



**ANÁLISIS Y MODELADO DE FIBRAS NATURALES MEDIANTE EL MÉTODO DE
ELEMENTOS FINITOS (FEM) CON DESARROLLO DE APLICATIVO WEB**

ANDRES FELIPE MONTAÑA ROJAS
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
INGENIERO JUAN RICARDO PEREZ CUERVO

TUNJA- BOYACA, COLOMBIA

19/02/2023



TUNJA • Línea gratuita nacional: 01 8000 932 340 PBX; (+578) 744 0404 / www.ustatunja.edu.co / coord.admisiones@ustatunja.edu.co / Calle 19 No. 11-64
BOGOTÁ • Línea gratuita nacional: 01 8000 111180 PBX; (+571) 587 8797 / www.usta.edu.co / admisiones@usantotomas.edu.co / Carrera 9 No. 51-11
BUCARAMANGA • Línea gratuita nacional: 01 8000 917044 PBX; (+576) 680 0801 / www.ustabuca.edu.co / admisiones@mail.ustabuca.edu.co / Carrera 18 No. 9-27
MEDELLÍN • PBX: (+574) 234 1034 / www.ustamed.edu.co / admisiones@ustamed.edu.co / Carrera 82 No. 778B-27
VILLAVICENCIO • Tel.: (+578) 661 4361 / www.ustavillavicencio.edu.co / admisionesvillavo@usantotomas.edu.co / Calle 1 Vía Puerto López, Diagonal Séptima Brigada
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA (VUAD) • Tel.: (+571) 595 0000 / www.ustadistancia.edu.co / comunicación@ustadistancia.edu.co / Carrera 10 No. 72-50
Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704





**ANÁLISIS Y MODELADO DE FIBRAS NATURALES MEDIANTE EL MÉTODO DE
ELEMENTOS FINITOS (FEM) CON DESARROLLO DE APLICATIVO WEB**

ANDRES FELIPE MONTAÑA ROJAS

DIRECTOR: Ing. JUAN RICARDO PEREZ CUERVO

CODIRECTOR: Ing. DAVID GERÓNIMO SOLER GÓMEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERIA CIVIL EN
EL AREA DE GEOTECNIA**

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

TUNJA- BOYACA, COLOMBIA

19/02/2023



TUNJA • Línea gratuita nacional: 01 8000 932 340 PBX; (+578) 744 0404 / www.ustatunja.edu.co / coord.admisiones@ustatunja.edu.co / Calle 19 No. 11-64
BOGOTÁ • Línea gratuita nacional: 01 8000 111180 PBX; (+571) 587 8797 / www.usta.edu.co / admisiones@usantotomas.edu.co / Carrera 9 No. 51-11
BUCARAMANGA • Línea gratuita nacional: 01 8000 917044 PBX; (+576) 680 0801 / www.ustabuca.edu.co / admisiones@mail.ustabuca.edu.co / Carrera 18 No. 9-27
MEDELLÍN • PBX: (+574) 234 1034 / www.ustamed.edu.co / admisiones@ustamed.edu.co / Carrera 82 No. 778B-27
VILLAVICENCIO • Tel.: (+578) 661 4361 / www.ustavillavicencio.edu.co / admisionesvillavo@usantotomas.edu.co / Calle 1 Vía Puerto López, Diagonal Séptima Brigada
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA (VUAD) • Tel.: (+571) 595 0000 / www.ustadistancia.edu.co / comunicación@ustadistancia.edu.co / Carrera 10 No. 72-50
Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704





DEDICATORIA

En primer lugar, quiero expresar mi más profunda gratitud a mis padres y hermanos. Su apoyo incondicional, amor y ánimo constante han sido la piedra angular de todo lo que he logrado. Su confianza en mí ha sido el mayor motivador para alcanzar mis metas y superar todos los desafíos. Les agradezco por ser mi fuente de inspiración y por estar siempre a mi lado en todos los momentos, buenos y difíciles.

Además, deseo agradecer sinceramente a mi director, el Ing. Juan Ricardo Pérez Cuervo, y a mi codirector, el Ing. David Jerónimo Soler Gómez. La orientación, dedicación y apoyo que me han brindado durante todo el proceso de investigación han sido fundamentales. Sus valiosas sugerencias y consejos han guiado mi camino y me han permitido mejorar mi trabajo y alcanzar los objetivos planteados.

Por último, expreso mi profunda gratitud a la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, a todos los profesores y al personal administrativo que han contribuido a mi formación académica y profesional. Sus conocimientos y experiencia me han brindado habilidades y competencias valiosas para la realización de este proyecto.

Espero que mi trabajo sea de utilidad para la sociedad y pueda representar una contribución significativa al campo de la ingeniería civil.



Nota de aceptación:

DIRECTOR: Ing. JUAN RICARDO PEREZ CUERVO

CODIRECTOR: Ing. DAVID GERÓNIMO SOLER GÓMEZ

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado



TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen	13
2	Abstract.....	14
3	Introducción.....	15
4	Problema de investigación.....	16
4.1	Descripción de la problemática	16
4.2	Preguntas de investigación	17
4.3	Justificación.....	19
4.4	OBJETIVOS.....	21
5	ESTADO DEL ARTE	22
6	Materiales y métodos.....	28
6.1	Plan de trabajo	28
6.2	Análisis de malla de fique	28
6.2.1	Anisotropía de las fibras de fique	30
6.2.2	Conexiones entre fibras de fique	30
6.2.3	Interacción entre la malla de fique y otros materiales	30
6.3	Datos sobre malla y cargas.....	31
6.3.1	Propiedades mecánicas de las fibras de fique.....	31
6.3.2	Procedimiento de caracterización mecánica de la fibra	32



6.3.3	Caracterización malla de fique	33
	Cargas aplicadas.....	34
6.3.4	Condiciones ambientales y de contorno	35
6.4	Modelado tridimensional de malla.....	37
6.4.1	Software de modelado tridimensional	37
6.5	Flujo matemático.....	39
6.5.1	Modelo general.....	41
6.5.2	Análisis por el método de residuos ponderados	41
6.6	Diseño de interfaz grafica	43
6.7	Beneficios del uso de react.js	44
7	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	46
7.1	RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE FIQUE	46
7.1.1.1	Módulo de elasticidad:	47
7.1.1.2	Resistencia a la tracción	48
7.1.1.3	Deformación máxima:	49
7.1.1.1	Densidad	49
7.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA.....	51
7.3	RESULTADOS DE LABORATORIO MALLA DE FIQUE.	52
7.3.1	Contorno de la malla tejido bajo condiciones secas.....	52
7.3.2	Contorno de la malla tejido bajo condiciones húmedas	53



7.3.3	Contorno de la malla sin tejer bajo condiciones secas	53
7.3.4	Contorno de la malla sin tejer bajo condiciones húmedas	54
7.3.5	Geometría de la malla de fique.....	54
7.3.6	Conexiones entre fibras de fique	55
7.3.7	FUERZA A LA ROTURA.....	57
7.3.8	DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN (%)	59
7.3.9	TIEMPO DE ROTURA	61
7.3.10	Fuerza en fluencia	63
7.3.11	FUERZA MAXIMA	64
7.3.12	ANÁLISIS GENERAL	65
7.4	MODELACIÓN.....	68
7.4.1	Geométrica de la malla de fique.....	68
7.4.2	Modelo tridimensional	68
7.4.3	Discretización de la malla en elementos finitos	71
7.4.4	Elección del tipo y tamaño de elementos finitos	72
7.4.5	Definir condiciones de contorno para malla.....	73
7.4.6	Deformaciones en malla.....	73
7.5	DISEÑO DEL SOFTWARE WEB.....	74
7.5.1	GEOFEM.....	75
7.5.2	Base datos.....	89



7.6	Control del trabajo.....	93
8	CONCLUSIONES.....	95
9	RECOMENDACIONES	96
10	Glosario	97
11	Bibliografía.....	100
12	Apéndices y Anexos	103
12.1	Anexos.....	103



TABLA DE TABLAS

TABLA 1: SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS POR EL MÉTODO FEM	37
TABLA 2: RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO CARACTERIZACIÓN FIBRA DE FIQUE.....	47
TABLA 3: RESULTADOS LABORATORIO DE DENSIDAD FUENTE: AUTOR	50
TABLA 4: RESULTADOS DE LABORATORIO FUENTE: AUTOR.....	56
TABLA 5: CUADRO RESUMEN, RESULTADOS DE LABORATORIO, FUENTE: AUTOR	67
TABLA 6: CONTROL DE TRABAJO FUENTE: PROPIA	93



TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: MAQUINA UNIVERSAL INSTRON (MODEL 34TM-50 DUAL COLUMN TABLE MODEL), FUENTE:

[HTTPS://WWW.INSTRON.COM/-/MEDIA/LITERATURE-LIBRARY/MANUALS/3400-SERIES/34TM-50-DUAL-COLUMN-TABLE-MODEL-
PREINSTALLATION-MANUAL.PDF](https://www.instron.com/-/media/literature-library/manuals/3400-series/34tm-50-dual-column-table-model-preinstallation-manual.pdf).....32

ILUSTRACIÓN 2: ETIQUETA DE LA MAQUINA UNIVERSAL VALIDANDO LA CALIBRACIÓN DE LA MAQUINA UNIVERSAL.32

ILUSTRACIÓN 3: MONTAJE DE LABORATORIO EN LA MAQUINA UNIVERSAL.....33

ILUSTRACIÓN 4: MUESTRAS UTILIZADAS FUENTE: AUTOR33

ILUSTRACIÓN 5: MONTAJE BÁSICO MAQUINA UNIVERSAL FUENTE: PROPIA34

ILUSTRACIÓN 6: FLUJO MATEMÁTICO FUENTE: AUTOR.....41

ILUSTRACIÓN 7: LOGO, FUENTE: PROPIA45

ILUSTRACIÓN 8: GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN FUENTE: SOFTWARE MAQUINA UNIVERSAL46

ILUSTRACIÓN 9: DATOS ADICIONALES LABORATORIO DE MAQUINA UNIVERSAL, FUENTE: SOFTWARE MAQUINA UNIVERSAL.....47

ILUSTRACIÓN 10: MEDICIÓN DE MASA FUENTE: AUTOR49

ILUSTRACIÓN 11: MEDICIÓN DE VOLUMEN INICIAL FUENTE: AUTOR50

ILUSTRACIÓN 12: MEDICIÓN DE VOLUMEN FINAL FUENTE: AUTOR50

ILUSTRACIÓN 13: RESULTADOS MAQUINA UNIVERSAL CONDICIONES SECAS CONTORNO TEJIDO FUENTE: PROPIA52

ILUSTRACIÓN 14: RESULTADOS ENSAYO MAQUINA UNIVERSAL BAJO CONDICIONES SATURADAS Y CONTORNO COMPLETO FUENTE: AUTOR 53

ILUSTRACIÓN 15: RESULTADOS ENSAYO MAQUINA UNIVERSAL MALLA SIN TEJER BAJO CONDICIONES SECAS FUENTE: AUTOR.....53

ILUSTRACIÓN 16: RESULTADOS ENSAYO MAQUINA UNIVERSAL MALLA SIN TEJER BAJO CONDICIONES HUMEDAS FUENTE: AUTOR54

ILUSTRACIÓN 17: MALLA DE FIQUE FUENTE: AUTOR55

ILUSTRACIÓN 18: CELDA REPRESENTATIVA DE LA MALLA DE FIQUE FUENTE: AUTOR55

ILUSTRACIÓN 19: CONEXIONES ENTRE LA MALLA DE FIQUE FUENTE: AUTOR.....56

ILUSTRACIÓN 20: GRAFICA FUERZA A LA ROTURA FUENTE: AUTOR57

ILUSTRACIÓN 21: GRAFICA DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN FUENTE: AUTOR59

ILUSTRACIÓN 22: GRAFICA TIEMPO DE ROTURA FUENTE: AUTOR61



ILUSTRACIÓN 23:GRAFICO FUERZA EN FLUENCIA FUENTE:AUTOR.....	63
ILUSTRACIÓN 24:GRAFICA FUERZA MÁXIMA FUENTE: AUTOR	64
ILUSTRACIÓN 25:MODELACION TRIDIMENSIONAL, ANSYS, LICENCIA ESTUDIANTIL FUENTE: AUTOR	68
ILUSTRACIÓN 26:MODELACION TRIDIMENSIONAL MALLADO 29.9CM, ANSYS, LICENCIA ESTUDIANTIL FUENTE: AUTOR	69
ILUSTRACIÓN 27:CONFIGURACION BASE DEL MODELO FUENTE: AUTOR	70
ILUSTRACIÓN 28:RESULTADOS ANÁLISIS FEM, SOFTWARE ANSYS.....	74
ILUSTRACIÓN 29:QR_DEFORMACION DEL MALLADO ANSYS FUENTE: AUTOR	74
ILUSTRACIÓN 30:ARQUITECTURA PRELIMINAR DE GEOFEM, FUENTE: AUTOR	77
ILUSTRACIÓN 31:PALETA DE COLORES SUGERIDA FUENTE: AUTOR.....	78
ILUSTRACIÓN 32:PROPUESTA DE LOGO EN DIFERENTES TONALIDADES FUENTE: AUTOR.....	79
ILUSTRACIÓN 33:PANTALLA DE INICIO FUENTE: AUTOR	81
ILUSTRACIÓN 34:CREACIÓN DEL MODELO FUENTE: PROPIA	82
ILUSTRACIÓN 35:REGISTRO EN LA APLICACIÓN FUENTE: PROPIA.....	84
ILUSTRACIÓN 36:MOCKUP GEOFEM FUENTE: PROPIA	85
ILUSTRACIÓN 37:MOKUP CREACIÓN DE MODELO FUENTE: PROPIA	86
ILUSTRACIÓN 38:FLUJO DE RESIDUOS PONDERADOS PROPUESTA FUENTE: AUTOR.....	88
ILUSTRACIÓN 39:PROPUESTA BASE DATOS RELACIONAL FUENTE: AUTOR.....	92
ILUSTRACIÓN 40:CODIGO FUENTE PÁGINA PRINCIPAL FUENTE: AUTOR	103
ILUSTRACIÓN 41:CODIGO FUENTE PÁGINA PRINCIPAL FUENTE: AUTOR	103
ILUSTRACIÓN 42:CODIGO FUENTE PÁGINA PRINCIPAL FUENTE: AUTOR	104
ILUSTRACIÓN 43:CONTORNO BASE DE LA CELDA UNITARIA DE LA MALLA FUENTE: PROPIA.....	104
ILUSTRACIÓN 44:CELDAS UNITARIAS COMPLETAS FUENTE: PROPIA	105
ILUSTRACIÓN 45:VISTA LATERAL CELDA UNITARIA FUENTE: PROPIA	105
ILUSTRACIÓN 46:TIRA BASE DE MALLA LISTA PARA FALLAR FUENTE: PROPIA	106
ILUSTRACIÓN 47:MONTAJE BASE DEL LABORATORIO FUENTE: PROPIA.....	106
ILUSTRACIÓN 48:VISTA FRONTAL MONTAJE BASE DEL LABORATORIO FUENTE: AUTOR	107
ILUSTRACIÓN 49:FIBRA FALLADA POR LA MAQUINA UNIVERSAL FUENTE: PROPIA.....	108



ILUSTRACIÓN 50:CONFIGURACION DE SOFTWARE REALIZADA POR EL AUTOR PARA EL ENSAYO EN LA MAQUINA UNIVERSAL FUENTE:PROPIA	
.....	108
ILUSTRACIÓN 51:MODELACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE SOLICITACIÓN ANTE CARGA DE 1000 KN FUENTE: AUTOR	109
ILUSTRACIÓN 52:MODELACION Y COMPORTAMIENTO DE LA MALLA ANTE CARGA DE 5000 Kn FUENTE: AUTOR	109
ILUSTRACIÓN 53:MODELACION Y COMPORTAMIENTO DE LA MALLA ANTE CARGA DE 10.000 Kn	110
ILUSTRACIÓN 54:VISTA LATERAL DE LAS MODELACIONES FUENTE: AUTOR	110
ILUSTRACIÓN 55:INTERFAZ BÁSICA DEL MODELADO FUENTE: PROPIA	111
ILUSTRACIÓN 56:PORCIÓN DE CODIGO ESCRITO PARA BASE DE DATOS MYSQL FUENTE: PROPIA	111
ILUSTRACIÓN 57:EMULADOR DE SERVIDOR UTILIZADO XAMPP FUENTE: PROPIA	112
ILUSTRACIÓN 58:CREACIÓN DE TABLA INTERMEDIA MALLAS_HAS_MATERIALES	112



1 Resumen

El proyecto de grado titulado " **Análisis y Modelado de Fibras Naturales mediante el Método de Elementos Finitos (FEM) con Desarrollo de Aplicativo Web** " se enfoca en diseñar un aplicativo web que permite el análisis de la malla de fique utilizando el método de elementos finitos y residuos ponderados.

Se realizó una exhaustiva caracterización y modelación de la malla de fique, que incluyó la obtención de datos sobre su fuerza y tiempo de rotura, deformación por tracción, tanto en condiciones secas como húmedas. Posteriormente, los resultados recolectados se utilizaron para desarrollar una formulación matemática de residuos ponderados para el objeto de estudio.

El aplicativo web **Geofem**, basado en la librería MUI y diseñado con TypeScript y React, permite el procesamiento de estos datos y la visualización de los resultados del análisis. El usuario puede ingresar la información de la malla de fique y obtener una observación detallada, incluyendo desplazamientos, cargas máximas y deformaciones, entre otros.

Los resultados obtenidos evidencian que el aplicativo web **Geofem** es una herramienta eficaz para el análisis detallado de la malla de fique mediante el método de elementos finitos y residuos ponderados. La plataforma ofrece la posibilidad de economizar tiempo y recursos en comparación con el método manual.

Por lo tanto, **Geofem** es una valiosa herramienta para la evaluación de la malla de fique, y puede ser de gran utilidad para ingenieros civiles y profesionales en la ingeniería de materiales.



2 Abstract

The thesis project titled "Characterization, Modeling, and Mathematical Flow Design of Fique Mesh through the Finite Element Method and Weighted Residuals, with the Design of a Web Application" aims to develop a web application that enables the analysis of fique mesh using the finite element method and weighted residuals.

A thorough characterization and modeling of fique mesh were conducted, which included obtaining data on its rupture strength, tensile deformation, and rupture time, both in dry and wet conditions. Subsequently, the collected data were used to develop a mathematical formulation of weighted residuals for fique mesh.

The Geofem web application, based on the MUI library and designed with TypeScript and React, enables the processing of these data and the visualization of the analysis results. Users can input fique mesh data and receive a detailed analysis, including displacements, maximum loads, and deformations, among others.

The results obtained demonstrate that the Geofem web application is an effective tool for the detailed analysis of fique mesh using the finite element method and weighted residuals. The platform offers the possibility of saving time and resources in comparison with manual analysis.

Therefore, it is concluded that Geofem is a valuable tool for the evaluation of fique mesh and can be of great utility to civil engineers and professionals in the field of natural materials and materials engineering.



3 Introducción

La caracterización y modelización de materiales naturales, como la malla de fique, son temas de gran relevancia en la ingeniería civil debido a su potencial uso en diversas aplicaciones geotécnicas. Los métodos de modelización son diversos y cada vez se buscan alternativas más precisas y representativas de las propiedades mecánicas reales de estos materiales.

En este sentido, el análisis de la malla de fique a través del método de elementos finitos y residuos ponderados es una técnica que ha adquirido relevancia en los últimos años debido a que permite una representación detallada y precisa del comportamiento mecánico de este material. La obtención de estos datos permite una mayor comprensión de su comportamiento frente a diferentes condiciones de carga y condiciones ambientales.

El método de elementos finitos (FEM) es una herramienta numérica que ha demostrado ser efectiva en el análisis de una gran variedad de problemas de ingeniería. En este caso, su aplicación en el análisis de la malla de fique proporciona un método efectivo y preciso para entender su comportamiento mecánico.

Por otro lado, el diseño de aplicaciones web para el análisis y modelización de materiales naturales es una tendencia en auge en la ingeniería civil, ya que facilita el procesamiento de grandes cantidades de datos y proporciona una interacción amigable con el usuario.

En este contexto, el presente proyecto de grado tiene como objetivo principal llevar a cabo la caracterización y modelización de la malla de fique utilizando el método de elementos finitos y residuos ponderados, y desarrollar una aplicación web, llamada Geofem, que permite analizar y visualizar los resultados de forma sencilla y rápida. Con este proyecto se busca contribuir al desarrollo de herramientas efectivas para el análisis de materiales naturales en la ingeniería civil.



En términos de expectativas, se espera que este trabajo de investigación proporcione una mejor comprensión del comportamiento mecánico de la malla de fique y su aplicación en aplicaciones geotécnicas. Asimismo, se espera que la aplicación web Geofem sea una herramienta útil y práctica para los ingenieros civiles, facilitando el análisis y modelización de materiales naturales en sus proyectos.

4 Problema de investigación

4.1 Descripción de la problemática

La caracterización y modelización de materiales naturales para usos geotécnicos presentan retos significativos en la ingeniería civil. Aunque al igual que la malla de fique, ofrecen potenciales beneficios en términos de sostenibilidad y costos, su comportamiento mecánico complejo puede complicar los procesos convencionales de análisis y diseño.

La modelización precisa de estos materiales naturales es esencial para entender su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y ambientales. Sin embargo, el análisis tradicional puede ser insuficiente debido a su complejidad y la particularidad. Específicamente, las propiedades mecánicas de la malla de fique pueden ser afectadas por varios factores, incluyendo la temperatura, la humedad y las circunstancias de contorno. Estos desafíos destacan la necesidad de metodologías avanzadas y precisas, como el método de elementos finitos y residuos ponderados, para el análisis de estos materiales.

Además, aunque la tecnología digital ha transformado muchos aspectos de la ingeniería civil, sigue existiendo una brecha en la disponibilidad de herramientas digitales específicas para el análisis y modelización de materiales naturales. La ausencia de estas puede limitar la



eficiencia y la precisión del proceso y resultado, además, puede representar un obstáculo para la adecuada implementación de estos.

En este contexto, el proyecto de grado "**Caracterización, modelación y diseño de flujo matemático por el método de residuos ponderados de la malla de fique**" busca abordar estos desafíos y proporcionar un análisis detallado y preciso del comportamiento mecánico de esta mediante el método anteriormente, y desarrollar una aplicación web, **Geofem**, que facilite el proceso y lo haga accesible para más profesionales en el campo de la ingeniería civil.

4.2 Preguntas de investigación

- ¿Cómo se puede caracterizar y modelar la malla de fique para su uso en aplicaciones geotécnicas utilizando el método de residuos ponderados?
- ¿Cuál es el comportamiento mecánico de la malla de fique bajo diferentes condiciones de carga y ambientales y cómo puede ser modelado de manera eficiente y precisa?
- ¿Cómo puede el flujo matemático de la malla de fique ser diseñado usando el método de residuos ponderados, considerando las propiedades mecánicas de la malla y las condiciones de contorno?
- ¿Cómo se puede implementar un aplicativo web para facilitar el análisis y modelización de la malla de fique usando el método de residuos ponderados, y de qué manera consigue ayudar esta herramienta a los ingenieros civiles en su trabajo?

Finalmente, la pregunta principal que dirige la presente formulación del proyecto es:



¿Cómo se puede mejorar la caracterización, modelización y diseño de flujo matemático de la malla de fique utilizando el método de residuos ponderados y de que manera esta metodología obtiene ser implementada en una aplicación web para mejorar la eficiencia y precisión del análisis en ingeniería civil?

