado del Software Matlab.

Finalizado el proceso anterior se nos crearan las siguientes carpetas:

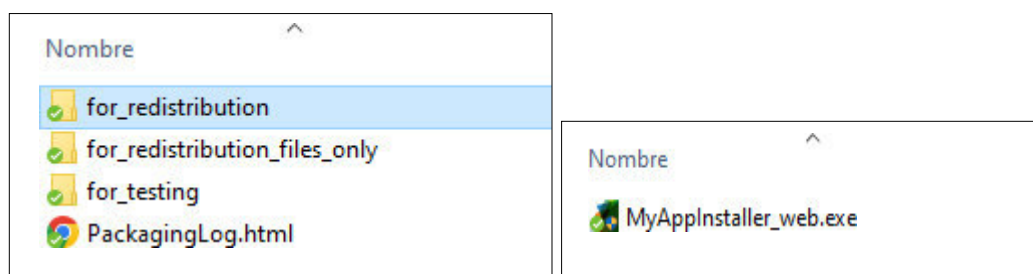


Figure 17: Carpetas creadas e instalador del Programa diseñado. Fuente: Tomado del Software Matlab.

Ingresamos a *for_redistribution* y ejecutamos el archivo *MyAppInstaller_mcr.exe* interno. Se nos abrirá un proceso de instalación como se aprecia en el anexo 7.

Hemos creado exitosamente el instalador del ejecutable de la presente solución tecnológica en el software Matlab listo para usarlo por las empresas que brindan servicios de diseño de infraestructura al sector de las telecomunicaciones.

ANEXO 7

INSTALACIÓN DEL ARCHIVO EJECUTABLE DE LA RNA EN LA COMPUTADORA

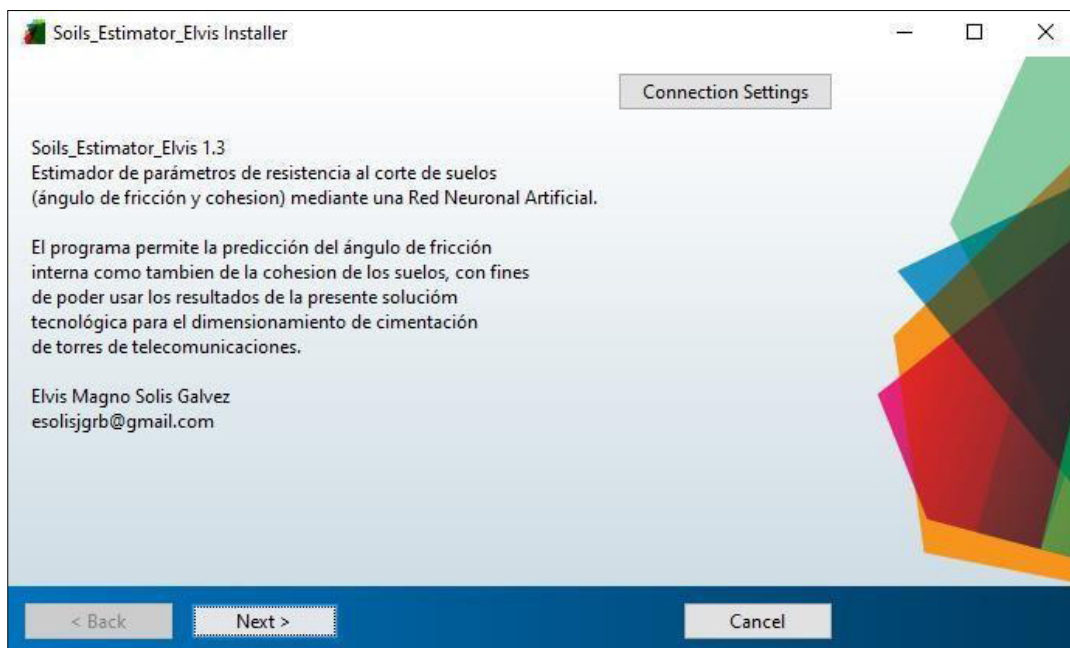


Figure 18: Ejecución de instalación de la solución tecnológica. Fuente: Tomado del Software Matlab.