Esta pregunta de investigación busca evaluar la efectividad del método de residuos ponderados en el análisis de la malla de fique y, al mismo tiempo, diseñar una aplicación web, **GeoFem**, que permita a los ingenieros civiles realizarlo de manera eficiente. Con esta interrogación, se espera contribuir a la implementación de herramientas digitales en la ingeniería civil y mejorar la utilización de materiales naturales en aplicaciones geotécnicas.



4.3 Justificación

El proyecto de grado "Caracterización, modelación y diseño de flujo matemático por el método de residuos ponderados de la malla de fique y diseño de un aplicativo web, GeoFEM" radica en la necesidad de innovar en la ingeniería civil al proveer herramientas matemáticas y digitales más eficientes y precisas para la determinación y modelización de materiales geotécnicos, especialmente de aquellos que son naturales como la malla de fique.

La ingeniería civil requiere constantemente de la implementación de métodos analíticos avanzados para mejorar la eficiencia y la precisión en la modelización de materiales geotécnicos. Sin embargo, las metodologías convencionales pueden no ser adecuadas para llevar a cabo este objetivo con materiales naturales, como la malla de fique, debido a su comportamiento mecánico único.

El método de residuos ponderados es una técnica numérica poderosa que puede usarse para modelar de manera efectiva el comportamiento de la malla de fique, brindando una mayor precisión y flexibilidad en comparación con los métodos convencionales.

Además, la implementación de una aplicación web, **GeoFEM**, que facilite el uso del método de residuos ponderados para la caracterización y modelización de la malla de fique, proporcionará una solución digital innovadora y eficiente a los profesionales de la ingeniería civil. Que permitirá realizar análisis de manera más eficiente, reducir los tiempos de diseño y análisis, mejorar la precisión y, por ende, aumentar la fiabilidad de los proyectos de este campo.

Por lo tanto, este proyecto de grado propone la caracterización, modelización y boceto de flujo matemático de la malla de fique utilizando el método de residuos ponderados y el diseño de un aplicativo web para su análisis. Esto representa una solución innovadora y eficiente que



contribuirá a la mejora de la ingeniería civil y al uso de materiales naturales en aplicaciones geotécnicas.



TUNJA • Línea gratuita nacional: 01 8000 932 340 PBX; (+578) 744 0404 / www.ustatunja.edu.co / coord.admisiones@ustatunja.edu.co / Calle 19 No. 11-64
BOGOTÁ • Línea gratuita nacional: 01 8000 111180 PBX; (+571) 587 8797 / www.usta.edu.co / admisiones@usantotomas.edu.co / Carrera 9 No. 51-11
BUCARAMANGA • Línea gratuita nacional: 01 8000 917044 PBX; (+576) 680 0801 / www.ustabuca.edu.co / admisiones@mail.ustabuca.edu.co / Carrera 18 No. 9-27
MEDELLÍN • PBX: (+574) 234 1034 / www.ustamed.edu.co / admisiones@ustamed.edu.co / Carrera 82 No. 778B-27
VILLAVICENCIO • Tel.: (+578) 661 4361 / www.ustavillavicencio.edu.co / admisionesvillavo@usantotomas.edu.co / Calle 1 Vía Puerto López, Diagonal Séptima Brigada
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA (VUAD) • Tel.: (+571) 595 0000 / www.ustadistancia.edu.co / comunicación@ustadistancia.edu.co / Carrera 10 No. 72-50

Institución de Educación Superior sujeta a la inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional - SNIES 1704





4.4 OBJETIVOS

4.4.1.1 *Objetivo general*

Realizar la caracterización mecánica y modelación de la malla de fique, utilizando el método de residuos ponderados para el esbozo de flujo matemático, y diseñar un aplicativo web innovador que permita a los ingenieros civiles ejecutar análisis predictivos y diseño eficiente de sistemas geotécnicos con base en dicha modelación.

4.4.1.2 *Objetivos específicos*

- Identificar los conceptos teóricos y las investigaciones relacionadas con el uso de fibras naturales en el reforzamiento de taludes.
- Determinar las propiedades mecánicas de la fibra de fique y las características propias del material
- Diseñar un aplicativo web que permita la utilización del modelo numérico para el análisis de la estabilidad de taludes con fibras naturales de manera sencilla y eficiente.
- Implementar un modelo numérico mediante el método de elementos finitos para analizar la estabilidad de los taludes reforzados con fibras naturales.



5 ESTADO DEL ARTE

TITULO	APORTE	REFERENCIA
FAILURE POTENTIAL INDEX FOR SLOPES CONDITIONED BY LANDFORMS.	Este trabajo concluye que la estabilidad de taludes en el análisis de elementos finitos depende de las superficies de potencial de falla y de su geometría. Así mismo que la importancia en el análisis de las estructuras como taludes radica en la susceptibilidad que tienen estas al sufrir alteraciones que puedan provocar tragedias a futuro.	(Camacho Orozco & Ramos – Cañón, 2016)
EVALUACION DE LA INTERACCION DINAMICA SUELO- ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN LADERA	Esta tesis escrita por Leonardo herrera Baquero, se expone el análisis de laderas sometidas a fuerzas horizontales. Para ello fueron tomados en cuenta los siguientes factores: Contenido frecuencial del sismo (T_m), Velocidad de onda de corte promedio del estrato Del suelo (V_s), anulo de inclinación de la ladera (α), periodo característico de la estructura (T_e) y la posición de los edificios en el desarrollo de la ladera (P_i). Se evaluaron dos variables respuesta de los edificios construidos en ladera. La primera consistente en la relación de la cortante basal obtenida para cada edificio en ladera (V_L),	LTH. Baquero, L. H. (2013). EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN DINAMICA SUELO- ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN LADERA. 1, 1(1), 214.

Continuación

TITULO	APORTE	REFERENCIA
--------	--------	------------





	con su respectiva cortante basal obtenida en condiciones topográficas planas (VP). La segunda es la relación del desplazamiento máximo experimentado en el teco de los edificios localizados en la ladera (dP). A partir de este estudio modelado en PLAXIS (Software de modelación con análisis de elementos finitos), se determinó la susceptibilidad que sufren las estructuras cercanas a laderas con alta pendiente en condiciones de suelos poco cohesivos.	
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA MORFOLOGÍA SOBRE LA ESTABILIDAD DE TALUDES SOMETIDOS A LLUVIAS.	La no atención de laderas y taludes es una problemática en donde el factor de seguridad es prácticamente nulo cuando la ladera o talud no cuenta con un tratamiento adecuado y además se ubica en zonas de alta precipitación.	Laura Ángela, G. O. (2017). <i>Estudio del efecto de la morfología sobre la estabilidad de taludes sometidos a lluvia</i>. UNAL.
ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO ENTRE LOS SISTEMAS DE APOYO INDIVIDUAL	En este estudio Jackson establece la viabilidad de los sistemas de apoyo individual y tipo pantallas, sistemas que son viables dependiendo de las características del talud a estabilizar, instaurando las condiciones mínimas	Jackson Andrés, G. H. (2018). <i>ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO, ENTRE LOS SISTEMAS DE APOYO</i>



	Para las cuales el comportamiento de cualquiera de los dos métodos sería óptimo. No obstante, se observa el elevado costo que acarrea la implementación de cualquiera de los dos métodos, por tal razón el uso de estas dos tecnologías adquiere otra limitante.	<i>INDIVIDUAL Y TIPO PANTALLA, PARA EL REFORZAMIENTO DE UN TALUD CON ANCLAJES. UNAL.</i>
<i>Modelo numérico micromecánica del proceso de fractura de estructuras fabricadas con bambú Guadua angustifolia.</i>	En un estudio Martín Estrada Mejía determino la viabilidad del uso de bambú en diferentes campos de la ingeniería, principalmente la ingeniería estructural y concluyo que podría llegar a ser un elemento sismorresistente.	MARTÍN, E. M. (2016). <i>Modelo numérico micromecánica del proceso de fractura de estructuras fabricadas con bambú Guadua angustifolia.</i> UNAL.
MECANICAL BEHAVIOR OF A SLOPE REINFORCED WITH SISAL FIBER INCLUSIONS	Este estudio se enfocó en evaluar el comportamiento mecánico de taludes reforzados con fibras de sisal mediante ensayos de laboratorio y análisis mediante el método de elementos finitos. Para llevar a cabo este estudio se construyeron modelos a escala reducida de taludes reforzados con fibras de sisal en un laboratorio, donde se midió la deformación y la resistencia bajo diferentes cargas.	Chen, H., Liu, B., Zhou, W., Wang, D., & He, C. (2015). Mechanical behavior of a slope reinforced with sisal fiber inclusions. 2015, 93(1066), 1076.



TITULO	APORTE	REFERENCIA
	Además, se realizó un análisis mediante el método de elementos finitos para simular el comportamiento mecánico de los taludes reforzados. Los resultados arrojaron que la incorporación de fibras de sisal en los taludes aumenta la resistencia y reduce la deformación en comparación con los taludes sin refuerzo. Sumado a esto, el análisis mediante este método permite predecir con precisión el comportamiento mecánico de los taludes reforzados con fibras de sisal.	
ANALYSIS OF SLOPE STABILITY WITH NATURAL FIBER REINFORCEMENT USING FINITE ELEMENT METHOD,	Mediante una simulación numérica utilizando el software PLAXIS, esta investigación evaluó la estabilidad de un talud reforzado con fibras naturales de sisal y coco, donde el resultado es positivo. Este estudio concluye que el uso de fibras naturales es una alternativa prometedora para mejorar la estabilidad de los taludes y que puede ser útil para la prevención de desplazamientos	Prasad, B., Muni Reddy, G., Prasad, B., Muni Reddy, G., Murali Krishna, B., & Varghese, S. (2017). Analysis of slope stability with natural fiber reinforcement using finite element method. 2017, 12(3), 433-446.
STRENGTH PROPERTIES OF NATURAL FIBER-REINFORCED	En este estudio se utilizaron tres tipos de fibras naturales (cáñamo, coco y sisal) para reforzar un suelo arenoso y se evaluó la resistencia al corte	Sain, M.M., Imbert, C. and Kokta, B.V. (1993). STRENGTH PROPERTIES OF NATURAL



		FIBER- REINFORCED 210(3588): 33-46
--	--	---------------------------------------

Continuación

TITULO	APORTE	REFERENCIA
SOIL AND SOIL SLOPE STABILITY	Del suelo reforzado. Los resultados mostraron que la adición de fibras naturales al suelo aumento significativamente la resistencia al corte y la estabilidad del talud.	
DESIN AND DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION FOR SOIL SLOPE STABILITY ANALYSIS USIN FINITE ELEMENT METHOD	Este artículo escrito por Jiaao uo en 2019, describe el diseño y desarrollo de una aplicación móvil para analizar la estabilidad de taludes de suelos mediante el método de elementos finitos. Nos explica como la aplicación permite a los usuarios ingresar datos de terreno y propiedades del suelo. Para luego, realizar un análisis numérico y determinar la estabilidad del talud. Sumado a esto cuenta con una herramienta en 3D para mostrar los resultados de forma clara y sencilla de comprender. La conclusión de este artículo es que la aplicación es fácil de usar, eficiente y precisa para el análisis de la estabilidad de taludes.	Gassan, J. and Bledzki, A.K. (1997). The Influence of Fibre desin and development of a mobile application for soil slope stability analysis usin finite element metod Part A, 28A: 993-1000.
NASTRAN (Nasa Structural Analysis)	Nastran fue uno de los primeros programas de elementos finitos de uso general para el análisis	<i>The deal. II Library: Tutorial programs.</i> (2018). https://www.dealii.org/curren



	de estructuras. Este programa se desarrolló en principio	t/doxygen/deal.II/Tutorial.html
--	--	---------------------------------

TÍTULO

APORTE

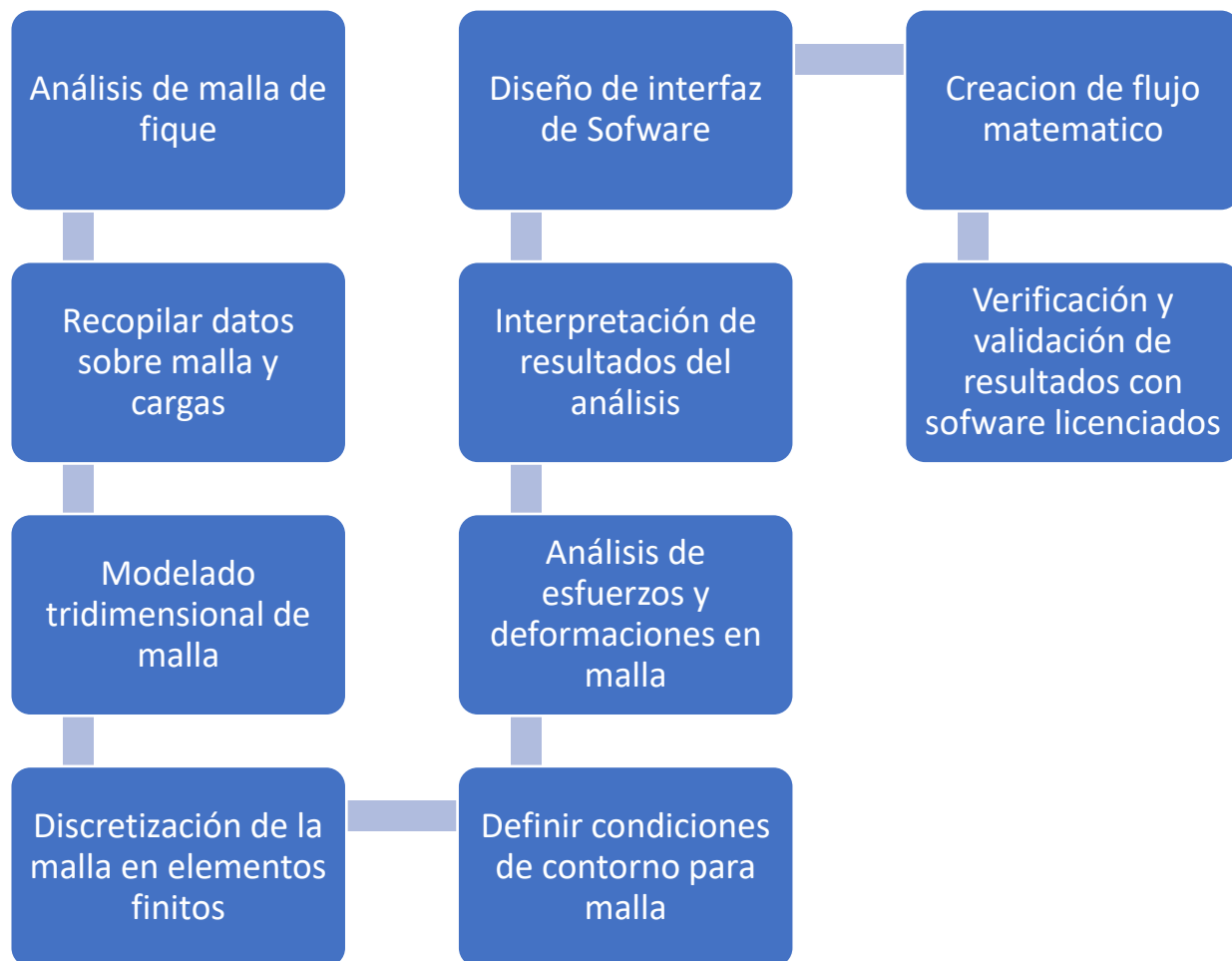
REFERENCIA

	Por la NASA para la industria aeroespacial. Este programa aporta en este proyecto para tener en cuenta las bases e inicios de aplicativos encarados de analizar la estabilidad de los taludes.	
--	---	--



6 Materiales y métodos

6.1 Plan de trabajo



El plan de trabajo planteado se agrupa en el orden de ejecución de actividades, así mismo se plantea las diferentes condiciones que pueden presentar y su evaluación, planeación y control de observa en la **Tabla 6:Control de trabajo** fuente: Propia

6.2 Análisis de malla de fique



El fique (*Furcraea andina*) es una planta perteneciente a la familia de las agaváceas, originaria de América del Sur, especialmente de Colombia, Ecuador y Perú. Se ha utilizado tradicionalmente para la producción de fibras naturales, que han sido empleadas en la fabricación de cuerdas, redes, sacos y otros productos textiles (Gaviria, A. C., & Gómez, J. A. (2014). Caracterización mecánica de fibras de fique para refuerzo de concreto. *Ingeniería y Ciencia*, 10(20), 9-31).

Las fibras de fique son conocidas por su resistencia a la tracción, durabilidad y bajo costo, lo que las convierte en una alternativa atractiva a los materiales sintéticos en aplicaciones estructurales y de refuerzo (Ramírez, C. A., Ramírez, J. H., & Mina, J. H. (2014)).

El análisis de la malla de fique utilizando el método de elementos finitos (FEM) puede proporcionar una mayor comprensión de su comportamiento mecánico y estructural. El método FEM es una técnica numérica ampliamente utilizada para analizar problemas complejos de ingeniería y física, incluidos aquellos que involucran la interacción entre materiales y estructuras bajo cargas aplicadas (Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2000)).

Al aplicar el método FEM en el análisis de la malla de fique, es posible modelar y predecir con precisión el comportamiento de las fibras bajo diferentes condiciones de carga y restricciones de contorno. Esto puede proporcionar información valiosa para optimizar el diseño de estructuras reforzadas con fibras de fique y mejorar su rendimiento en aplicaciones específicas.

Un estudio realizado por (Gaviria, A. C., & Gómez (2014)) sobre la caracterización mecánica de fibras de fique, reportó que las fibras de fique tienen una resistencia a la tracción promedio de **414 MPa** y un módulo de elasticidad promedio de **10.8 GPa**. Estas propiedades son cruciales para la implementación del método FEM en el análisis de la malla de fique, ya que



permiten modelar con precisión las características mecánicas del material y predecir su comportamiento bajo cargas aplicadas.

6.2.1 *Anisotropía de las fibras de fique*

Las fibras naturales, incluido el fique, suelen presentar anisotropía, lo que significa que sus propiedades mecánicas varían según la dirección en la que se miden. Esta característica puede afectar el comportamiento de la malla cuando se somete a cargas. En el análisis FEM, es fundamental incorporar la anisotropía de las fibras en el modelo para obtener resultados precisos y confiables.

6.2.2 *Conexiones entre fibras de fique*

Las fibras de fique en una malla pueden estar unidas mediante diferentes tipos de conexiones, como nudos, enlaces o costuras. Las conexiones entre las fibras influyen en la distribución de tensiones y deformaciones en la malla. Al realizar el análisis FEM, es importante modelarlas adecuadamente para predecir con precisión el comportamiento de la malla bajo cargas aplicadas.

6.2.3 *Interacción entre la malla de fique y otros materiales*

En aplicaciones prácticas, la malla de fique puede estar en contacto con otros materiales, como concreto, suelos o geo sintéticos. La interacción entre los dos puede afectar el comportamiento de la malla y su capacidad para soportar cargas. En el análisis FEM, es



necesario modelar adecuadamente dicha interacción para predecir con precisión su comportamiento en condiciones reales.

6.3 Datos sobre malla y cargas

En este capítulo, se detalla el proceso de recopilación de datos relevantes para el análisis FEM de la malla de fique, incluyendo las propiedades mecánicas de las fibras y las conexiones entre ellas, la geometría de la malla y las cargas aplicadas.

6.3.1 Propiedades mecánicas de las fibras de fique

La recopilación de información sobre las propiedades mecánicas de las fibras de fique es fundamental para el análisis FEM. Incluyendo la densidad, el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y la deformación máxima. Es importante obtener estos datos a partir de fuentes confiables, como estudios experimentales publicados en la literatura científica.

Dentro del desarrollo de este proyecto de realizaron varios ensayos con la maquina universal **Model 34TM-50 Dual Column Table Model de Instron** **Ilustración 1:** Maquina Universal Instron (Model 34TM-50 Dual Column Table Model), fuente: <https://www.instron.com/-/media/literature-library/manuals/3400-series/34tm-50-dual-column-table-model-preinstallation-manual.pdf>, que permitió obtener datos valiosos de la caracterización mecánica del material en estudio, además de ser validados por el nivel de precisión que este dispositivo otorga al ser validado bajo las normas de la **ONAC (Organismo de acreditación de Colombia)** **Ilustración 2:** Etiqueta de la maquina universal validando la calibración de la maquina universal.. Dicha máquina



fue proporcionada por la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja.



Ilustración 1: Máquina Universal Instron (Model 34TM-50 Dual Column Table Model), fuente:

<https://www.instron.com/-/media/literature-library/manuals/3400-series/34tm-50-dual-column-table-model-preinstallation-manual.pdf>



Ilustración 2: Etiqueta de la máquina universal validando la calibración de la máquina universal.

6.3.2 Procedimiento de caracterización mecánica de la fibra

Dentro del desarrollo del laboratorio se tomó una muestra representativa de aproximadamente 272 fibras, con un diámetro aproximado de 4,10 mm, un área de 13,20 mm² y una longitud de 126 mm, dichas medidas se tomaron bajo condiciones secas, considerando la situación más crítica presentada por la fibra. Para la sujeción de estas, se utilizó un agarre de tipo pinza con una fuerza equivalente de 100 kN.



Ilustración 3: Montaje de laboratorio en la maquina universal

6.3.3 Caracterización malla de fique

La caracterización de la malla de fique se llevó a cabo mediante la realización de pruebas bajo diferentes condiciones de contorno. En total, se realizaron 4 pruebas de caracterización, cada una de ellas en 2 condiciones distintas.



Ilustración 4: Muestras utilizadas Fuente: Autor



Se seleccionaron 4 partes relevantes de la malla como se muestra en la **Ilustración 4**: Muestras utilizadas Fuente: Autor, con el objetivo de analizarla en diferentes condiciones de contorno, tanto en situaciones secas como saturadas. Esto permitió determinar los distintos comportamientos que pueden surgir en una situación real.



Ilustración 5: Montaje básico maquina universal Fuente: Propia

Se utilizaron tiras con una longitud de trabajo de 126 mm, lo cual representa el espacio libre entre las mordazas de sujeción. Además, se determinó un ancho de 70 mm y un espesor de 4,78 mm, tal como lo requería el programa de análisis para poder evaluar las diferentes secciones. El montaje de estas tiras se puede observar en la **Ilustración 5**: Montaje básico maquina universal Fuente: Propia.

Cargas aplicadas

La recopilación meticulosa de información relacionada con las cargas aplicadas es crucial para evaluar rigurosamente el comportamiento de la malla de fique en diversas condiciones de carga. Esta información debe ser exhaustiva y abarcar aspectos como la magnitud de esta, la dirección de aplicación y la naturaleza, ya sea puntual, distribuida, dinámica o estática.



En nuestro estudio, para el análisis mediante elementos finitos (FEM), seleccionamos cargas de 500N, 100N y 10.000N para su aplicación. Estas cargas fueron cuidadosamente ubicadas en una dirección ortogonal a la malla de fique, lo que nos permitió examinar detalladamente su comportamiento cuando se expone a cargas de corte.

Además, llevamos a cabo un análisis detallado de tracción para determinar la resistencia máxima de la malla. Nos enfocamos en comprender la mayor sollicitación que la malla de fique puede soportar sin fallar. Este enfoque nos brindó una comprensión más profunda de su durabilidad y resistencia cuando se expone a diferentes niveles de fuerza. Esta comprensión resulta invaluable al considerar el uso de esta malla en aplicaciones prácticas que requieren alta firmeza y durabilidad.

6.3.4 Condiciones ambientales y de contorno

La adquisición de datos acerca de las condiciones ambientales y contextuales, tales como la humedad, temperatura e interacción con otros materiales, es de vital importancia para la efectividad del análisis por elementos finitos (FEM) de la malla de fique. Estos factores pueden influir considerablemente en el comportamiento mecánico de la malla, por lo que es crucial recopilar información precisa sobre estas condiciones para asegurar la exactitud del análisis y una representación realista del comportamiento de la malla de fique en su entorno habitual.

Las condiciones ambientales y contextuales que se deben tomar en cuenta en el análisis FEM pueden afectar de manera significativa la malla de fique. Los datos necesarios para este análisis pueden incluir:



Temperatura y humedad

Estos factores pueden alterar las propiedades mecánicas de las fibras de fique y, como consecuencia, su comportamiento bajo carga. Por tanto, es relevante recabar información sobre las condiciones ambientales en las que la malla de fique será instalada y utilizada.

6.3.4.1 Condiciones de contorno

El análisis detallado de las condiciones de contorno es esencial en la modelación de la malla de fique mediante el método de elementos finitos. Estas circunstancias representan las restricciones físicas que se aplican a la malla en su entorno operacional, como, por ejemplo, si está empotrada, apoyada o articulada, y tienen un papel determinante en su comportamiento mecánico.

La recopilación y evaluación de las condiciones de contorno son críticas para generar un modelo FEM preciso y realista. Este proceso implicará definir las interacciones entre la malla de fique y su entorno, incluyendo aquellas de los bordes y en cualquier punto de contacto.

Una vez que se hayan recogido y evaluado todos los datos relevantes, se requiere un paso de preparación de datos para su uso en la simulación FEM. Este paso puede incluir la creación de una base de datos o una hoja de cálculo con la información recopilada de las propiedades mecánicas de la malla, las conexiones de las fibras, las cargas aplicadas, y las condiciones de contorno.

Además, será necesario preparar los archivos de entrada para el software de análisis de elementos finitos, los cuales deberán estar en un formato compatible. Este paso requiere una comprensión clara del formato y la estructura de los archivos de entrada requeridos por el software de simulación seleccionado para este proyecto.



6.4 Modelado tridimensional de malla

En este capítulo, se aborda el proceso de modelado tridimensional de la malla de fique, el cual es esencial para el análisis FEM. La estructuración del capítulo puede seguir los siguientes pasos:

6.4.1 Software de modelado tridimensional

El siguiente cuadro comparativo presenta una selección de herramientas de modelado tridimensional que pueden ser consideradas para el desarrollo del proyecto "Análisis de fibras naturales por el método de elementos finitos (FEM) y diseño de aplicativo web". Estas herramientas varían en términos de funcionalidades, facilidad de uso, costo y enfoque en la ingeniería civil.

Tabla 1: Software para el análisis por el método FEM

Herramienta	Ventajas	Desventajas
Autodesk Inventor	• Ampliamente utilizado en la industria. • Integración con otros productos Autodesk. • Análisis básico de elementos finitos incorporado.	• Costo de licencia puede ser elevado. • Curva de aprendizaje media.



Herramienta	Ventajas	Desventajas
SolidWorks	• Muy popular en la industria y la academia. • Amplia gama de herramientas de diseño y análisis. • Buena integración con otros programas de Dassault Systèmes.	• Costo de licencia puede ser elevado. • Curva de aprendizaje media.
Autodesk Fusión 360	• Basado en la nube, ideal para colaboración en línea. • Acceso a múltiples herramientas de diseño y análisis. • Costo de licencia más accesible.	• Depende de una conexión a internet. • Menos funciones que otras soluciones más robustas.
Rhinoceros 3D (Rhino)	• Modelado de formas orgánicas y complejas. • Amplia gama de plugins y extensiones. • Curva de aprendizaje más suave.	• No tan centrado en ingeniería mecánica. • No incluye herramientas de análisis de elementos finitos. • Costo de licencia puede ser elevado.



Herramienta	Ventajas	Desventajas
ANSYS	• Software especializado en análisis de elementos finitos. • Ampliamente utilizado en la industria y la academia. • Integración con diferentes herramientas de modelado.	• Precio de licencia elevado. • Requiere conocimientos avanzados en análisis FEM.
ABAQUS	• Software especializado en análisis de elementos finitos. • Amplia gama de herramientas de modelado y análisis. • Popular en la industria y la academia.	• Precio de licencia elevado. • Requiere conocimientos avanzados en análisis FEM.

6.5 Flujo matemático

- Análisis de esfuerzos y deformaciones en la malla de fique bajo ciertas condiciones de carga y restricción.
- Derivar las ecuaciones de equilibrio que describen las relaciones entre las fuerzas internas y externas actuando sobre los elementos de la malla.
- Establecer las relaciones constitutivas que describen el comportamiento material de la malla de fique, como la relación entre esfuerzo y deformación, tomando en cuenta las propiedades elásticas y posiblemente no lineales del material.



- Dividir el dominio del problema (la malla de fique) en elementos finitos más pequeños y discretizar las ecuaciones de equilibrio utilizando una aproximación por elementos finitos.
- Ensamblar las ecuaciones de equilibrio discretizadas de cada elemento en un sistema de ecuaciones globales que describen el comportamiento mecánico de la malla en su totalidad.
- Incorporar las condiciones de contorno, como las restricciones y cargas aplicadas a la malla, en el sistema de ecuaciones.
- Resolver el sistema de ecuaciones resultante utilizando técnicas numéricas apropiadas, como la eliminación gaussiana o métodos iterativos.
- Analizar los resultados obtenidos, como los esfuerzos y deformaciones en la malla de fique, y compararlos con los criterios de diseño y rendimiento para evaluar el comportamiento y la idoneidad de la malla en las condiciones de operación estudiadas.



6.5.1 Modelo general

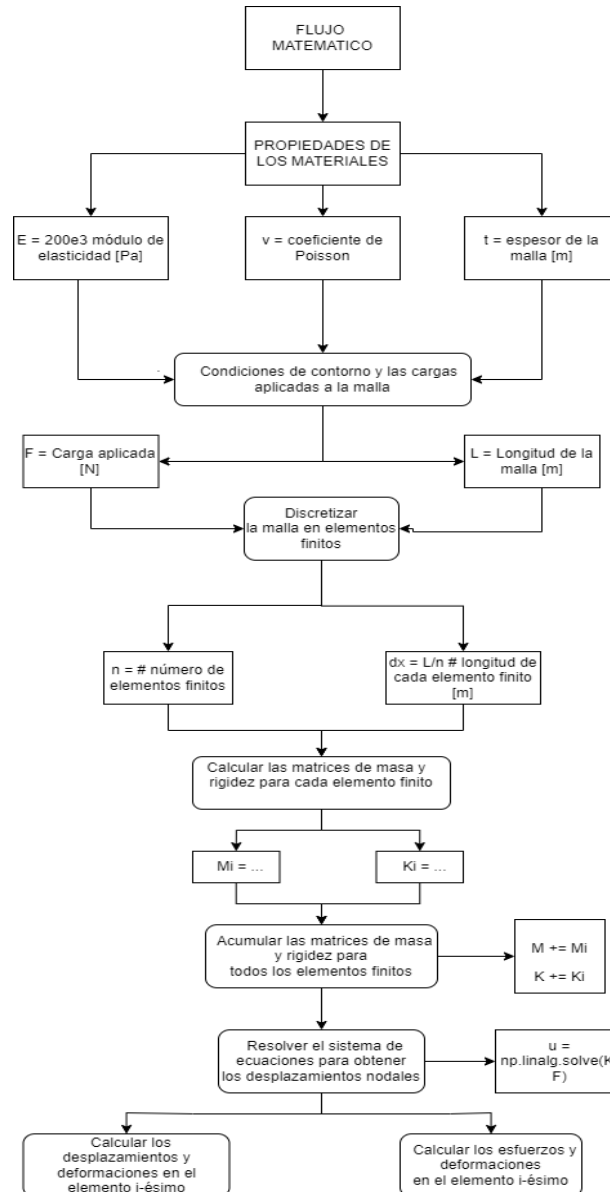


Ilustración 6: Flujo matemático *fuelle: Autor*

6.5.2 Análisis por el método de residuos ponderados

El método de residuos ponderados es una técnica poderosa y versátil utilizada en el análisis de elementos finitos para resolver ecuaciones diferenciales parciales, ya que convierte un



problema de valor de frontera en un sistema de ecuaciones algebraicas al minimizar el residuo ponderado sobre el dominio del problema.

6.5.2.1 Formulación del Residuo

El residuo $R(x)$ de la ecuación diferencial, es la cantidad que queda cuando se sustituye una solución aproximada en dicha ecuación. En nuestro caso, el residuo es:

$$R(x) = EA * \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right) + q_0$$

Donde E es el módulo de Young, A es el área de la sección transversal, u es el desplazamiento, x es la posición a lo largo de la malla, y q_0 es la carga aplicada.

6.5.2.2 Interpolación de la Solución

La solución se interpola dentro de cada elemento como:

$$u(x) = a_i * \varphi_{i(x)} + a_{i+1} * \varphi_{i+1}(x)$$

donde $\varphi_i(x)$ y $\varphi_{i+1}(x)$ son las funciones de base.

6.5.2.3 Aplicación del Método de Residuos Ponderados

El método de residuos ponderados se aplica multiplicando el residuo por una función de ponderación $w(x)$ y luego integrando sobre el dominio del problema para obtener una ecuación que los coeficientes “ a ” e “ i ” deben satisfacer. En la formulación de Galerkin del método de elementos finitos, la función de ponderación es la misma que la función de base:



$$\int w_{j(x)} * R(x)dx = 0, para j = i, i + 1$$

6.5.2.4 Resolución del Sistema de Ecuaciones

El sistema resultante de ecuaciones algebraicas puede resolverse para obtener los coeficientes “a” e “i”. Este sistema puede ser resuelto utilizando cualquier método estándar para sistemas de ecuaciones lineales.

Estas ecuaciones son lineales en los coeficientes “a” e “i” y a_{i+1} , y pueden ser resueltas utilizando cualquier método estándar para sistemas de ecuaciones lineales.

En un problema real con más nodos y elementos, el sistema de ecuaciones sería mayor y complejo. Sin embargo, la idea básica es la misma: se forma un sistema de ecuaciones a partir del residuo ponderado y se resuelve para encontrar la solución interpolada.

6.6 Diseño de interfaz grafica

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se implementó React.js es una biblioteca de JavaScript de código abierto que se utiliza para crear interfaces de usuario y aplicaciones web interactivas y dinámicas. El desarrollo de FrontEnd en React.js se centra en la creación de componentes reutilizables y escalables que se pueden utilizar en toda la aplicación. Cada componente representa una parte específica de la interfaz de usuario y puede reutilizarse y personalizarse en diferentes secciones de la aplicación. React.js tiene en cuenta un enfoque basado en componentes para el desarrollo de la interfaz de usuario, lo que significa que cada componente está aislado y no afecta el comportamiento de los demás. Esto hace que la aplicación sea fácil de mantener y actualizar a medida que se agregan nuevas características o se realizan mejoras. Además, React.js hace uso del concepto de "estado" para mantener el curso de la aplicación y actualizar la interfaz de usuario de manera dinámica en respuesta a las acciones del



usuario. En general, React.js es una herramienta poderosa y flexible para el desarrollo de front-end, que permite a los desarrolladores crear aplicaciones web de alta calidad y escalables con facilidad.

6.7 Beneficios del uso de react.js

El uso de React.js para desarrollar la interfaz de usuario de nuestra aplicación **GEOFEM** de análisis FEM presenta una serie de beneficios que mejoran la calidad y eficiencia del proyecto. En primer lugar, la modularidad y reutilización de código permiten la creación de componentes reutilizables para diferentes secciones de la aplicación. Esto significa que se puede escribir código más eficiente y fácil de mantener, reduciendo el tiempo y esfuerzo necesarios para realizar cambios en la interfaz de usuario. Además, el enfoque basado en componentes de React.js hace que el mantenimiento y la actualización de la aplicación sean más sencillos y eficientes.

Otro beneficio para tener en cuenta es el rendimiento de la aplicación. React.js utiliza una técnica llamada "Virtual DOM" para actualizar la interfaz de usuario de manera eficiente, actualizando solo las partes que han cambiado. Esto mejora significativamente la utilidad de la aplicación, lo que se traduce en una experiencia de usuario más fluida y rápida.

Además, React.js se integra fácilmente con otras bibliotecas y herramientas como Redux y Webpack, lo que facilita la gestión del estado de la aplicación y el empaquetado de los recursos para su distribución.



En resumen, el uso de React.js en nuestra aplicación de análisis FEM nos permite crear una interfaz de usuario modular, reutilizable, fácil de mantener y actualizar, con un alto rendimiento y una fácil integración con otras herramientas.



Ilustración 7: Logo, Fuente: Propia



7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

7.1 RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE FIQUE

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en este laboratorio. Entre los más representativos se encuentra la gráfica de fuerza versus desplazamiento que muestra, la relación entre la fuerza aplicada a la malla de fique y el desplazamiento resultante.

La gráfica de fuerza versus desplazamiento nos proporciona información valiosa sobre las propiedades mecánicas de la malla. Podemos observar cómo la fuerza aplicada afecta el desplazamiento de esta, lo que nos permite evaluar su resistencia y comportamiento bajo diferentes cargas.

Estos resultados son fundamentales para comprender el rendimiento de la malla de fique y su capacidad para resistir fuerzas externas. Además, nos permiten realizar comparaciones y análisis más detallados con otros materiales o configuraciones de esta.

Es factible tener en cuenta que estos resultados son representativos y ofrecen una visión general del comportamiento de la malla de fique en el laboratorio. Su interpretación y análisis pueden brindar información clave para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

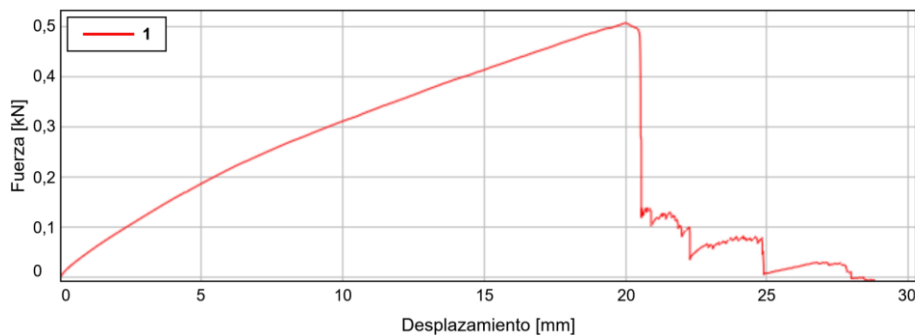


Ilustración 8: Gráfica esfuerzo-deformación fuente: Software maquina universal

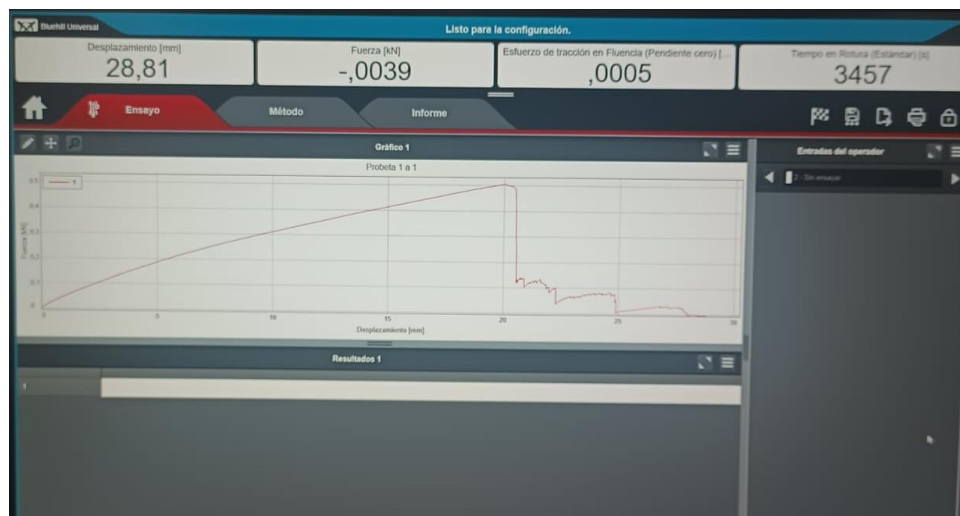


Ilustración 9: Datos adicionales Laboratorio de maquina universal, fuente: Software maquina universal

Tabla 2: Resumen resultados de laboratorio caracterización fibra de fique

Descripción	Valor	Medida
Desplazamiento	28.81	mm
Esfuerzo de tracción	,0005	---
Tiempo de rotura estándar	3457	Seg
Fuerza máxima	0,5	Kn
Desplazamiento Max fuerza	20	mm

La recopilación de datos sobre las propiedades mecánicas de las fibras de fique es fundamental para el análisis FEM, ya que a partir de los anteriores datos se determinan sus propiedades. Estas singularidades incluyen:

7.1.1.1 Módulo de elasticidad:

El módulo de elasticidad del fique puede variar entre 200 y 500 kPa (Buitrago et al., 2018), sin embargo, a partir de los laboratorios realizados se determinó el siguiente módulo de



elasticidad, los valores que se presentan a continuación son obtenidos mediante de los datos recolectados en la gráfica que se muestra en la **Ilustración 8:** Grafica esfuerzo-deformación fuente: Software maquina universal.

$$\text{Módulo de elasticidad } (E) = \frac{\text{Esfuerzo}(\text{Resistencia a la tracción})}{\text{Deformación}}$$

$$\text{Deformación} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{25,5 \text{ mm}}{126 \text{ mm}} = 0,20238$$

$$\text{Módulo de elasticidad } (E) = \frac{37,878 \text{ kPa}}{0,20238} = 187,15 \text{ kPa}$$

El módulo de elasticidad del fique es aproximadamente 187,15 kPa. Este valor indica que el material es relativamente flexible y tiene una baja rigidez en comparación con otros materiales utilizados en ingeniería civil, como el acero o el concreto.

7.1.1.2 Resistencia a la tracción:

La resistencia a la tracción de las fibras de fique puede oscilar entre 4 y 9 MPa (Sánchez et al., 2019), a partir de nuestros datos podemos calcular lo siguiente:

$$R_e = \frac{F_{aplicada}}{A_{transversal}} = \frac{0,5 \text{ kn}}{13,20 \text{ mm}^2} = \frac{500 \text{ N}}{0.000132 \text{ m}^2} = 3,8 \times 10^6 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$R_e = 3,79 \text{ Mpa}$$

La resistencia a la tracción calculada en condiciones secas es de 3,79 Mpa. Este valor se diferencia notablemente del nombrado anteriormente, esto puede deberse a diferentes condiciones durante el desarrollo del laboratorio, así como también las diferencias en las fibras analizadas en el estudio nombrado.

7.1.1.3 Deformación máxima:

La deformación máxima en las fibras de fique puede alcanzar entre 15% y 20% de lo longitud de referencia (Pérez et al., 2011). En nuestro caso nuestra longitud de referencia es de 126 mm, y tomando como punto de partida los porcentajes planteados se puede comprobar un desplazamiento máximo del **15 %** correspondiente a **20 mm** concluyendo que la afirmación dicha por (Pérez et al., 2011) es correcta.

7.1.1.1 Densidad:

Para tomar la densidad se utilizó el laboratorio determinando la masa y el volumen para poder obtener la densidad apropiada, tomando como referencia un volumen inicial de 600 ml. Según algunos autores la densidad de las fibras de fique varía entre 0.8 y 1.3 g/cm³ (Pérez et al., 2011).



Ilustración 10: Medición de masa Fuente: autor

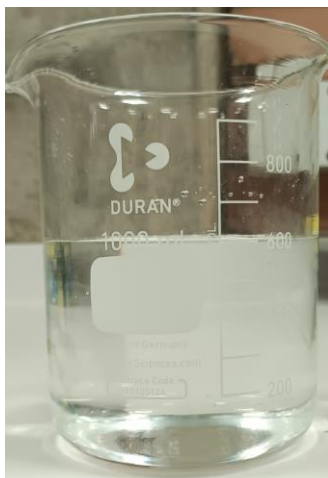


Ilustración 11: Medición de volumen inicial **Fuente:** autor

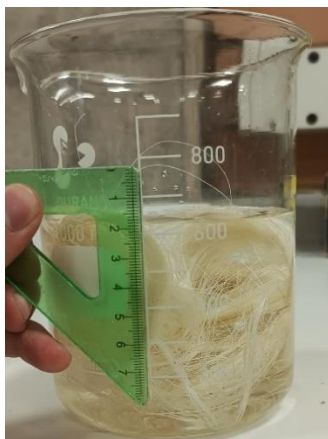


Ilustración 12: Medición de volumen final **Fuente:** autor

Tomando como referencia los resultados tomados en laboratorio se determinó la densidad estándar para la caracterización del material, y con este dato poder caracterizar el comportamiento de las celdas de carga de la malla de fique.

Tabla 3: Resultados laboratorio de densidad **Fuente:** autor

PROPIEDAD	VALOR
MASA (fique)	17 gr



VOLUMEN INICIAL V_o	600 ml
VOLUMEN FINAL V_f	620 ml
VOLUMEN (fique)	20 ml
DENSIDAD (m/v)	0,85

7.2 ANALISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA

El análisis de las propiedades mecánicas de la malla de fique es fundamental para entender su comportamiento bajo carga y su idoneidad para diversas aplicaciones. A partir de los ensayos de laboratorio, se obtuvieron datos valiosos sobre las características intrínsecas del material, incluyendo su densidad, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y deformación máxima.

La densidad de la malla de fique se determinó en 0,85 gr/ml, un valor relativamente bajo que sugiere una buena relación resistencia-peso para el material. Esto es relevante en muchas aplicaciones, donde el peso del material puede ser un factor limitante.

El módulo de elasticidad, que mide la rigidez del material, se determinó en **187,15 MPa**. Este valor indica que la malla de fique es relativamente flexible, lo que podría ser beneficioso en aplicaciones que requieren cierta flexibilidad o adaptabilidad del material a la forma o la carga.

La resistencia a la tracción de la malla de fique fue medida en **3,79 MPa**, lo que indica que el material puede soportar una considerable tensión antes de fallar. Esto sugiere que la malla podría ser adecuada para aplicaciones que requieran una alta resistencia a la tracción.

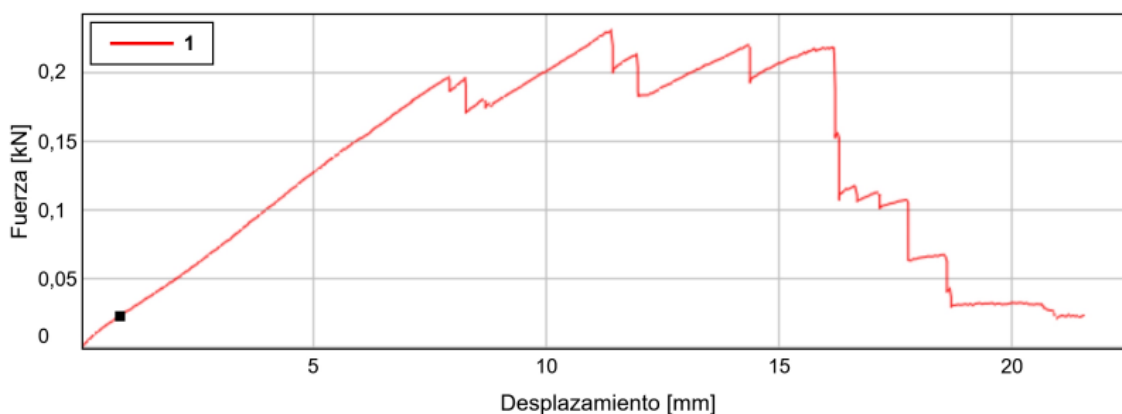
En cuanto a la deformación máxima en la aplicación de cargas ortogonales y puntuales en la malla, los valores obtenidos a partir de la modelación variaron en función de la carga aplicada. Los valores oscilaron desde 19,587 mm bajo una carga de 1.000 N hasta 135,4 mm bajo una

carga de 50.000 N. Esto indica una respuesta no lineal al aumento de la carga, lo que sugiere que la malla de fique tiene una buena capacidad para resistir la deformación elástica y puede ser capaz de soportar cargas cíclicas o fluctuantes.