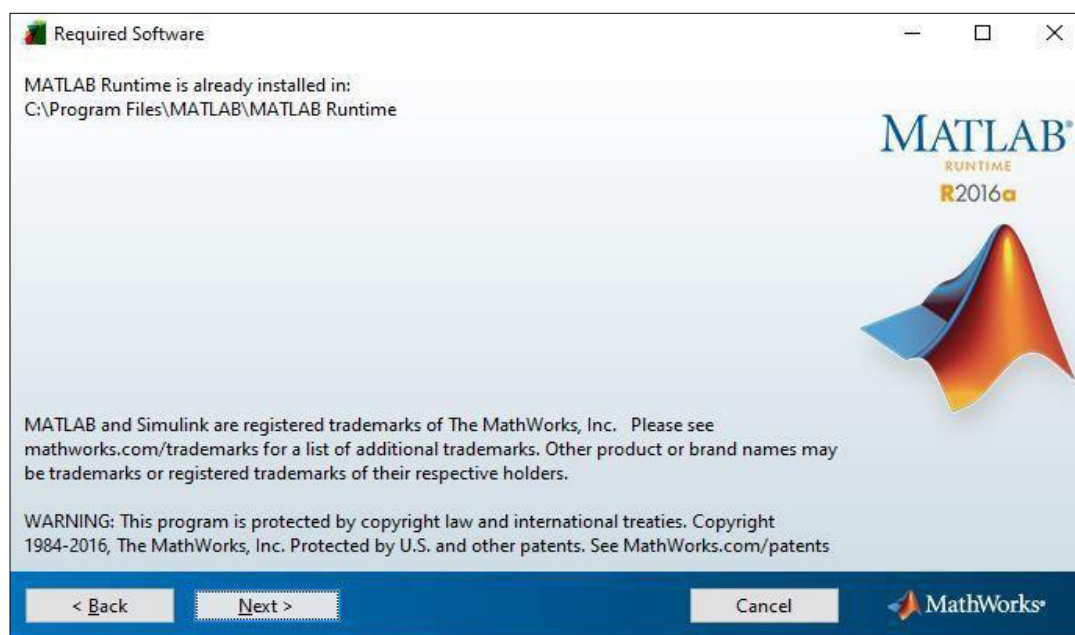


Figure 19: Inicia instalación de solución tecnológica. Fuente: Tomado del Software Matlab.

Confirmamos y le damos a instalar:

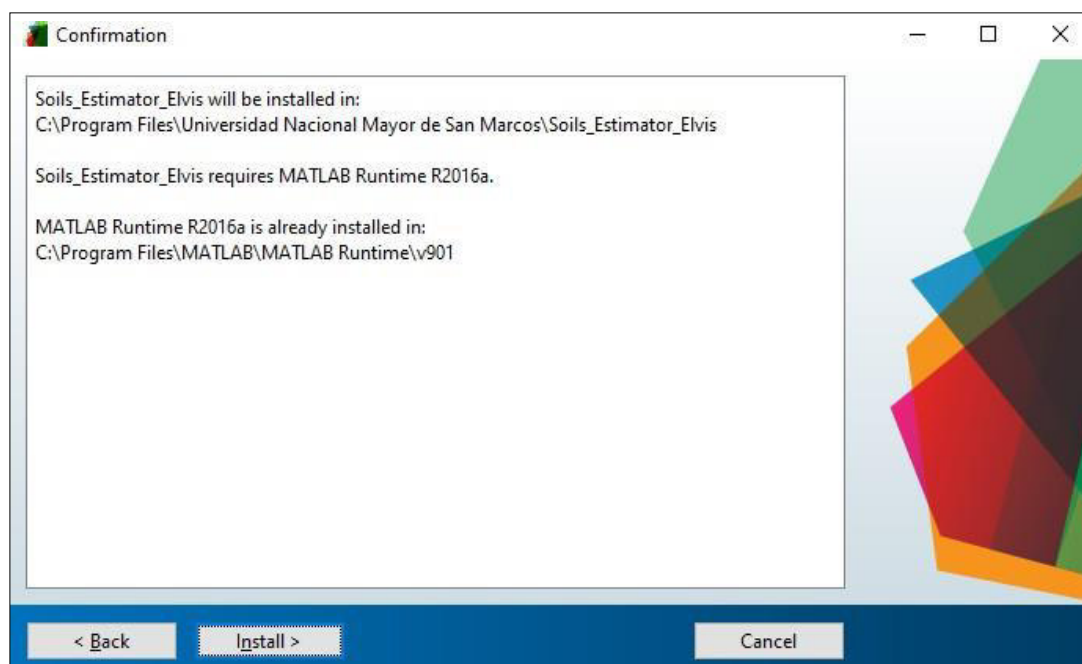


Figure 20: Confirmación de ubicación de instalación. Fuente: Tomado del Software Matlab.