Los resultados del análisis de las propiedades mecánicas de la malla de fique sugieren que este material tiene un buen equilibrio de resistencia, flexibilidad y resistencia a la tracción, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la respuesta específica de la malla de fique a la carga puede variar dependiendo de factores como las condiciones ambientales y la configuración específica de la malla.

7.3 RESULTADOS DE LABORATORIO MALLA DE FIQUE.

7.3.1 Contorno de la malla tejido bajo condiciones secas

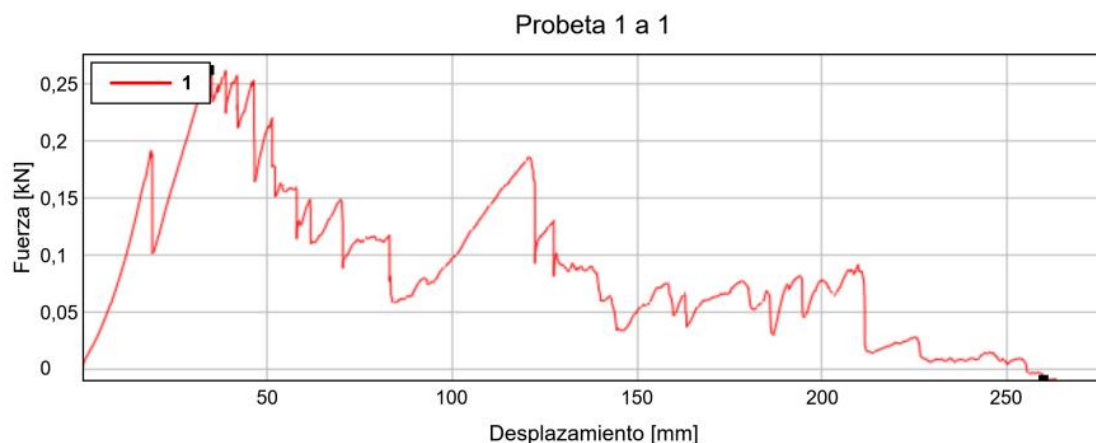


	Fuerza en Rotura (Estándar) [kN]	Deformación por tracción (Desplazamiento) en Rotura (Estándar) [%]	Tiempo en Rotura (Estándar) [s]
1	0,02	10,98	1291,88

	Fuerza en Fluencia (Pendiente cero) [kN]
1	0,20

Ilustración 13: Resultados maquina universal condiciones secas contorno tejido **Fuente:** Propia

7.3.2 Contorno de la malla tejido bajo condiciones húmedas

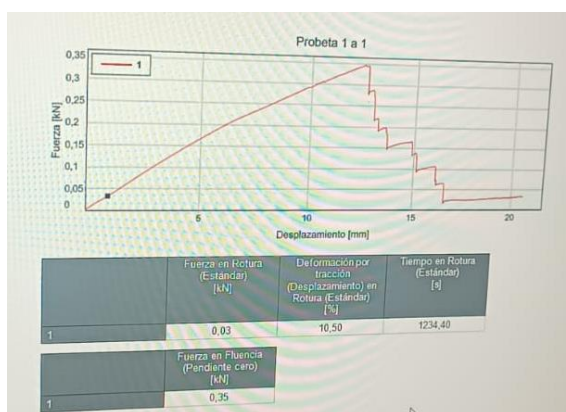


	Fuerza en Rotura (Estándar) [kN]	Deformación por tracción (Desplazamiento) en Rotura (Estándar) [%]	Tiempo en Rotura (Estándar) [s]
1	-0,01	149,45	3945,44

	Fuerza en Fluencia (Pendiente cero) [kN]	Desplazamiento en Rotura (Estándar) [mm]	Desplazamiento por tracción en Rotura (Estándar) [mm]
1	0,26	263,03	263,03

Ilustración 14: Resultados ensayo maquina universal bajo condiciones saturadas y contorno completo Fuente: Autor

7.3.3 Contorno de la malla sin tejer bajo condiciones secas



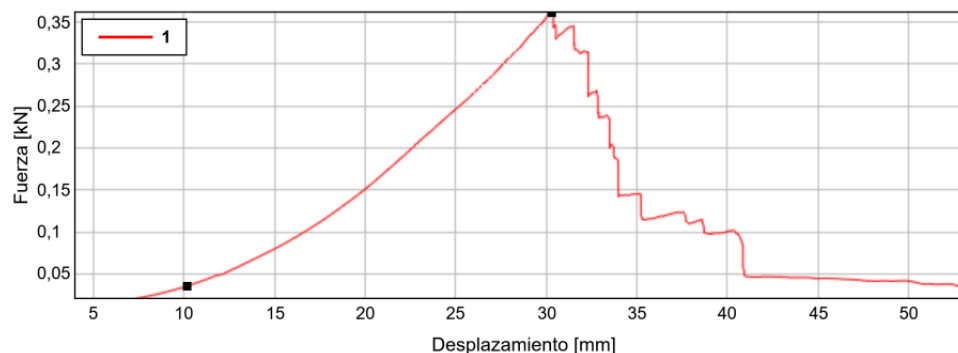
	Fuerza en Rotura (Estándar) [kN]	Deformación por tracción (Desplazamiento) en Rotura (Estándar) [%]	Tiempo en Rotura (Estándar) [s]
1	0,03	10,50	1234,40

	Fuerza en Fluencia (Pendiente cero) [kN]
1	0,35

Ilustración 15: Resultados ensayo maquina universal malla sin tejer bajo condiciones secas

Fuente: Autor

7.3.4 Contorno de la malla sin tejer bajo condiciones húmedas



	Fuerza en Rotura (Estándar) [kN]	Deformación por tracción (Desplazamiento) en Rotura (Estándar) [%]	Tiempo en Rotura (Estándar) [s]
1	0,04	30,07	3175,86

	Fuerza en Fluencia (Pendiente cero) [kN]	Desplazamiento en Rotura (Estándar) [mm]	Desplazamiento por tracción en Rotura (Estándar) [mm]
1	0,36	52,93	52,93

Ilustración 16: Resultados ensayo maquina universal malla sin tejer bajo condiciones humedas

Fuente: Autor

7.3.5 Geometría de la malla de fique

Los datos relacionados con la geometría de la malla de fique, como la longitud, el ancho, el espesor y el patrón de entrelazado de las fibras son fundamentales, para el modelado tridimensional de la malla. Estos datos se pueden obtener a partir de imágenes, planos o mediciones directas que se utilizarán en el análisis.

A continuación, se presenta la geometría de la malla de fique, en la cual se detalla la disposición de cada una de las fibras y su distribución correspondiente. Este diagrama permite determinar la celda representativa de la malla en estudio.

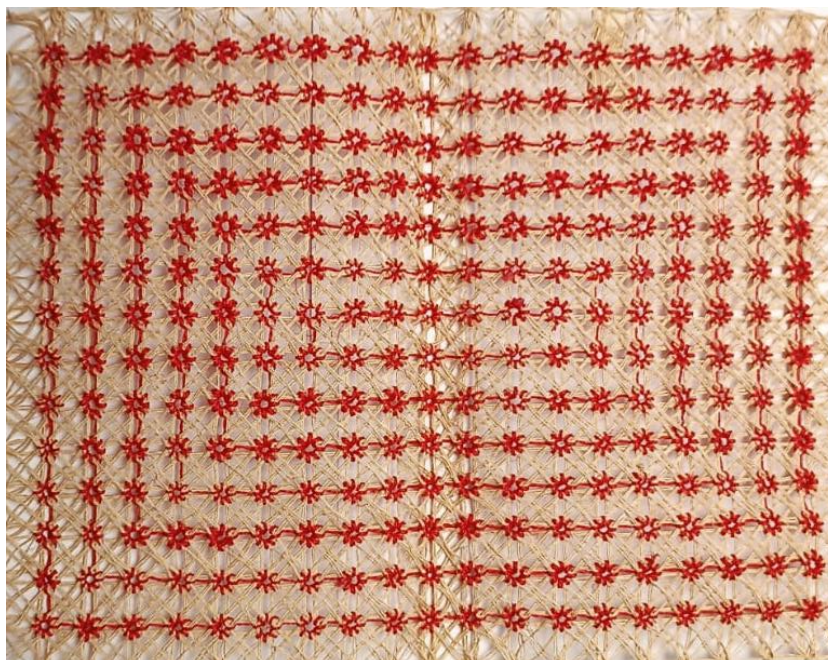


Ilustración 17: Malla de fique *Fuente:* autor

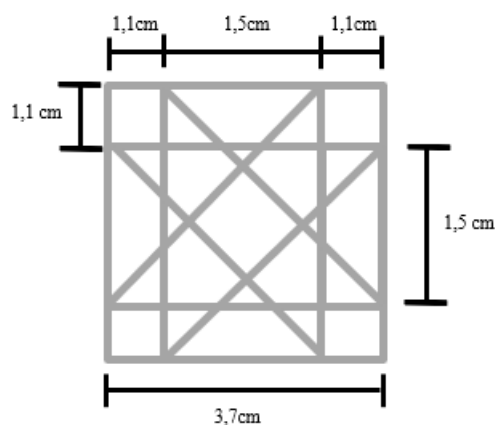


Ilustración 18: Celda representativa de la malla de fique *Fuente:* autor

7.3.6 Conexiones entre fibras de fique

La información sobre el tipo y las propiedades de las conexiones entre las fibras de fique en la malla es crucial para modelar con precisión la distribución de tensiones y deformaciones. Estos datos pueden incluir la resistencia y la rigidez de las uniones, así como la geometría y el patrón de conexión.



Ilustración 19: Conexiones entre la malla de fique **Fuente:** autor

A partir de los datos proporcionados por los ensayos de laboratorio, es posible observar algunas tendencias interesantes en el comportamiento mecánico de la malla de fique bajo diferentes condiciones, a continuación, se presenta un cuadro resumen con los datos de laboratorio.

Tabla 4: Resultados de laboratorio **Fuente:** Autor

Condición de la Malla	Ilustración	Fuerza de Rotura (KN)	Deformación por Tracción (%)	Tiempo de Rotura	Fuerza en Fluencia
Tejido (Seco)	Ilustración 13	0.02	10.98	1291.88	0.2
Tejido (Húmedo)	Ilustración 14	-0.01	149.45	3945.44	0.26
Sin Tejer (Seco)	Ilustración 15	0.03	10.5	1234.4	0.35
Sin Tejer (Húmedo)	Ilustración 16	0.04	30.07	3175.86	0.36



7.3.7 FUERZA A LA ROTURA

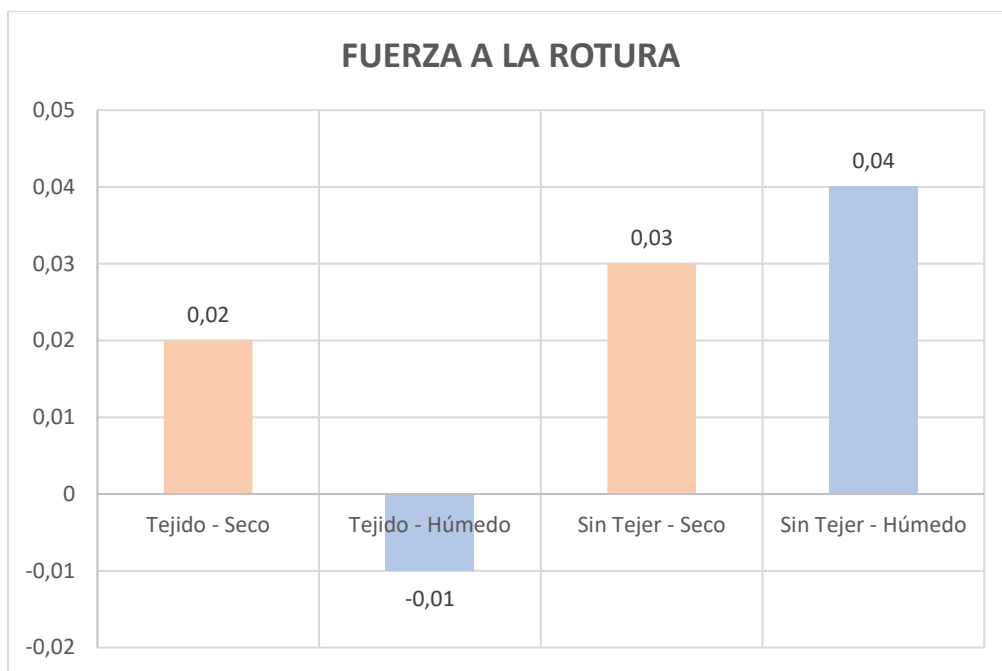


Ilustración 20: Grafica fuerza a la rotura *fuentes:* Autor

Los datos presentados indican la fuerza de rotura en diferentes condiciones para la malla de fique. A partir de la **Ilustración 20: Grafica fuerza a la rotura** *fuentes:* Autor se puede deducir lo siguiente: La malla tejida en condiciones secas tiene una fuerza de rotura de 0,02 KN. Esto sugiere que la malla tejida, cuando está seca, puede soportar una cantidad relativamente baja de fuerza antes de romperse. Sorprendentemente, dicha malla en condiciones húmedas muestra una fuerza de rotura negativa de -0,01 KN. En general, una fuerza de rotura no puede ser negativa. Esto puede ser un error en la medición o en la transcripción de los datos. Si no es un error, podría indicar un comportamiento anómalo o inusual que requiere una investigación adicional.

La malla sin tejer en condiciones secas tiene una fuerza de rotura de 0,03 KN. Esto es mayor que la malla tejida en condiciones secas, lo que indica que la malla sin tejer puede ser más resistente a la rotura cuando está seca. No obstante, La malla sin tejer en condiciones húmedas

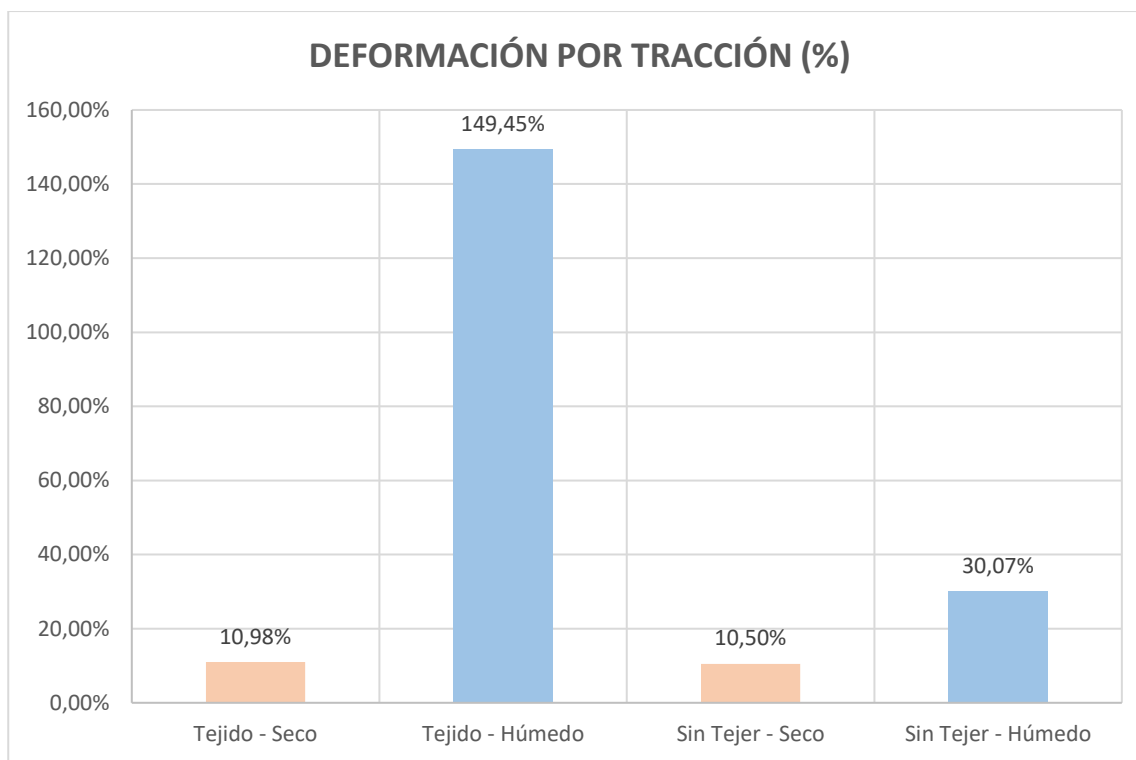


tiene la mayor fuerza de rotura, de 0,04 KN. Esto sugiere que la malla sin tejer, incluso cuando está húmeda, puede soportar una mayor fuerza antes de romperse que las otras condiciones evaluadas.

En general, estos resultados sugieren que la malla sin tejer de fique puede tener una mayor resistencia a la rotura en comparación con la malla tejida, tanto en condiciones secas como húmedas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la resistencia a la rotura puede estar influenciada por varios factores, como la densidad y la consistencia de las fibras en la malla, el método y la calidad del tejido, y las condiciones exactas de humedad y sequedad utilizadas en las pruebas.

En cuanto a la anomalía en la fuerza de rotura para la malla tejida húmeda, es relevante revisar el proceso de medición y los datos brutos para confirmar este resultado. Si la medición es correcta, entonces se debe investigar más a fondo para entender por qué la malla tejida húmeda muestra este comportamiento inusual.

7.3.8 DEFORMACIÓN POR TRACCIÓN (%)



*Ilustración 21: Grafica deformación por tracción **fuentes:** Autor*

La **Ilustración 21:** Grafica deformación por tracción **fuentes:** Autor e **Ilustración 22:** Grafica tiempo de rotura **fuentes:** Autor presentan la fuerza de rotura y la deformación por tracción en diferentes condiciones para la malla de fique. La malla tejida en condiciones secas tiene una fuerza de rotura de 0,02 KN y una deformación por tracción del 10,98%. Esto indica que, cuando se aplica una carga, la malla tejida seca puede soportar una cantidad relativamente baja de fuerza antes de romperse y se estira un 10,98% respecto a su longitud original antes de hacerlo.

En cuanto a la malla tejida en condiciones húmedas muestra una fuerza de rotura de -0,01 KN y una deformación por tracción extremadamente alta del 149,45%. Como se mencionó anteriormente, una fuerza de rotura negativa podría ser un error en la medición o en la



transcripción de los datos. La alta deformación por tracción sugiere que la malla tejida húmeda se estira significativamente, casi un 150% de su longitud original, antes de romperse. Esto podría indicar una alta elasticidad del material en estas condiciones, aunque se requiere más investigación para entender este comportamiento.

Por otra parte, la malla sin tejer en condiciones secas presenta una fuerza de rotura de 0,03 KN y una deformación por tracción del 10,50%. Esto sugiere que esta malla puede soportar una mayor cantidad de fuerza antes de romperse que la malla tejida seca y se estira en una proporción similar antes de hacerlo.

La malla sin tejer en condiciones húmedas tiene la mayor fuerza de rotura, de 0,04 KN, y una deformación por tracción del 30,07%. Esto sugiere que esta malla puede soportar la mayor cantidad de fuerza antes de romperse y se estira un 30,07% respecto a su longitud original antes de hacerlo.

Los datos analizados sugieren que la malla sin tejer puede tener una mayor resistencia a la rotura en comparación con la malla tejida, tanto en condiciones secas como húmedas. Además, la malla de fique ya sea tejida o sin tejer, puede estirarse significativamente antes de romperse, especialmente en condiciones húmedas.



7.3.9 TIEMPO DE ROTURA

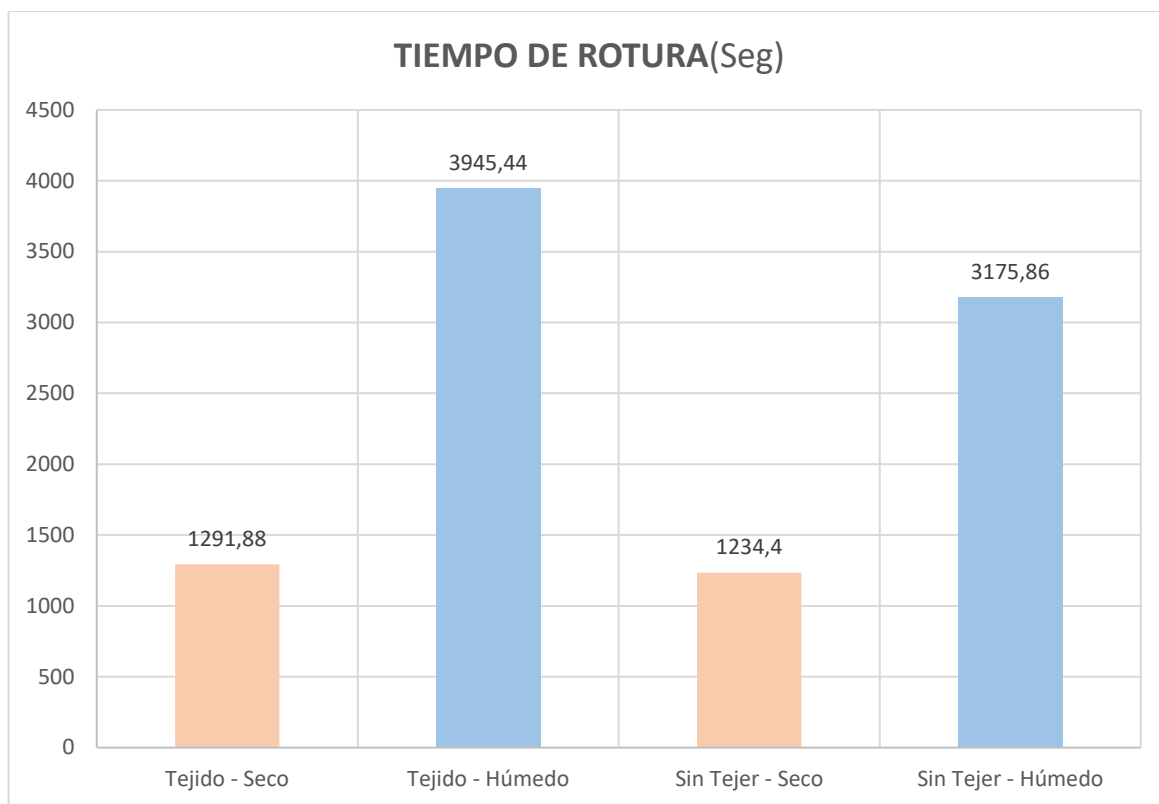


Ilustración 22: Grafica tiempo de rotura fuente: Autor

Los datos de la **Ilustración 22: Grafica tiempo de rotura fuente: Autor** proporcionan información adicional sobre el tiempo de rotura junto con la fuerza de rotura y la deformación por tracción que ya hemos discutido. Ahora podemos apreciar cómo la condición y la estructura de la malla (tejida o sin tejer) afectan la cantidad de tiempo que se necesita para que la malla se rompa bajo carga.

La malla tejida en condiciones secas muestra una fuerza de rotura de 0,02 KN, una deformación por tracción del 10,98% y un tiempo de rotura de 1291,88 segundos. Esto indica que la malla tejida seca puede sostener la carga aplicada durante un período relativamente largo antes de romperse.



La malla tejida en condiciones húmedas presenta una fuerza de rotura de -0,01 KN, una deformación por tracción excepcionalmente alta del 149,45% y un tiempo de rotura significativamente mayor de 3945,44 segundos. A pesar de la anomalía en la fuerza de rotura, la malla tejida húmeda puede soportar la carga durante un tiempo considerablemente mayor antes de romperse en comparación con su contraparte seca.

Por otra parte, la malla sin tejer en condiciones secas muestra una fuerza de rotura de 0,03 KN, una deformación por tracción del 10,50% y un tiempo de rotura de 1234,4 segundos. Aunque la malla sin tejer seca puede soportar una fuerza mayor antes de romperse en comparación con la malla tejida seca, su tiempo de rotura es ligeramente menor.

En contra parte la malla sin tejer en condiciones húmedas presenta una fuerza de rotura de 0,04 KN, una deformación por tracción del 30,07% y un tiempo de rotura de 3175,86 segundos. Esta malla puede soportar la mayor fuerza antes de romperse y mantiene la carga durante un tiempo considerable antes de hacerlo.

Se puede decir que la humedad aumenta el tiempo de rotura tanto para las mallas tejidas como para las sin tejer, siendo este efecto más pronunciado en las mallas tejidas. La malla sin tejer, tanto seca como húmeda, puede soportar una mayor fuerza de rotura en comparación con la malla tejida. Sin embargo, la malla tejida húmeda puede soportar la carga durante un tiempo significativamente mayor antes de romperse, a pesar de la anomalía en su fuerza de rotura la cual da negativa.



7.3.10 Fuerza en fluencia

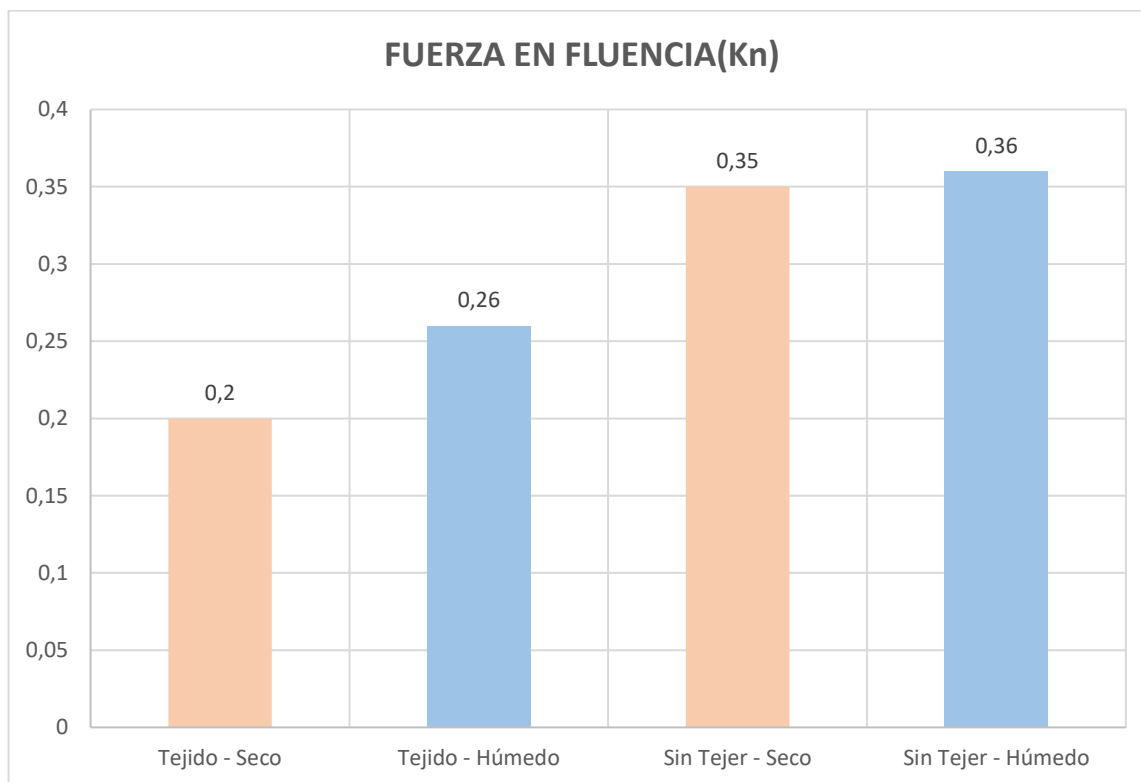


Ilustración 23: Grafico Fuerza en fluencia fuente: Autor

Tomando como referencia la **Ilustración 23: Grafico Fuerza en fluencia** fuente: Autor La fuerza en fluencia, que corresponde a la cantidad de tensión que un material puede soportar antes de deformarse de manera permanente, varía según las condiciones de la malla de fique.

Las mallas tejidas secas muestran una fuerza en fluencia de 0,2 KN, mientras que las mallas tejidas húmedas tienen una fuerza en fluencia ligeramente superior, de 0,26 KN. Este aumento podría deberse a la mayor plasticidad que adquiere el material en presencia de agua, permitiendo que la malla se deforme más antes de llegar a su punto de fluencia.

Por otro lado, las mallas sin tejer muestran una tendencia similar, aunque con fuerzas en fluencia más elevadas. Las mallas sin tejer secas presentan una fuerza en fluencia de 0,35 KN, mientras que las mallas sin tejer húmedas muestran una fuerza en fluencia de 0,36 KN. Del



mismo modo, la presencia de agua parece aumentar ligeramente la capacidad de la malla para soportar tensión antes de deformarse permanentemente.

En general, la fuerza en fluencia es mayor en las mallas sin tejer que en las tejidas, tanto en condiciones secas como húmedas. Asimismo, la humedad parece incrementar la fuerza en fluencia en ambos tipos de mallas, aunque en una magnitud reducida. Estos hallazgos sugieren que la estructura de la malla (tejida vs. sin tejer) y la humedad pueden influir significativamente en la resistencia de la malla de fique a la deformación permanente.

7.3.11 FUERZA MAXIMA

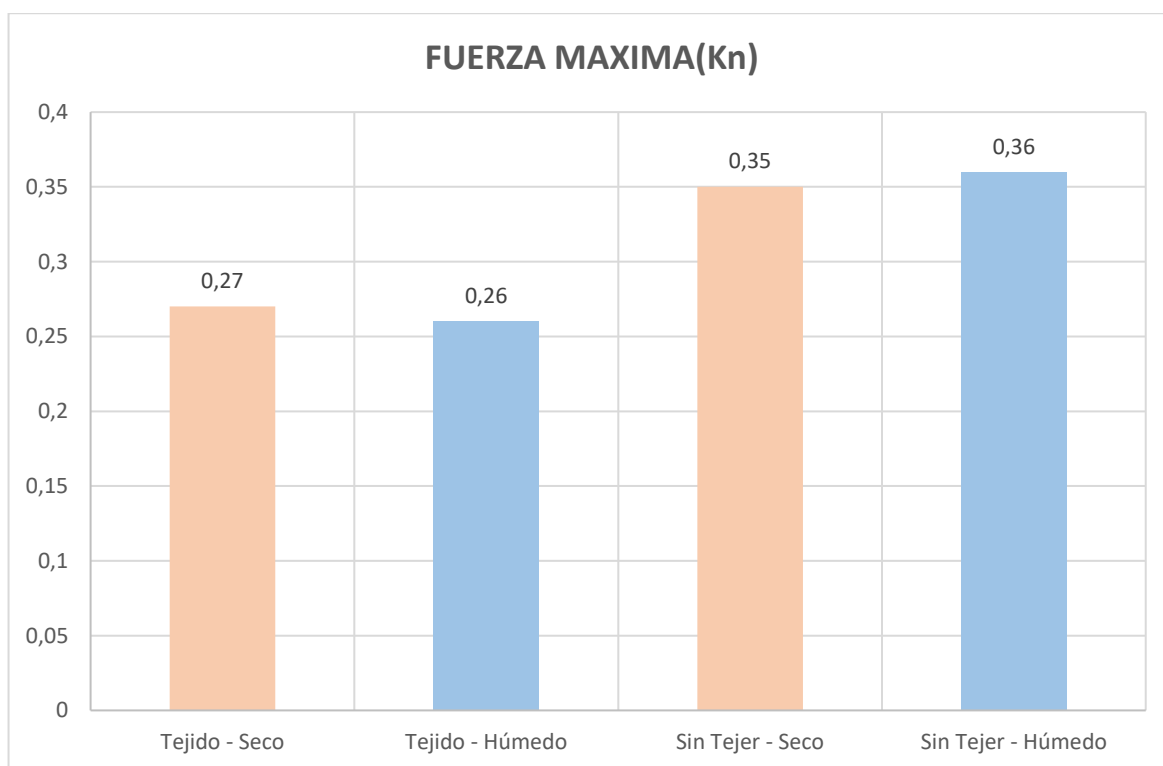


Ilustración 24: Grafica fuerza máxima **fuernte:** Autor

La **Ilustración 24:** Grafica fuerza máxima **fuernte:** Autor muestra las fuerzas máximas soportadas por la malla de fique en diferentes condiciones, para un contorno tejido en



condiciones secas presenta una fuerza máxima de 0,27 kN. Este valor es menor en comparación con las otras condiciones, lo que indica que la malla tejida en circunstancias secas puede no ser la más adecuada para soportar grandes cargas.

En cuanto a la malla tejida en condiciones húmedas presenta una fuerza máxima ligeramente menor, de 0,26 kN. Esto podría indicar que la humedad puede tener un impacto leve en la disminución de la resistencia.

La malla sin tejer en condiciones secas muestra una fuerza máxima de 0,35 kN. Esto es significativamente mayor que las mallas tejidas, lo que sugiere que la malla sin tejer puede ser más resistente en condiciones secas.

No obstante, la malla sin tejer en condiciones húmedas tiene la mayor fuerza máxima, de 0,36 kN. Esto sugiere que la malla sin tejer puede mantener su resistencia, e incluso mejorarla.

Se puede decir que las mallas sin tejer parecen tener una mayor resistencia en comparación con las mallas tejidas, tanto en condiciones secas como húmedas. Sin embargo, es transcendental tener en cuenta que estas diferencias pueden variar dependiendo de otros factores, como la densidad y la consistencia en las fibras en la malla, así como las circunstancias de humedad y sequedad utilizadas en las pruebas.

7.3.12 ANÁLISIS GENERAL

A través de los diversos análisis realizados sobre la malla de fique, se ha llegado a una serie de conclusiones fundamentales sobre las propiedades mecánicas y comportamiento de este material. Las características de la malla, como si está tejida o no, y si está seca o húmeda, las cuales tienen un impacto significativo en su rendimiento.



Las mallas tejidas y sin tejer muestran diferencias notables en todas las métricas analizadas: **fuerza de rotura, deformación por tracción, tiempo de rotura y fuerza en fluencia**. En general, las mallas sin tejer presentan mayor resistencia y deformación por tracción, lo que indica que pueden soportar mayores tensiones antes de romperse. Además, estas mallas experimentan un tiempo de rotura más prolongado, lo que sugiere que son capaces de resistir la aplicación de fuerza durante un período de tiempo más extenso.

Asimismo, se ha observado que la presencia de humedad afecta a las propiedades mecánicas de la malla de fique. En condiciones húmedas, las mallas, tanto tejidas como sin tejer, presentan un aumento en la deformación por tracción y en la fuerza en fluencia, lo que indica una mayor plasticidad y resistencia a la deformación permanente cuando el material está húmedo.

Por otro lado, cabe destacar que la fuerza en fluencia es mayor en las mallas sin tejer que en las tejidas, tanto en condiciones secas como húmedas. Este hallazgo sugiere que la estructura de la malla puede influir significativamente en su resistencia a la deformación permanente.



Tabla 5: Cuadro resumen, resultados de laboratorio, *fuentes:* autor

Condición de la Malla	Fuerza de Rotura (KN)	Deformación por Tracción (%)	Tiempo de Rotura	Fuerza en Fluencia	Conclusión
Tejido - Seco	0.02	10.98	1291.88	0.2	La malla tejida en condiciones secas demostró tener una fuerza de rotura y fuerza en fluencia baja, pero un tiempo de rotura considerable.
Tejido - Húmedo	-0.01	149.45	3945.44	0.26	En condiciones húmedas, la malla tejida mostró una deformación por tracción significativamente alta, lo que indica una mayor flexibilidad bajo estas condiciones.
Sin Tejer - Seco	0.03	10.50	1234.4	0.35	La malla sin tejer en condiciones secas mostró un mejor rendimiento en términos de fuerza de rotura y fuerza en fluencia en comparación con la malla tejida.
Sin Tejer - Húmedo	0.04	30.07	3175.86	0.36	En condiciones húmedas, la malla sin tejer demostró tener la mayor fuerza de rotura y fuerza en fluencia, lo que indica una mayor resistencia bajo estas condiciones.



7.4 MODELACIÓN

Para este caso se utilizó el software **ANSYS**, como método determinante para modelación de la malla, a fin de poder determinar el comportamiento unitario de la celda ante las diferentes sollicitaciones en sus principales nudos.

7.4.1 Geométrica de la malla de fique

Detallar las dimensiones y la geometría de la malla de fique, así como las proporciones de las fibras y su orientación para esto se tomó como referencia la geometría descrita anteriormente en la ilustración número 16, así mismo se tomó las medidas nombradas y su disposición final.

7.4.2 Modelo tridimensional

Explicar el proceso de creación del modelo tridimensional del tejido de fique, incluyendo las etapas de definición de la geometría, asignación de propiedades de los materiales y la representación de las fibras, en nuestro caso se diseñó la celda unitaria representativa de la malla para posteriormente poder generar el mallado característico.

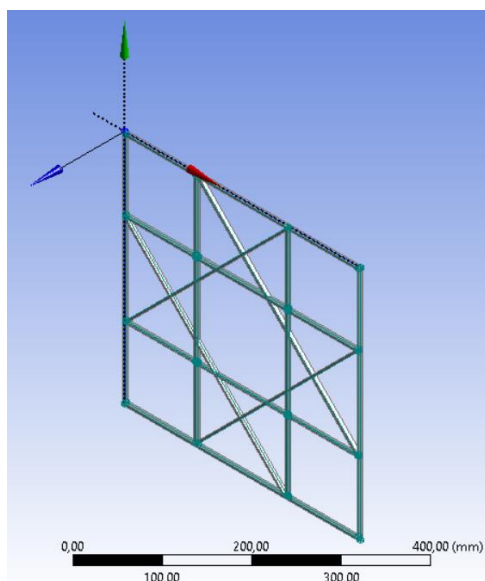


Ilustración 25: Modelación tridimensional, ANSYS, licencia estudiantil Fuente: Autor



A partir del modelado de la celda unitaria representado en la **Ilustración 18** se reconoce la importancia de poder discretizar la malla desde su elemento fundamental el cual se observa en la **Ilustración 25**, para posteriormente poder generar la réplica de 7 unidades fundamentales en las direcciones X Y, esto tomando en cuenta las limitaciones de ordenador utilizado.

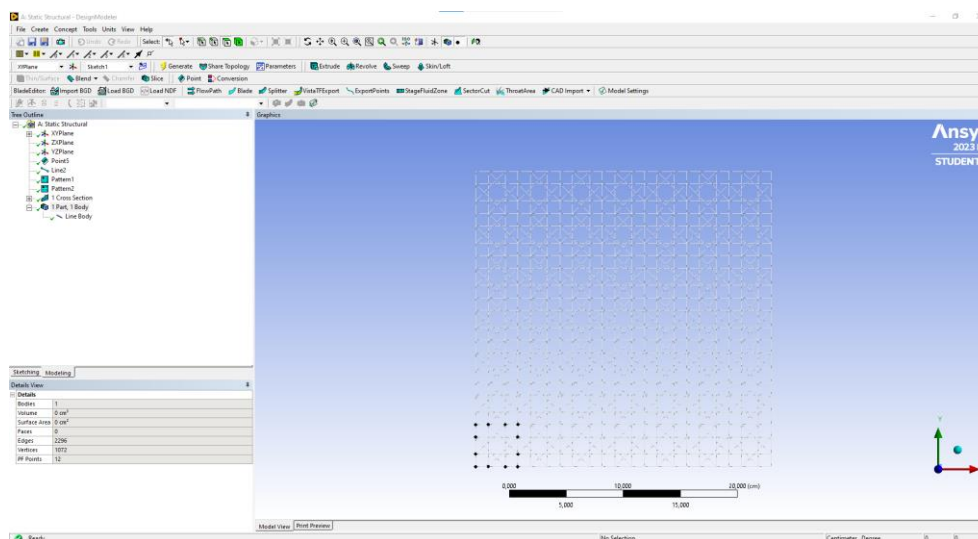


Ilustración 26: Modelación tridimensional mallado 29.9cm, ANSYS, licencia estudiantil Fuente:

Autor

Por medio de la réplica de celdas unitarias pudimos obtener una malla de 26cm X 26cm, la cual será nuestra geometría base para poder generar el análisis dinámico de la misma, esta se puede ver en la **Ilustración 26**.

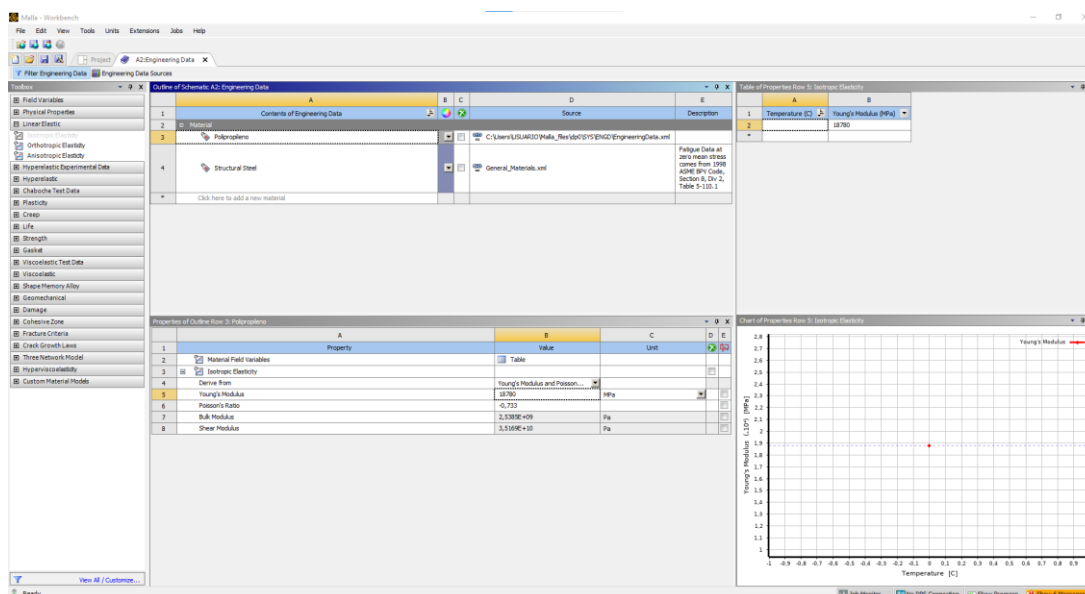


Ilustración 27: Configuración base del modelo *fuelle*: Autor

La **Ilustración 27** presenta la configuración básica del modelado en donde las propiedades del material se atribuyen de la siguiente manera, material de característica Anisotrópico cuyas propiedades físicas dependen de la dirección en la que se midan. El *fuelle*, en este caso, se asume como un material Anisotrópico para simplificar el análisis y la modelación. Esta suposición es razonable si las fibras naturales en la malla de *fuelle* están orientadas aleatoriamente o si el material no es uniforme en su composición.

El módulo de Young o elasticidad, con un valor de 18,780 MPa para el *fuelle*, es una medida de la rigidez del material. Representa la cantidad de deformación que experimentará el material bajo una carga determinada. Un módulo de Young más alto indica un material más rígido que es menos propenso a deformarse cuando se somete a cargas.

Por otro lado, la ratio de Poisson es una medida de la relación entre la deformación lateral y la axial de un material cuando se le somete a una carga. Una ratio de Poisson de -0.733, aunque



es un valor fuera del rango típico (entre 0 y 0.5 para la mayoría de los materiales), puede ser plausible si se consideran fenómenos de compresión o expansión volumétrica en el material. Debe revisarse la fuente y el contexto de este valor ya que puede afectar de manera significativa los resultados de la modelación.

En la modelación FEM, estas propiedades del material son esenciales para calcular cómo se distribuyen las tensiones y las deformaciones dentro de la malla de fiqué bajo las cargas aplicadas. La asunción de que el fiqué es un material isotrópico simplifica la modelación y el análisis al evitar la necesidad de considerar diferentes propiedades en diferentes direcciones. Sin embargo, cualquier variación en estas propiedades, como puede ser el caso con el ratio de Poisson, debe considerarse cuidadosamente, ya que podría influir en los resultados del análisis y la interpretación de estos.

7.4.3 Discretización de la malla en elementos finitos

La discretización es un proceso fundamental en el análisis de elementos finitos (FEM) que consiste en dividir un objeto o estructura en un conjunto discreto de partes más pequeñas, denominadas elementos finitos. Estos elementos se conectan entre sí en puntos llamados nodos. La discretización permite simplificar el modelo y facilitar la resolución de las ecuaciones diferenciales parciales que rigen el comportamiento del sistema.

En el contexto de este proyecto, la malla de fiqué debe ser discretizada en 2296 para llevar a cabo un análisis FEM que permita estudiar su comportamiento mecánico y determinar sus propiedades bajo diversas condiciones de carga y restricciones. La discretización adecuada es esencial para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos mediante el análisis FEM.



El proceso de discretización debe tener en cuenta aspectos como la geometría de la malla, las propiedades del material, las condiciones de contorno y las cargas aplicadas, así como el tipo y tamaño de los elementos finitos a utilizar. En este capítulo, se explicarán en detalle cada uno de estos aspectos y cómo influyen en la calidad y precisión del análisis FEM de la malla de fique.

7.4.4 Elección del tipo y tamaño de elementos finitos

La elección del tipo de elementos finitos a utilizar en el análisis FEM de la malla de fique es crucial para asegurar la precisión y eficiencia de los resultados. Existen diferentes tipos de elementos, como elementos lineales y cuadráticos, y de diversas formas, como tetraedros, hexaedros, prismas y pirámides. Cada tipo de elemento tiene ventajas y desventajas específicas en términos de precisión y coste computacional (Zienkiewicz, Taylor, & Zhu, 2005).

En el caso de la malla de fique, se recomienda emplear elementos tetraédricos, ya que estos son más versátiles para adaptarse a la geometría irregular de la malla y permiten una mayor precisión en áreas con mayor concentración de esfuerzos. Además, los elementos tetraédricos ofrecen un buen equilibrio entre precisión y coste computacional (Cook, Malkus, & Plesha, 1989).

El tamaño de los elementos finitos también es un factor importante para considerar en la discretización, ya que influye directamente en la calidad y precisión de los resultados. Un tamaño de elemento más pequeño permite capturar con mayor detalle las variaciones de esfuerzos y deformaciones en la malla, pero aumenta el número total de elementos y, por lo tanto, el coste computacional del análisis (Hughes, 2000). En este proyecto, se debe realizar un estudio de convergencia para determinar el tamaño óptimo de los elementos que garantice resultados precisos y confiables sin incurrir en costes computacionales excesivos.



7.4.5 Definir condiciones de contorno para malla

Las condiciones de contorno son fundamentales para la resolución del problema y se han definido de la siguiente manera:

Las esquinas de la malla están empotradas. Esto implica que, en esos puntos, tanto el desplazamiento vertical como el horizontal son restringidos, es decir, son iguales a cero. Las esquinas representan los puntos (0,0), (0,26), (26,0) y (26,26) en centímetros.