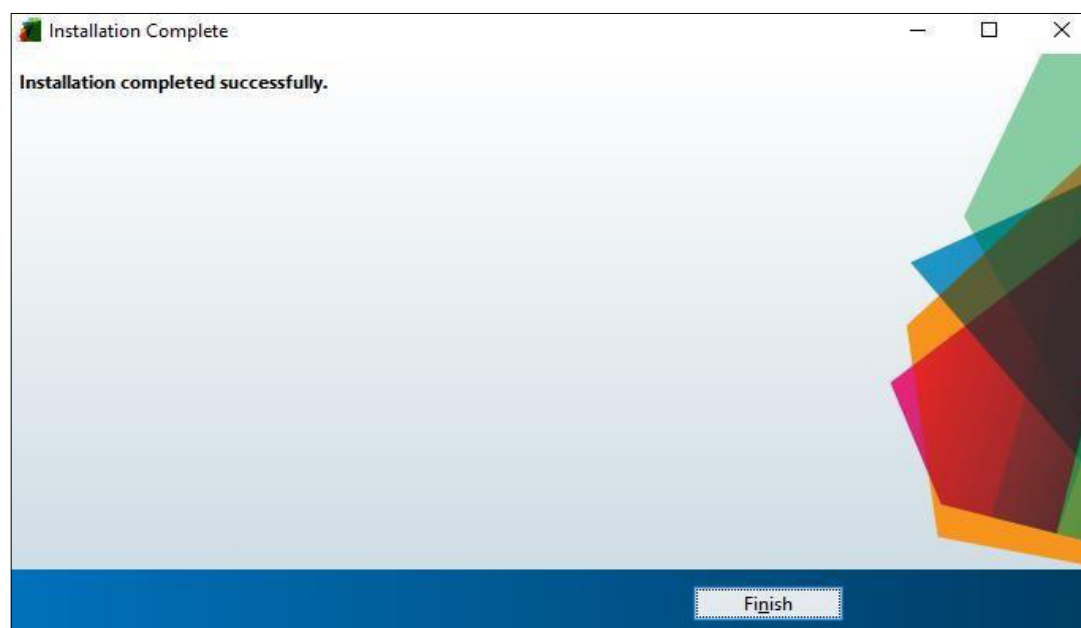


Figure 21: Instalación completada exitosamente. Fuente: Tomado del Software Matlab.

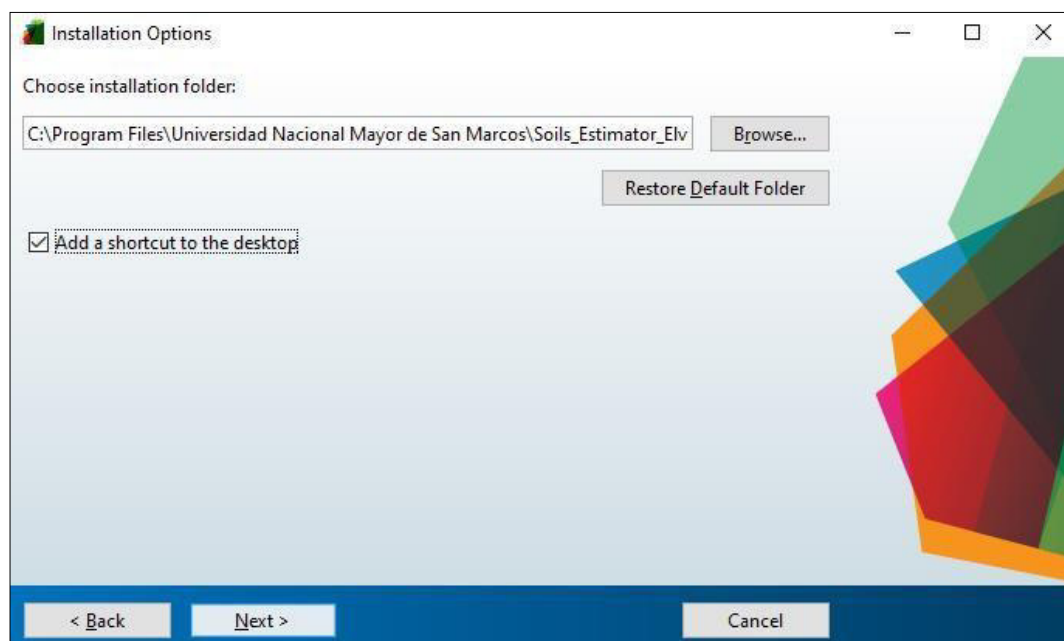


Figure 22: Creación de acceso directo en el escritorio. Fuente: Tomado del Software Matlab.

Finalmente, el programa se mostrará como la figura siguiente:

SoilsEstimatorv1.3

ESTIMADOR DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES

Parámetros físicos de la muestra de suelo:

Límite líquido (LL) :
 N.P

Límite plástico (LP) :
 N.P

% Arenas :

% Finos :

% Humedad :

INICIAR ESTIMACIÓN

Resultado de la Red Neuronal:

Ángulo de fricción :

Cohesión(kg/cm²) :

CONSIDERACIONES DE USO:

- 1.- El presente programa se utilizará donde se requiera obtener los parámetros de resistencia al corte de suelos con fines de cimentación, especialmente de suelos arenosos y suelos finos de baja plasticidad.
- 2.- El rango de resultados, que se puede obtener con la RNA, del ángulo de fricción es desde los 10° hasta los 36°.
- 3.- El rango de resultados, que se puede obtener con la RNA, de la cohesión es desde 0 hasta los 0.29kg/cm².

Solis Gálvez, Elyis Magno
EAP Ingeniería Electrónica - UNMSM

Figure 23: Interfaz gráfica de la solución tecnológica. Fuente: Tomado del Software Matlab.