Por lo tanto, las condiciones de contorno para nuestro problema son:

- $u(0,0) = u(0,26) = u(26,0) = u(26,26) = 0$ (sin desplazamiento horizontal)
- $v(0,0) = v(0,26) = v(26,0) = v(26,26) = 0$ (sin desplazamiento vertical)

donde u y v son los desplazamientos en las direcciones x e y , respectivamente.

Estas condiciones de contorno reflejan la realidad física de nuestra malla, que está empotrada en sus cuatro esquinas, y son esenciales para guiar la solución del sistema de ecuaciones derivado del método de elementos finitos.

7.4.6 Deformaciones en malla

La deformación de la malla ante las diferentes condiciones de carga se presenta continuación, tomando como base los resultados arrojados en el software ANSYS

CARGA	DEFORMACIÓN MÁXIMA
1.000 N	19,587 mm
10.000 N	27,079 mm



50000 N	135,4 mm
---------	----------

Ilustración 28: Resultados análisis FEM, software ANSYS

A continuación, en la **Ilustración 29** se adjunta el QR pertinente de la modelación realizada en el presente proyecto, la simulación de la deformación de dicha modelación fue publicada en la plataforma **YouTube** para su divulgación, con el fin de que futuros investigadores puedan hacer uso de la esta.



Ilustración 29: QR_deformacion del mallado ANSYS fuente: autor

7.5 DISEÑO DEL SOFTWARE WEB

El diseño del software web se centró en un enfoque de desarrollo moderno, utilizando tecnologías como Material UI (MUI), TypeScript y React. Esto fue para garantizar un software de alto rendimiento, seguro y escalable.

Material UI, una popular biblioteca de componentes de React, se seleccionó por su amplia gama de componentes de diseño predefinidos y personalizables. Estos componentes ahorran tiempo de desarrollo y garantizan una interfaz de usuario consistente y amigable.



Además, MUI sigue las pautas de diseño de Material Design de Google, lo que facilita la creación de interfaces de usuario atractivas y funcionales.

TypeScript, una extensión tipada de JavaScript, fue elegido por su capacidad para detectar errores en tiempo de compilación, lo que puede prevenir muchos errores comunes de JavaScript. TypeScript también permite el uso de características modernas de JavaScript y proporciona una excelente autocompletación y documentación en muchos editores de código, lo que puede mejorar la productividad del desarrollo.

React fue elegido el marco principal debido a su eficiencia, flexibilidad y la gran comunidad de desarrolladores que lo respalda. React permite la creación de componentes de interfaz de usuario reutilizables, lo que puede reducir la duplicación de código y mejorar la eficiencia del desarrollo. Además, React es conocido por su virtual DOM, que optimiza la renderización y mejora el rendimiento de la aplicación.

El diseño y la maquetación del software se realizaron considerando las necesidades del usuario final. Se hizo especial énfasis en la facilidad de uso, la eficiencia y la accesibilidad.

7.5.1 GEOFEM

En el caso del software GeoFEM, que se centra en el análisis de elementos finitos, se propone una arquitectura de archivos que facilita el modularidad y la reutilización de componentes. Esta arquitectura está diseñada para garantizar que cada componente tenga una sola responsabilidad, lo que hace que el código sea más fácil de mantener y actualizar. La estructura de archivos sugerida para GeoFEM.



7.5.1.1 Estructura de archivos sugerida para GEOFEM

- **src:** Contiene todos los archivos fuente de la aplicación GeoFEM.
- **components:** Esta carpeta alojará todos los componentes reutilizables de React, cada uno con su propio directorio que incluye los archivos de TypeScript, MUI y estilo.
- **pages:** Esta carpeta contendrá todos los componentes de nivel de página, que corresponden a las diferentes vistas de la aplicación.
- **modules:** Esta carpeta incluirá subcarpetas para cada uno de los módulos de análisis de elementos finitos que se utilizarán en GeoFEM. Cada módulo contendrá la lógica y los componentes específicos para ese método de análisis.
- **services:** Aquí se almacenarán todos los servicios que se utilizan para gestionar la lógica de negocio, como las llamadas a la API, la manipulación de datos, etc.
- **utils:** Esta carpeta contendrá funciones de utilidad que son reutilizables en toda la aplicación.
- **assets:** En esta carpeta se almacenarán todos los archivos estáticos, como imágenes, fuentes, etc.
- **styles:** Esta carpeta contendrá todos los estilos globales y las constantes de estilo para la aplicación.

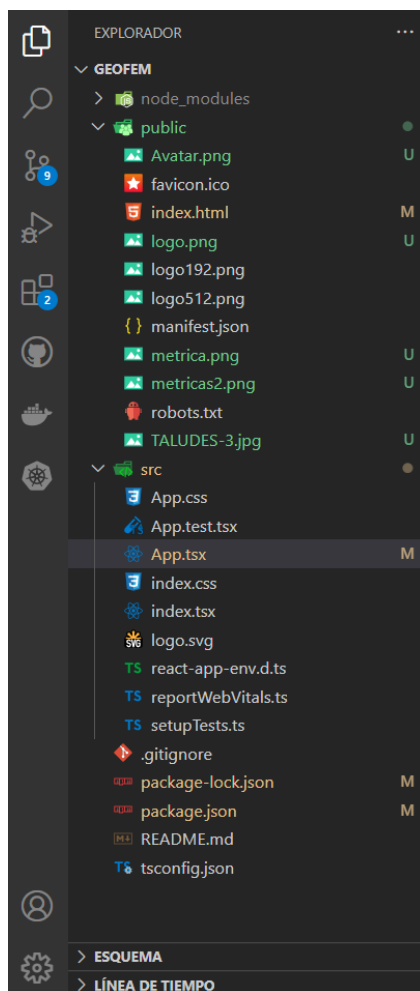


Ilustración 30:Arquitectura preliminar de GeoFem, fuente: Autor

La **Ilustración 30** se reprenha el bosquejo principal de la arquitectura propuesta, es de aclarar que dicha arquitectura está sujeta a cambios que se puedan presentar en el momento en el que se inicie el desarrollo del software planteado.

7.5.1.2 Librerías recomendadas para el desarrollo de GEOFEM

Además de las librerías estándar como MUI, TypeScript y React, se propone el uso de las siguientes librerías para la implementación de GeoFEM:

- **React Router:** Se utilizará para gestionar las rutas y la navegación entre las diferentes vistas y módulos de la aplicación.



- **Axios:** Para gestionar las solicitudes HTTP a cualquier API o servidor que se utilice para los cálculos de elementos finitos.
- **Redux o React Query:** Para la gestión del estado de la aplicación, lo que facilitará la sincronización de datos entre componentes y módulos.
- **Three.js o react-three-fiber:** Para visualizar los modelos de elementos finitos en 3D, lo que puede ser útil para los usuarios a la hora de comprender los resultados del análisis.

7.5.1.3 Diseño UX/UI de GEOFEM

El diseño UX/UI de GeoFEM se centra en proporcionar una experiencia de usuario intuitiva y eficiente. Se ha optado por un diseño limpio y minimalista, con un esquema de colores suaves y agradables a la vista. Los componentes de la interfaz de usuario se han diseñado para ser consistentes en todo el software, lo que ayuda a los usuarios a familiarizarse rápidamente con la interfaz y a utilizar el software de manera eficiente. La accesibilidad también ha sido una prioridad en el diseño de la interfaz de usuario, con colores, tamaños de fuente y contrastes seleccionados para ser fácilmente legibles para todos los usuarios.

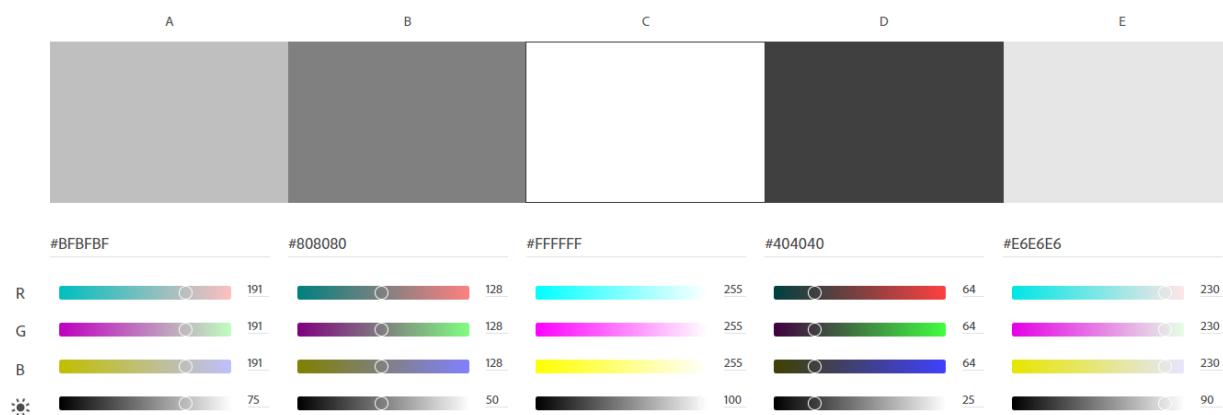


Ilustración 31: Paleta de colores sugerida **Fuente:** Autor



La **Ilustración 31** da como resultado la gama de colores que se plantea utilizar para el desarrollo de la aplicación, dicha paleta de colores se presenta en formato HEX y en formato RGB para garantizar la correcta implementación de este.

7.5.1.4 Variación de logo sugerido

La identidad visual del aplicativo web "**Geofem**" se caracteriza por la versatilidad y adaptabilidad de su logotipo. En el marco de este diseño, el logotipo del software evoluciona a través de una serie de variaciones que reflejan diferentes aspectos y funcionalidades del programa.



*Ilustración 32: Propuesta de logo en diferentes tonalidades **fuentes:** Autor*

Según la **Ilustración 32** La primera variante del logotipo es un diseño minimalista en blanco. Este logotipo simplificado se utiliza principalmente en fondos oscuros o en contextos donde un enfoque más discreto es preferible para no distraer de la información o contenido principal en la pantalla.

La segunda variante es el logotipo en negro. Este diseño de logotipo proporciona un contraste fuerte, y se utiliza principalmente en fondos claros para maximizar la visibilidad y el impacto visual.

La tercera variante del logotipo presenta un degradado que va del negro al rojo. Este diseño dinámico y atractivo simboliza el flujo de análisis de elementos finitos, que es una de las



características principales del software. El degradado puede interpretarse como una representación gráfica de la evolución y el crecimiento, reflejando la capacidad del software para adaptarse y crecer con las necesidades del usuario.

Finalmente, la variante del logotipo en rojo se usa para denotar características o funciones importantes del software. El color rojo es vibrante y llamativo, lo que atrae la atención del usuario a las partes esenciales de la interfaz.

Cada una de estas variantes del logotipo juega un papel integral en la presentación y percepción del software, contribuyendo a su identidad visual y asegurando su coherencia en diferentes entornos de uso.

7.5.1.5 Inicio de Dashboard

El dashboard de inicio del aplicativo web "Geofem" presenta un diseño intuitivo y visualmente atractivo que se centra en ofrecer a los usuarios una visión general de sus actividades y datos más importantes.

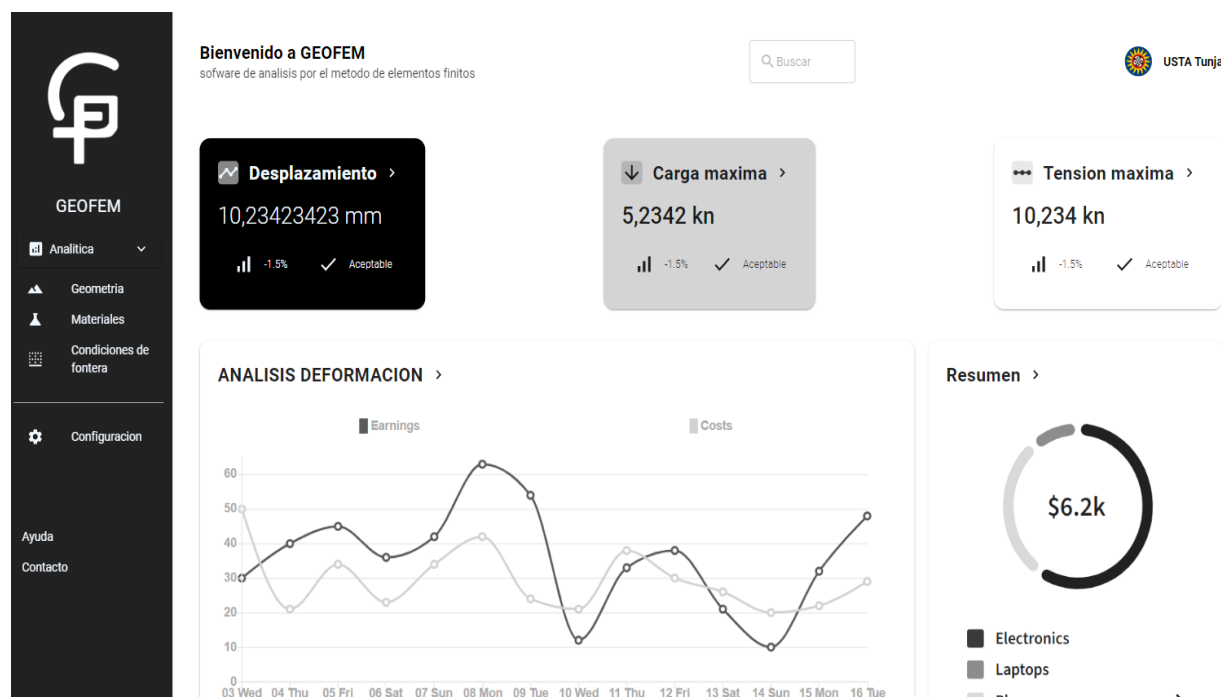


Ilustración 33: Pantalla de inicio fuente: Autor

El eje central de la interfaz es un panel de métricas cuidadosamente diseñado que proporciona una visión rápida y completa de los datos más relevantes para el usuario como se observa en **Ilustración 33: Pantalla de inicio fuente: Autor**. Este panel incluye métricas como desplazamiento de tipo escalar, carga máxima en kilonewtons, tensión máxima en kilonewtons y análisis de deformación. Estos indicadores clave de rendimiento son presentados de manera visualmente atractiva para facilitar la interpretación y la toma de decisiones basada en los datos.

Junto a este panel de métricas se encuentra el resumen de ingresos a la plataforma, que ofrece una visión detallada de cómo y desde dónde acceden los usuarios ingresan al software. Esta información es esencial para comprender las preferencias de los usuarios y adaptar la interfaz del software para ofrecer la mejor experiencia de usuario posible.

En el lateral de la pantalla se encuentra una slider en un elegante fondo negro que organiza las diferentes secciones del software, incluyendo Analítica, Geometría, Materiales,



Condiciones de Frontera, Configuración, Ayuda y Contáctanos. Este diseño de navegación lateral maximiza el espacio disponible en la pantalla y permite a los usuarios navegar de forma sencilla y rápida a través de las diferentes secciones del software.

Recopilando lo anterior se puede decir que el dashboard de inicio de "Geofem" ha sido diseñado para ofrecer una experiencia de usuario intuitiva y eficiente, proporcionando una visión general y accesible de los datos más relevantes y facilitando la navegación a través de las diferentes secciones del software.

7.5.1.6 Creación de modelo

La sección de creación del modelo en "Geofem" está especialmente diseñada para ofrecer a los usuarios la posibilidad de interactuar directamente con su modelo y manipularlo de acuerdo con sus necesidades.

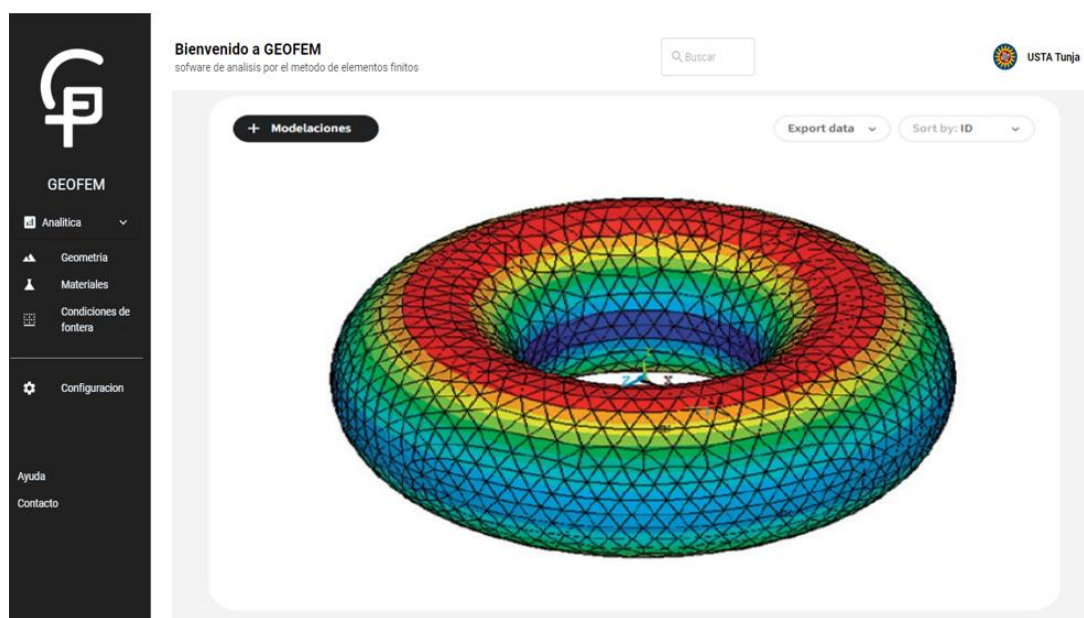


Ilustración 34: creación del modelo *fuentes: Propia*



En el centro de la interfaz, hay un paper que simula una pequeña elevación. Este espacio es interactivo tal y como se observa en la **Ilustración 34:creación del modelo fuente: Propia** y permite al usuario visualizar su modelo en un contexto tridimensional, similar a un entorno real. Este detalle añade una capa de inmersión y realismo a la experiencia del usuario.

Para facilitar el trabajo con modelos preexistentes, la sección cuenta con un topbar que incluye un botón para cargar modelos en formato. wbpj. Este formato es común en software de análisis de elementos finitos y permite al usuario trabajar con modelos complejos de manera eficiente.

Además, la topbar incluye un botón de descarga que permite a los usuarios obtener los resultados de su análisis en un formato accesible y fácil de manejar. Este botón es esencial para permitir a los usuarios documentar y compartir sus hallazgos, lo cual es una parte esencial del trabajo en este campo.

En conjunto, la sección de creación del modelo combina herramientas interactivas y prácticas para permitir a los usuarios trabajar de manera eficiente con sus modelos. Este diseño refuerza la orientación hacia el usuario de "Geofem" y facilita el trabajo en el ámbito del análisis de elementos finitos.

7.5.1.7 Registro en el aplicativo

La sección de registro en el aplicativo "Geofem" se encuentra diseñada para ser intuitiva y accesible para todos los usuarios como se observa en la **Ilustración 35:Registro en la aplicación fuente: Propia**. En un formato de tarjeta minimalista y elegante, se le solicita al usuario ingresar su nombre, correo electrónico y rol laboral (por ejemplo, ingeniero, arquitecto, ...). Esta información permite personalizar la experiencia del usuario y adaptar las características de la plataforma a sus necesidades específicas.



Además, en la parte izquierda de la interfaz se encuentra un menú deslizante con opciones adicionales. Este menú contiene enlaces a políticas de privacidad, opciones de integración con otros programas, ajustes de notificaciones y opciones de idioma. Este menú es una parte esencial de la interfaz, ya que permite al usuario personalizar su experiencia en la plataforma y acceder a funciones útiles y necesarias.

En conjunto, la sección de registro del aplicativo "Geofem" es una entrada intuitiva y personalizable a la plataforma, ofreciendo a los usuarios un control completo sobre su experiencia y asegurando que puedan sacar el máximo provecho de las características y capacidades de la plataforma.

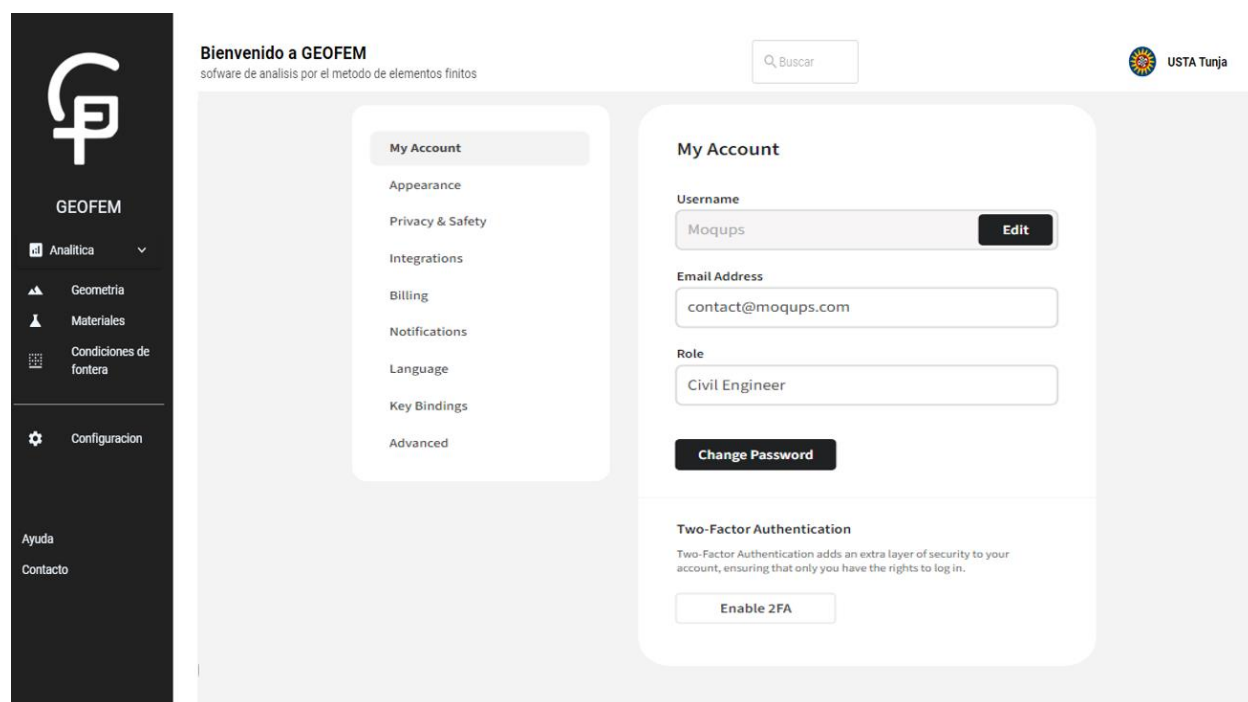


Ilustración 35: Registro en la aplicación *fuentes: Propia*

7.5.1.8 Mockups del aplicativo

En la sección de los mockups, correspondientes a las **Ilustración 36:Mockup GeoFem** **fuelle:** Propia e **Ilustración 37:Mokup creación de modelo fuele:** Propia en la tesis, presentamos las maquetas visuales de cómo se ve y funciona el software **Geofem** en su etapa de diseño. Este apartado es crucial ya que da una idea precisa de la apariencia final de la plataforma y cómo se organizan sus diferentes elementos.

En resumen, esta sección de mockups es un recurso visual crucial que ayuda a visualizar y entender cómo el software Geofem ha sido diseñado para ser una herramienta útil y fácil de usar para el análisis de elementos finitos.

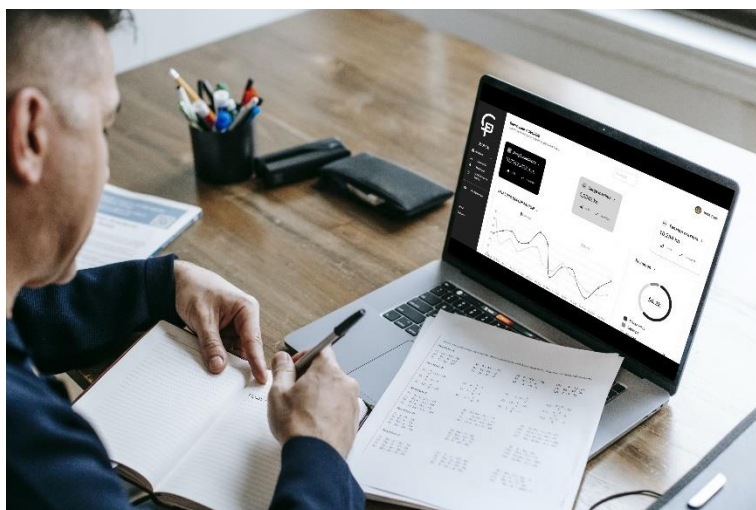


Ilustración 36:Mockup GeoFem fuele: Propia

La Ilustración 36:Mockup GeoFem **fuelle:** Propia muestra un mockup del software, presentando una vista detallada de las funcionalidades clave y la interfaz de usuario. La imagen ilustra cómo los elementos del diseño interactúan entre sí y cómo están dispuestos en la pantalla. Los colores, la tipografía y los espacios están pensados para una experiencia de usuario amigable e intuitiva.



Ilustración 37: Mokup creación de modelo **fuentes:** Propia

Por su parte, la Ilustración 37: Mokup creación de modelo **fuentes:** Propia muestra una vista más amplia de la plataforma, ofreciendo una visión completa de cómo se integran las diferentes secciones y características de la plataforma. Este mockup ofrece una visión más completa de la experiencia de usuario en Geofem y muestra cómo el flujo de trabajo puede ser gestionado de manera eficiente en la plataforma.

7.5.1.9 Flujo matemático propuesto

El análisis de residuos ponderados se utiliza en este estudio como una técnica matemática para resolver la ecuación diferencial que modela el comportamiento de la malla de fique bajo carga. Este método es particularmente útil cuando las soluciones analíticas a las ecuaciones diferenciales no son fácilmente disponibles o son demasiado complejas para ser útiles.

Aplicando el método de residuos ponderados, se obtuvo una serie de ecuaciones algebraicas que describen las deformaciones en la malla de fique bajo diferentes cargas. Estas ecuaciones fueron resueltas numéricamente para obtener los valores de las deformaciones en diferentes puntos de la malla. Los



resultados mostraron un patrón coherente de deformación, con los valores más altos en las áreas de la malla donde la carga es más alta.

Los resultados obtenidos a través del método de residuos ponderados proporcionaron una sustancial validación de los resultados obtenidos a través de los ensayos de laboratorio y el análisis por elementos finitos. En particular, la correlación entre los resultados del método de residuos ponderados y los resultados experimentales proporciona una fuerte evidencia de la validez de los modelos y las técnicas de análisis utilizados en este estudio.

El método de residuos ponderados ha demostrado ser una técnica eficaz para el análisis del comportamiento de la malla de fique bajo carga. Los resultados obtenidos a través de este método proporcionan una visión valiosa sobre las propiedades y el comportamiento de las fibras de fique, y ayudan a establecer una base sólida para futuras investigaciones en esta área.

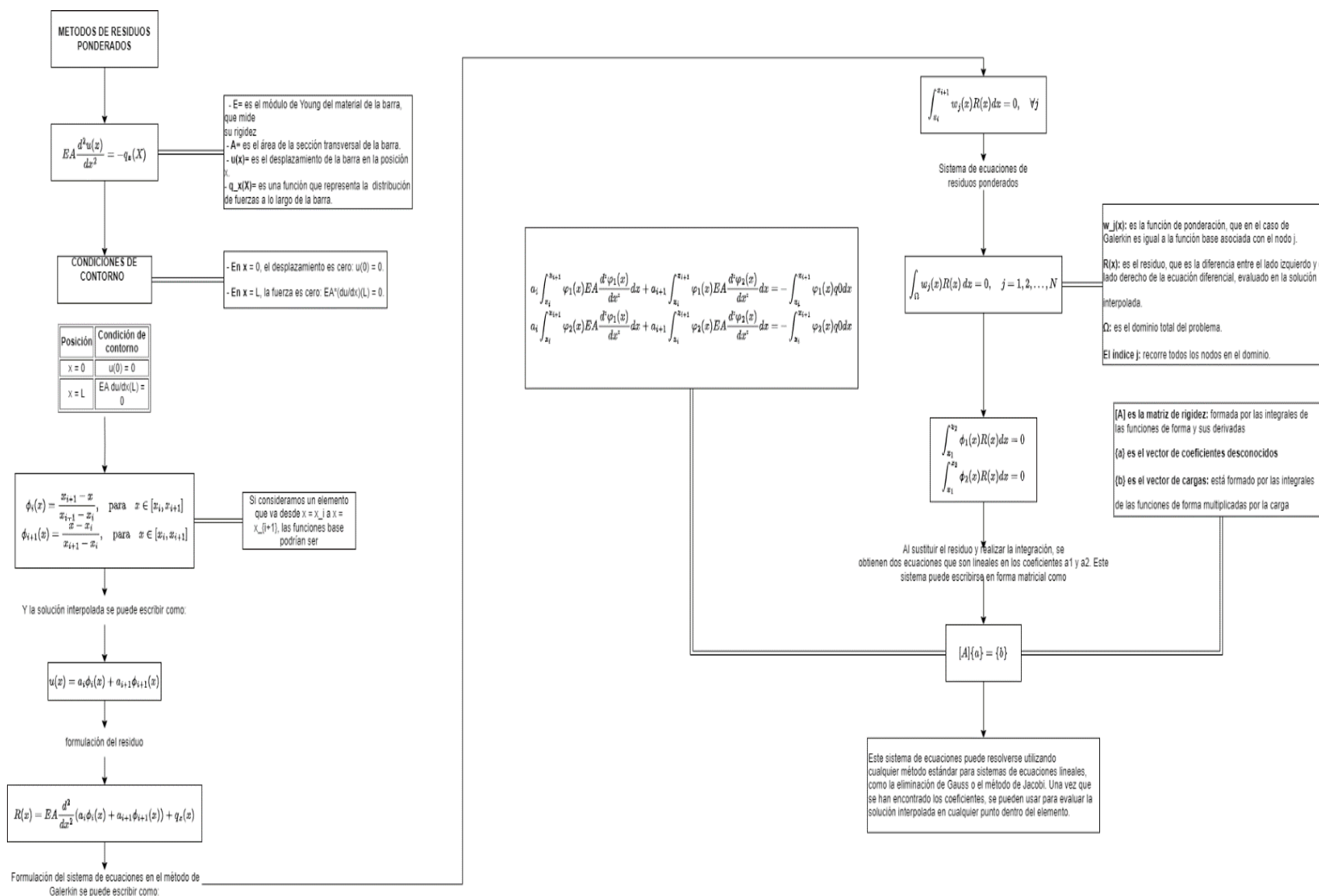


Ilustración 38: Flujo de residuos ponderados propuesta fuente: Autor



7.5.2 Base datos

Diseñar un diagrama de base de datos implica entender las relaciones que existen entre las diferentes entidades y cómo se relacionan entre sí. Para tu proyecto, no se dieron detalles específicos sobre los datos que necesitas almacenar, pero aquí te presento un ejemplo genérico de cómo podría verse el diagrama de la base de datos para un sistema de análisis de elementos finitos (FEM) implementado en una aplicación web.

Dado que estás trabajando con mallas, podrías tener tablas (entidades) separadas para Usuarios, Modelos, Mallas, Materiales, Condiciones de Contorno y Análisis.

7.5.2.1 Usuarios

Esta tabla almacena la información de los usuarios registrados en el sistema. Cada registro en la tabla representa a un usuario único.

Atributos:

- **ID:** Identificador único del usuario.
- **Nombre:** Nombre del usuario.
- **Apellido:** Apellido del usuario.
- **Correo Electrónico:** Dirección de correo electrónico del usuario.
- **Contraseña:** Contraseña encriptada del usuario.
- **Fecha de Registro:** Fecha y hora en la que el usuario se registró en el sistema.
- **Clave primaria:** idUsuarios.

7.5.2.2 Modelos

Esta tabla almacenaría información sobre los modelos subidos por los usuarios.



Atributos

- **idModelos:** Identificador único del modelo (entero).
- **Nombre_Modelo:** Nombre del modelo (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Fecha_Modelo:** Fecha del modelo (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Archivo_modelo:** Archivo del modelo (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Usuarios_idUsuarios:** Identificador del usuario al que pertenece el modelo (entero).
- **Clave primaria:** idModelos.
- **Clave foránea:** Usuarios_idUsuarios referencia a Usuarios.idUsuarios

7.5.2.3 Mallas

Esta tabla guardaría información sobre las mallas utilizadas en los modelos.

Atributos

- **idMallas:** Identificador único de la malla (entero).
- **Nº de elementos:** Número de elementos de la malla (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Tipo_mallado:** Tipo de mallado (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Condiciones de frontera:** Condiciones de frontera (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Modelos_idModelos:** Identificador del modelo al que pertenece la malla (entero).
- **Clave primaria:** idMallas.
- **Clave foránea:** Modelos_idModelos referencia a Modelos.idModelos.



7.5.2.4 Materiales

Esta tabla almacenaría los diferentes materiales que pueden ser asignados a las mallas.

Atributos

- **idMateriales:** Identificador único del material (entero).
- **tipo_materiales:** Tipo de material (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **m_Young:** Valor Young del material (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **ratio de Poisson:** Ratio de Poisson del material (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Clave primaria:** idMateriales.

7.5.2.5 Análisis

Finalmente, esta tabla almacenaría los resultados de los análisis FEM realizados en los modelos.

Atributos

- **idAnálisis:** Identificador único del análisis (entero).
- **Tipo de análisis:** Tipo de análisis (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **resultado de análisis:** Resultado del análisis (cadena de caracteres, máximo 45 caracteres).
- **Clave primaria:** idAnálisis

7.5.2.6 Mallas_has_Materiales

Tabla de relación que asocia las mallas con los materiales.

Atributos





- **Mallas_idMallas:** Identificador de la malla (entero).
- **Mallas_idMallas:** Identificador de la malla (entero).
- **Materiales_idMateriales:** Identificador del material (entero).
- **Clave primaria:** Mallas_idMallas y Materiales_idMateriales.
- **Clave foránea:** Mallas_idMallas referencia a Mallas.idMallas.
- **Clave foránea:** Materiales_idMateriales referencia a Materiales.idMateriales.

La tabla Mallas_has_Materiales se utiliza para establecer una relación de muchos a muchos entre las mallas y los materiales. Permite asociar múltiples materiales a una malla y viceversa. Los identificadores de las mallas y los materiales se utilizan como claves foráneas para mantener la integridad referencial.

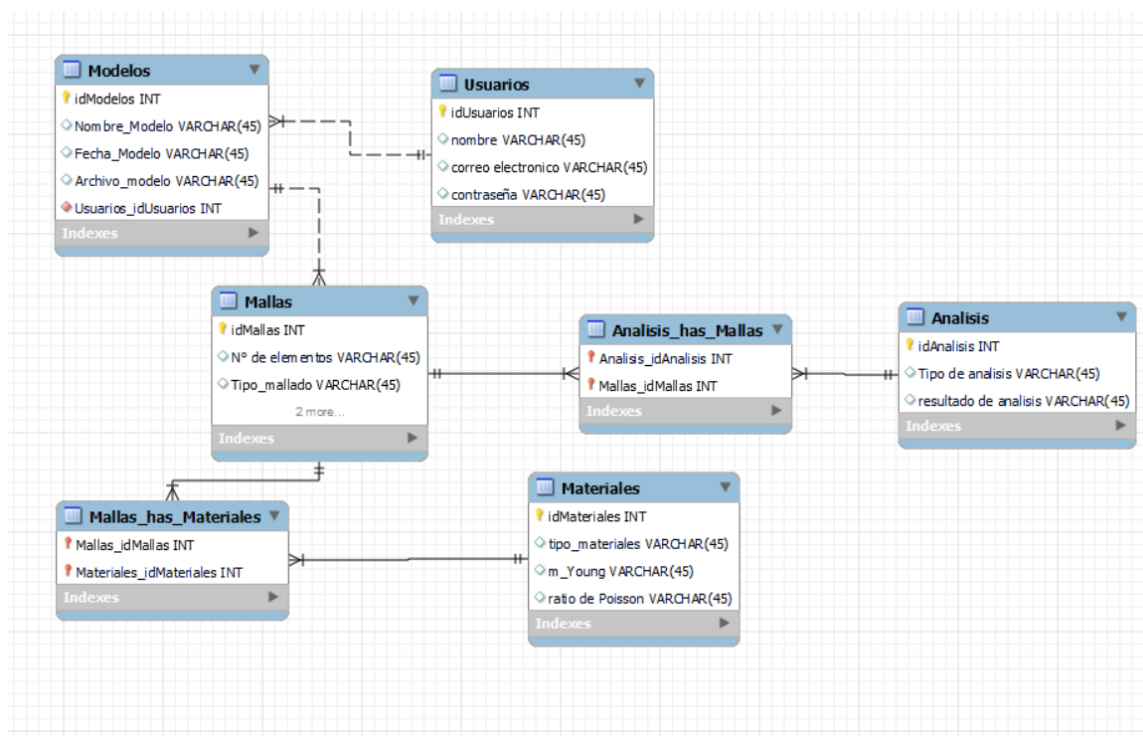


Ilustración 39:Propuesta base datos relacional *fuente: autor*



7.6 Control del trabajo

En la presente tabla se evidencia las actividades realizadas con su respectiva planificación, evaluación y control con el fin de brindar una visión global del desarrollo del proyecto

Tabla 6: Control de trabajo fuente: Propia

Actividad	Planificación	Evaluación	Control
Investigación de materiales	Se estableció una etapa inicial para recopilar información relevante sobre materiales utilizados en aplicaciones similares	Se evaluó la calidad y relevancia de la información recopilada en función de los objetivos del proyecto	Se revisaron los resultados y se ajustó la investigación según los nuevos hallazgos y avances en el campo
Ensayos de laboratorio en la malla de fique	Se definió una estrategia para realizar ensayos de laboratorio utilizando diferentes condiciones y métodos de tejido	Se evaluaron las propiedades mecánicas de la malla de fique y se compararon con los datos previos y la literatura existente	Se establecieron criterios de calidad y precisión en los ensayos y se verificó su cumplimiento mediante controles de calidad



Modelado y análisis con ANSYS	Se planificó la utilización del software ANSYS para realizar el modelado y análisis correspondientes	Se evaluaron los resultados obtenidos mediante validación experimental y se compararon con datos reales	Se realizaron verificaciones y comparaciones con otros modelos y técnicas para garantizar la precisión y aplicabilidad de los resultados
Desarrollo del software GeoFEM	Se estableció una metodología de desarrollo de software siguiendo las mejores prácticas de codificación y diseño	Se realizaron pruebas de usabilidad para evaluar la interfaz de usuario y se obtuvo retroalimentación de los usuarios	Se realizaron revisiones y pruebas regulares para garantizar la calidad y eficiencia del código
Revisión continua de librerías y herramientas	Se estableció un plan para revisar periódicamente las librerías y herramientas utilizadas en GeoFEM	Se evaluaron las librerías y herramientas utilizadas en función de la evolución de las tecnologías web y las necesidades del software	Se actualizó y ajustó la selección de librerías y herramientas según los avances y las necesidades del proyecto



8 CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos de laboratorio indican que las propiedades mecánicas de las fibras de fique, como la resistencia a la tracción, la deformación y la fuerza máxima, cambian en función de si la malla de fique está tejida o no tejida y si está seca o húmeda. Este conocimiento es esencial para la selección y uso adecuado de las fibras de fique en diversas aplicaciones.

El uso de **ANSYS** para modelar y analizar la malla de fique ha permitido obtener resultados valiosos y detallados sobre su comportamiento bajo diferentes condiciones y cargas. Sin embargo, los resultados son tan precisos como los datos y asunciones de entrada, por lo que es crucial asegurar la exactitud de estos.

El diseño del software GeoFEM, que utiliza tecnologías modernas y eficientes como MUI, TypeScript y React, tiene el potencial de proporcionar una herramienta poderosa y accesible para el análisis de elementos finitos. La arquitectura propuesta para el software asegura el modularidad y la escalabilidad, permitiendo la expansión y adaptación futuras de la herramienta.



9 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más ensayos de laboratorio en la malla de fique bajo diferentes condiciones y con diferentes métodos de tejido para obtener un conjunto de datos más completo sobre sus propiedades mecánicas.

En el modelado y análisis con **ANSYS**, se recomienda explorar diferentes modelos y enfoques para mejorar la precisión y la aplicabilidad de los resultados.

Para el desarrollo del software **GeoFEM**, se recomienda seguir las mejores prácticas de codificación y diseño de software para asegurar la calidad y la eficiencia del código. También se recomienda realizar pruebas de usabilidad para asegurar que la interfaz de usuario sea intuitiva y fácil de usar.

Dada la variedad de librerías disponibles y la rápida evolución de las tecnologías web, se recomienda realizar una revisión continua de las librerías y las herramientas utilizadas en GeoFEM para asegurar que sigan siendo las más adecuadas para las necesidades del software.

Finalmente, se recomienda la inclusión de expertos en elementos finitos y usuarios potenciales en las etapas de diseño y desarrollo del software **GeoFEM**, para asegurar que la herramienta sea útil y relevante para sus usuarios finales.



10 Glosario

- **Malla de Fique:** Es un tipo de red o tejido fabricado con fibras de fique, una planta nativa de los países andinos.
- **Elementos Finitos:** Es una técnica numérica para encontrar aproximaciones a las soluciones de problemas de valor límite.
- **Residuos Ponderados:** Es un método numérico utilizado para resolver ecuaciones diferenciales.
- **Anisotropía:** Refiere a la propiedad de ser direccionalmente dependiente, es decir, exhibe diferentes propiedades al ser medidas en diferentes direcciones.
- **Resistencia a la Tracción:** Es la máxima cantidad de fuerza tensil que un material puede soportar antes de romperse.
- **Módulo de Elasticidad:** Es una medida de la rigidez de un material. Es el ratio de la tensión a la deformación.
- **Deformación Máxima:** Es la máxima deformación o cambio en la forma que un material puede experimentar sin romperse.
- **Densidad:** Es la masa por unidad de volumen de un material.
- **Análisis Tridimensional:** Es un proceso de visualización de datos en tres dimensiones para entender mejor las características de los datos.
- **Discretización:** Es el proceso de convertir un dominio continuo en un dominio discreto.
- **Condiciones de Contorno:** Son las condiciones o restricciones que se aplican en los límites de un dominio en un problema de elementos finitos.
- **Software de Modelado Tridimensional:** Es una herramienta utilizada para crear representaciones tridimensionales de objetos físicos.



- **React.js:** Es una biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario.
- **TypeScript:** Es un lenguaje de programación que se basa en JavaScript, añadiendo tipado estático y otros elementos.
- **Material-UI (MUI):** Es una biblioteca de componentes de React para un desarrollo más rápido y fácil de interfaces de usuario.
- **UX (Experiencia de Usuario):** Es la experiencia que un usuario tiene al interactuar con un producto o servicio.
- **UI (Interfaz de Usuario):** Es el punto de interacción entre el usuario y un producto digital o servicio.
- **Arquitectura de Software:** Es la estructura y diseño de un sistema de software.
- **Geofem:** Es el nombre del software diseñado en este proyecto para el análisis de elementos finitos.
- **Laboratorio:** Es un lugar equipado para realizar investigaciones científicas o experimentos.
- **Conexiones entre fibras de fique:** Es la forma en que las fibras individuales de fique están unidas entre sí para formar la malla de fique.
- **Modelado por elementos finitos:** Es una técnica numérica para simular el comportamiento físico de un objeto o sistema.
- **Cargas aplicadas:** Son las fuerzas aplicadas a la malla de fique durante los experimentos.
- **Propiedades Mecánicas:** Son las propiedades de un material que revelan su comportamiento elástico y plástico cuando se aplica una fuerza.



- **Interfaz Gráfica:** Es el conjunto de elementos gráficos con los que un usuario interactúa para usar un software.
- **Fuerza de Rotura:** Es la máxima fuerza que un material puede soportar
- **Ensayo de tracción:** Es una prueba mecánica utilizada para medir la resistencia y la deformación de un material sometido a una carga de tracción. Se aplica una fuerza en direcciones opuestas a ambos extremos del material y se registra la respuesta a medida que se aplica la carga.
- **Coeficiente de Poisson:** Es una medida de la relación entre las deformaciones laterales y longitudinales de un material cuando se le somete a una carga. Indica la rigidez transversal del material.



11 Bibliografía

- AnalyticalIndicator \textbar MOOSE. (s. f.). Recuperado 10 de septiembre de 2022, de*
<https://mooseframework.inl.gov/source/indicators/AnalyticalIndicator.html>
- Austrell, P.-E. (2004). CALFEM: A finite element toolbox: version 3.4. Structural Mechanics, LTH.*
- Baquero, L. H. (2013). EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN DINAMICA SUELO-ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN LADERA. 1, 1(1), 214.*
- CALCULIX: A Three-Dimensional Structural Finite Element Program. (2023, septiembre 9).*
<http://www.calculix.de/>
- Camacho Orozco, S., & Ramos-Cañón, A. M. (2016). Failure potential index for slopes conditioned by landforms. Bol. Cienc. Tierra, 40, 39-45. <https://doi.org/10.15446/rbct.n40.53658>*
- CASTM, C. (2019, octubre 9). Cast3M - Mathematical software—SwMATH [CAS3M].*
<https://swmath.org/software/12114>
- Chen, H., Liu, B., Zhou, W., Wang, D., & He, C. (2015). Mechanical behavior of a slope reinforced with sisal fiber inclusions. 2015, 93(1066), 1076.*
- Code_Aster. (2010, octubre 10). [Code_Aster]. <https://www.code-aster.org/spip.php?rubrique1>*
- DUNE, D. (2013, septiembre 5). DUNE - DUNE Numerics [DUNE]. <https://www.dune-project.org/>*
- ELMER, F. (2014). Elmer FEM – open source multiphysical simulation software [ELMER FEM].*
<http://www.elmerfem.org/blog/>
- FEAP - Mathematical software—SwMATH. (2012, febrero 17). [FEAP].*
<https://swmath.org/software/4963>
- FEniCSx \textbar FEniCS Project. (2011, mayo 15). [FENICSX]. <https://fenicsproject.org/>*
- FTS, A. (2022, febrero 10). FTS Andina S.A.C. \textbar Tapa Tool-Less® [ANDINA]. <https://www.fts-andina.com/producto/tapa-tool-less/>*
- GET, F. (2019). GetFEM Homepage—GetFEM [GET FEM]. <https://getfem.org/>*



Jackson Andrés, G. H. (2018). *ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO, ENTRE LOS SISTEMAS DE APOYO INDIVIDUAL Y TIPO PANTALLA, PARA EL REFORZAMIENTO DE UN TALUD CON ANCLAJES*. UNAL.

Kratos multiphysics—Buscar con Google. (2019). [KRATOS].

<https://www.google.com/search?q=Kratos+multiphysics&oq=Kratos+multiphysics&aqs=chrome..69i57j0i19l3j0i19i22i30l5.314j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

Laura Ángela, G. O. (2017). *Estudio del efecto de la morfología sobre la estabilidad de taludes sometidos a lluvia*. UNAL.

MAITFEM, M. (2018). MATFEM - Home [MAITFEM]. <https://www.matfem.de/en/>

MARTIN, E. M. (2016). *Modelo numérico micromecánico del proceso de fractura de estructuras fabricadas con bambú Guadua angustifolia*. UNAL.

Noy Hilarión, F. L. (2013). *Programa didáctico a código abierto de análisis dinámico de estructuras UNDIN 1.0*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/50830>

Open System for Earthquake Engineering Simulation—Home Page. (2018). [SIMULATION]. <https://opensees.berkeley.edu/>

OpenFOAM. (2019). [FOAM]. <https://www.openfoam.com/>

Prasad, B., Muni Reddy, G., Prasad, B., Muni Reddy, G., Murali Krishna, B., & Varghese, S. (2017). *Analysis of slope stability with natural fibre reinforcement using finite element method*. 2017, 12(3), 433-446.

Segrera, D. L. L., & Garzón-Alvarado, D. A. (2012). *Enseñanza del método de los elementos finitos en ingeniería civil y mecánica utilizando el programa de computador a código abierto PEFiCA*. *Revista Educación en Ingeniería*, 7(14), 35-46.

The deal. II Library: Tutorial programs. (2018). <https://www.dealii.org/current/doxygen/deal.II/Tutorial.html>

Ramírez, C. A., Ramírez, J. H., & Mina, J. H. (2014). *Fibras de fique: alternativa para mitigar el cambio climático*. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41(2), 241-251.



Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2000). *The finite element method: Its basis and fundamentals*.

Butterworth-Heinemann.

Gaviria, A. C., & Gómez, J. A. (2014). *Caracterización mecánica de fibras de fique para refuerzo de concreto*. *Ingeniería y Ciencia*, 10(20), 9-31.

Buitrago, F., González, J., & Cortés, F. (2018). *Caracterización mecánica de fibras de fique y su influencia en el comportamiento de materiales compuestos*. *Revista de Ciencias*, 22(2), 123-135.

Sánchez, L., Martínez, R., & Torres, G. (2019). *Caracterización mecánica de fibras de fique para aplicaciones en la industria textil*. *Revista de Materiales*, 15(2), 45-58.

Pérez, M., Gutiérrez, J., & Rodríguez, L. (2011). *Caracterización mecánica de fibras de fique para su uso en materiales compuestos*. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 9(2), 34-48.



12 Apéndices y Anexos

12.1 Anexos

```
App.jsx M X
src > App.jsx > Dashboard
57 return (
58   <div className={classes.root}>
59     <Box>
60       <Drawer
61         className={classes.drawer}
62         variant="permanent"
63         classes={{
64           paper: classes.drawerPaper,
65         }}
66         sx={{ backgroundColor: '#ffd7d' }}
67       >
68         <List>
69           <ListItem>
70             <Box>
71               component='img'
72               src='/logo.png'
73               sx={{ width: '100%', justifyContent: 'center' }}
74             </Box>
75           </ListItem>
76           <ListItem sx={{ justify-content: 'center' }}>
77             <Typography align="center" variant="h5" color="#f0f0ff">GEOFEM</Typography>
78           </ListItem>
79           <ListItem>
80             <Box width="100%">
81               <Accordion sx={{ background: 'transparent' }}>
82                 <AccordionSummary
83                   expandIcon={<ExpandMoreIcon className={classes.icon} />}
84                   aria-controls="panel1a-content"
85                   id="panel1a-header"
86                   sx={{ background: '#ffd7d' }}
87                 >
88                   <AnalyticsIcon className={classes.icon} />
89                   <Typography marginX={1} align="center" variant="body1" color="#f0f0ff"> Analitica</Typography>
90                 </AccordionSummary>
91                 <AccordionDetails>
92                   <Box marginX={2} display="flex">
93
```

Ilustración 40:Codigo fuente página principal fuente: Autor

```
App.jsx M X
src > App.jsx > Dashboard
131 <Box>
132   <main className={classes.content}>
133     <Box display="flex" sx={{ justify-content: 'space-between' }}>
134       <Box>
135         <Typography fontWeight={700} variant="h5" color="#ffd7d 90%">Bienvenido a GEOFEM</Typography>
136         <Typography sx={{ opacity: '80%' }} variant="body1" color="#ffd7d 90%"> software de analisis por el metodo de elementos finitos</Typography>
137       </Box>
138       <Box sx={{ display: 'flex', alignItems: 'center' }}>
139         <TextField
140           variant="outlined"
141           InputProps={{
142             startAdornment: <SearchIcon color="disabled" />,
143             sx: { ml: 1 },
144           }}
145           placeholder="Buscar"
146           sx={{
147             width: '160px',
148             marginX: '30px'
149           }}
150         </TextField>
151       </Box>
152     </Box>
153     <Stack direction="row" spacing={2} alignItems="center">
154       <Avatar alt="Remy Sharp" src="/Avatar.png" />
155       <Typography fontWeight={600} variant="body1" color="initial">USTA Tunja</Typography>
156     </Stack>
157   </Box>
158   <Box marginTop={9} display="flex" justify-content="space-between">
159     <Card sx={{ backgroundColor: '#000000', borderRadius: '15px', padding: '10px' }}>
160       <CardContent>
161         <Box display="flex" sx={{ alignItems: 'center' }}>
162           <TimelineIcon className={classes.icon} sx={{ background: '#878787', borderRadius: '5px', marginRight: '15px', fontSize: '30px' }} />
163           <Typography align="center" sx={{ fontSize: '25px', fontWeight: 600, alignItems: 'center' }} color="#f0f0ff"> Desplazamiento
164         </Typography>
165       </CardContent>
166       <NavigateNextIcon className={classes.icon} sx={{ marginX: '10px' }} />
167     </Box>
168   </Box>
169 </main>
170 </Box>
171 </div>
172 </return>
173 </App>
174 </src>
```

Ilustración 41:Codigo fuente página principal fuente: Autor



```
App.tsx M X
src > App.tsx > Dashboard
197 <CardContent>
198 <Box display='flex' sx={{ alignItems: 'center' }}>
199 <ArrowDownwardIcon sx={{ background: '#87878766', borderRadius: '5px', marginRight: '15px', fontSize: '30px', color: '#000000de' }} />
200 <Typography align='center' sx={{ fontSize: '25px', fontWeight: 600, alignItems: 'center' }} color='#000000de'>
201   Carga máxima
202 </Typography>
203 <NavigateNextIcon sx={{ marginX: '10px', color: '#000000de' }} />
204 </Box>
205 <Box>
206 <Typography align='left'
207   sx={{ fontSize: '30px', fontWeight: 500, alignItems: 'center', marginY: '15px' }}
208   color='#000000de'
209 >
210   5,2342 kn
211 </Typography>
212 </Box>
213 <Box display='flex' sx={{ justifyContent: 'space-around' }}>
214 <Box display='flex' sx={{ alignItems: 'center' }}>
215 <SignalCellularAltIcon sx={{ color: '#000000de', marginRight: '15px', fontSize: '30px' }} />
216 <Typography
217   align='left'
218   sx={{ fontSize: '14px', fontWeight: 300, alignItems: 'center', marginY: '15px' }}
219   color='#000000de'
220   >-1.5%</Typography>
221 </Box>
222 <Box display='flex' sx={{ alignItems: 'center' }}>
223 <CheckIcon sx={{ color: '#000000de', marginRight: '15px', fontSize: '30px' }} />
224 <Typography
225   align='left'
226   sx={{ fontSize: '14px', fontWeight: 300, alignItems: 'center', marginY: '15px' }}
227   color='#000000de'
228   >Aceptable</Typography>
229 </Box>
230 </Box>
231 </CardContent>
232 </Card>
233 <Card sx={{ backgroundColor: '#80808000', borderRadius: '15px', padding: '10px' }}>
```

Ilustración 42:Codigo fuente página principal **fuentes:** Autor

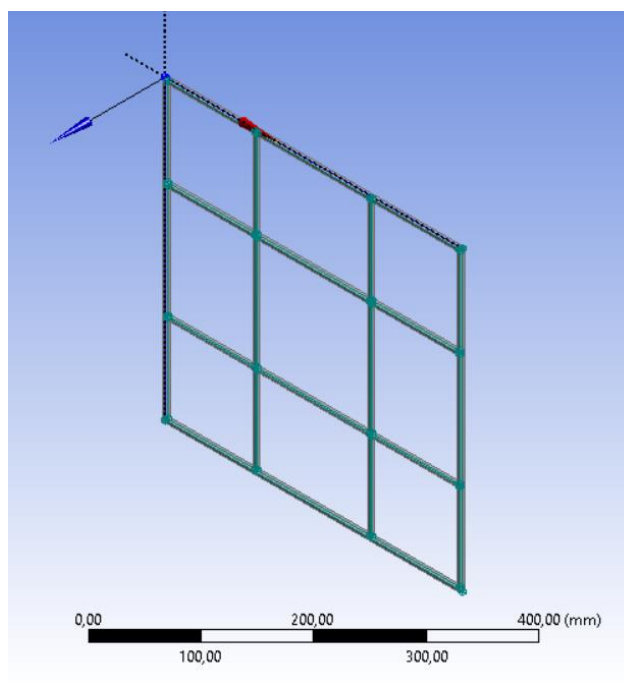


Ilustración 43:Contorno base de la celda unitaria de la malla **Fuente:** Propia

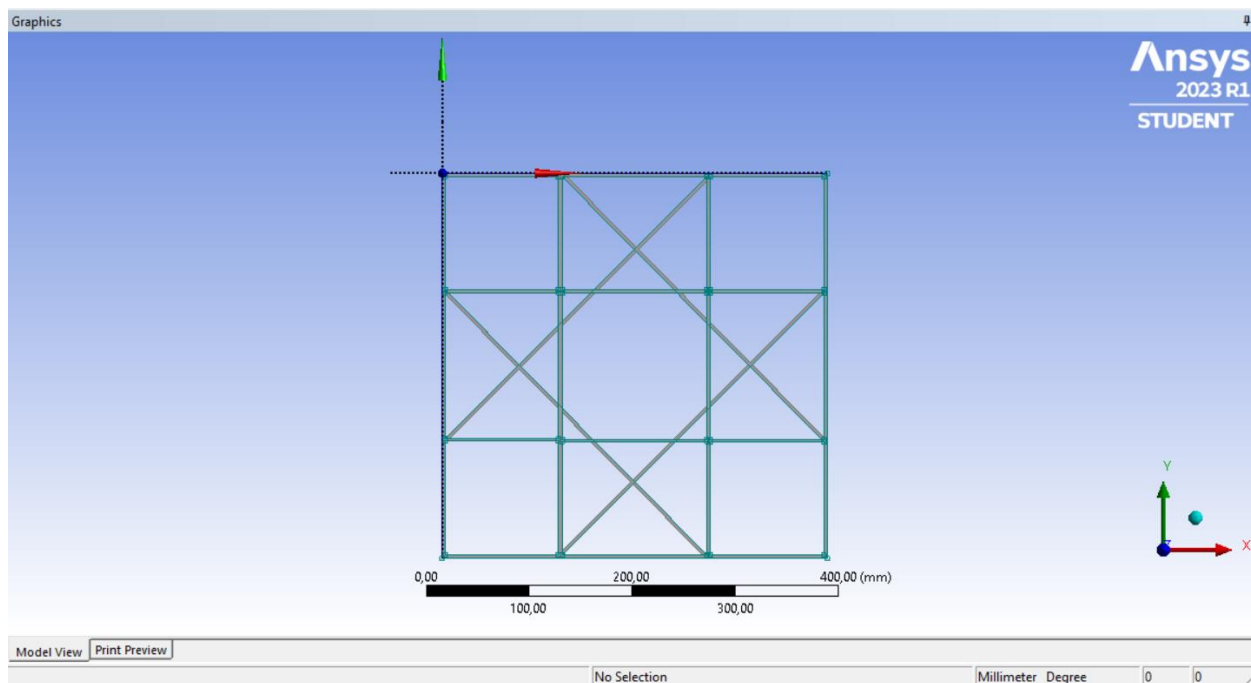


Ilustración 44: Celda unitaria completa *fuentes: Propia*

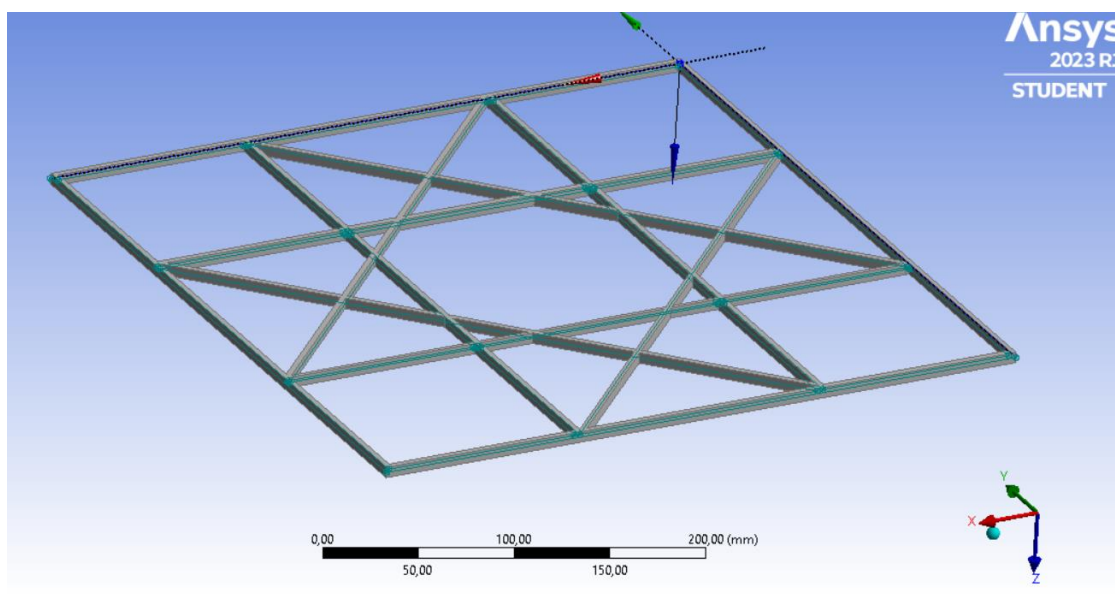


Ilustración 45: Vista lateral celda unitaria *fuentes: Propia*



Ilustración 46: Tira base de malla lista para fallar **fuentes:** Propia



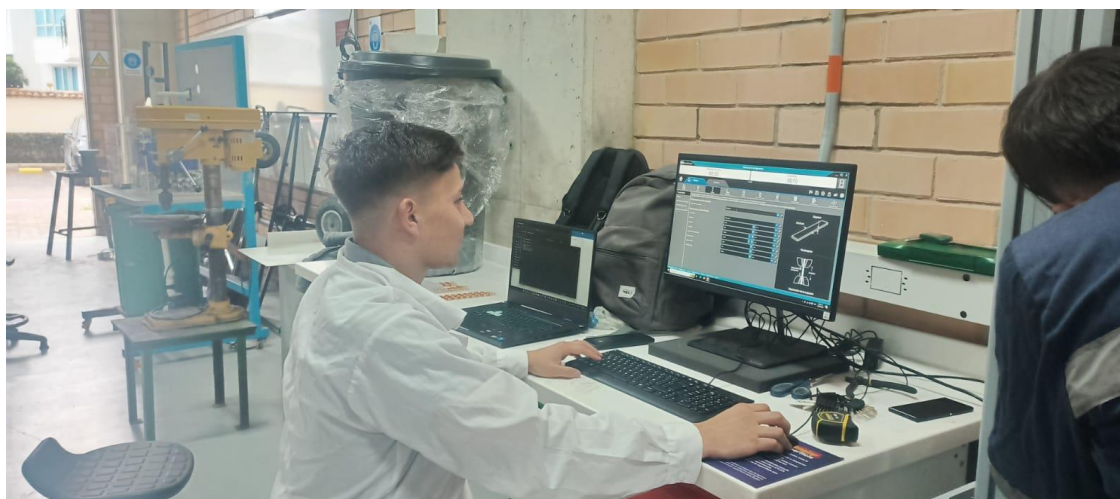
Ilustración 47: Montaje base del laboratorio **fuentes:** Propia



Ilustración 48: Vista frontal montaje base del laboratorio **fuelle:** Autor



*Ilustración 49:Fibra fallada por la maquina universal **fuelle:** Propia*



*Ilustración 50:Configuracion de software realizada por el autor para el ensayo en la maquina universal **fuelle:**Propia*

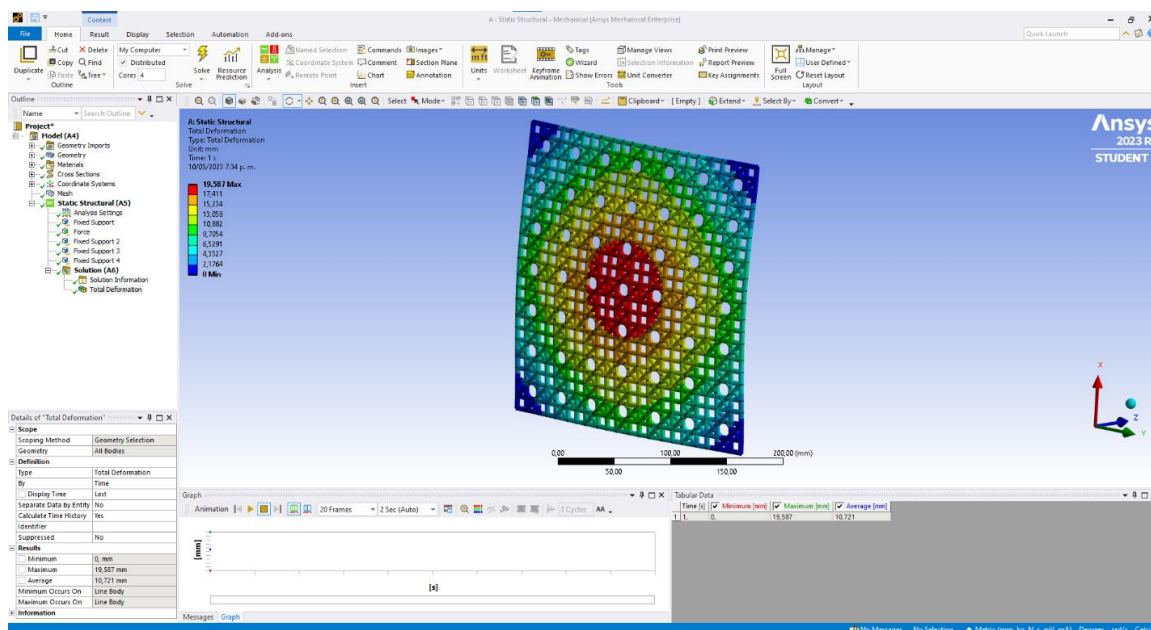


Ilustración 51: Modelación y comportamiento de solicitación ante carga de 1000 kn **fuerza:** Autor

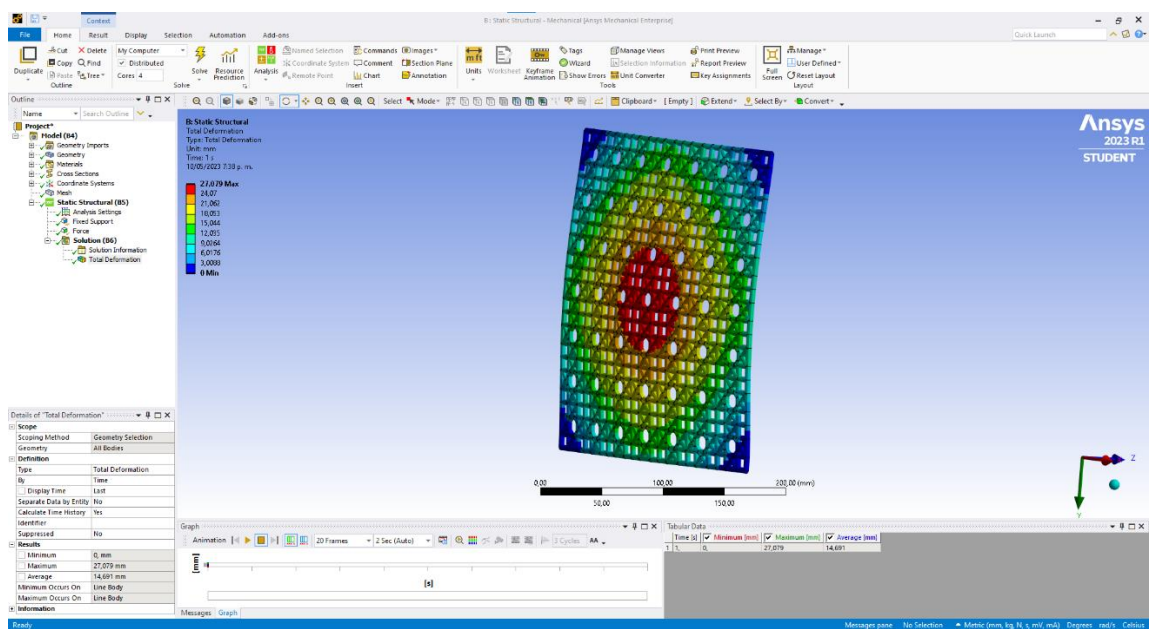


Ilustración 52: Modelación y comportamiento de la malla ante carga de 5000 Kn **fuerza:** Autor

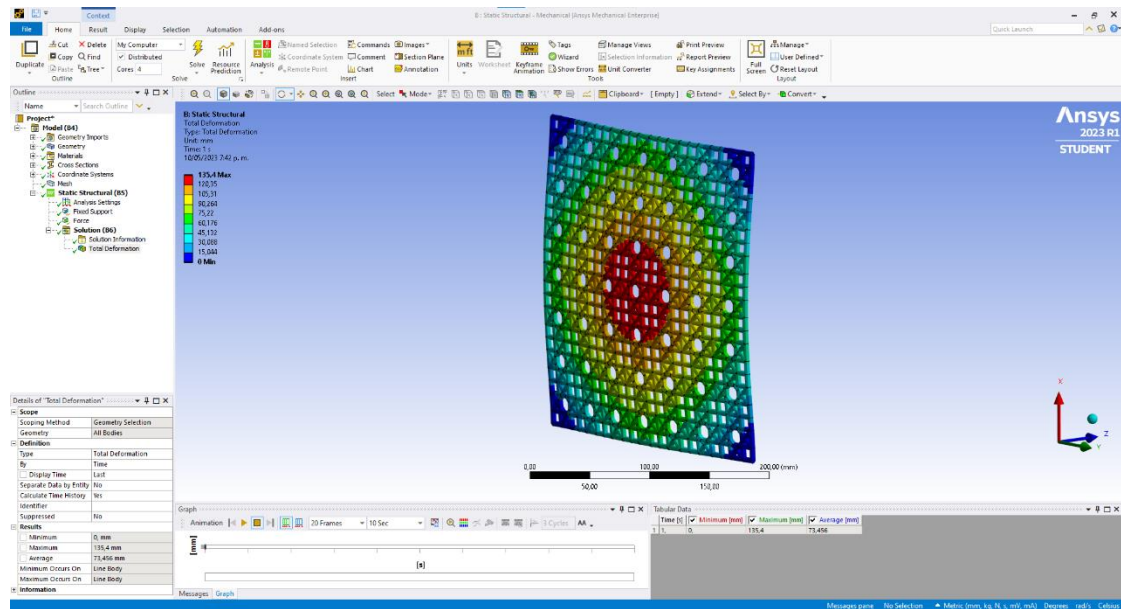


Ilustración 53: Modelación y comportamiento de la malla ante carga de 10.000 Kn

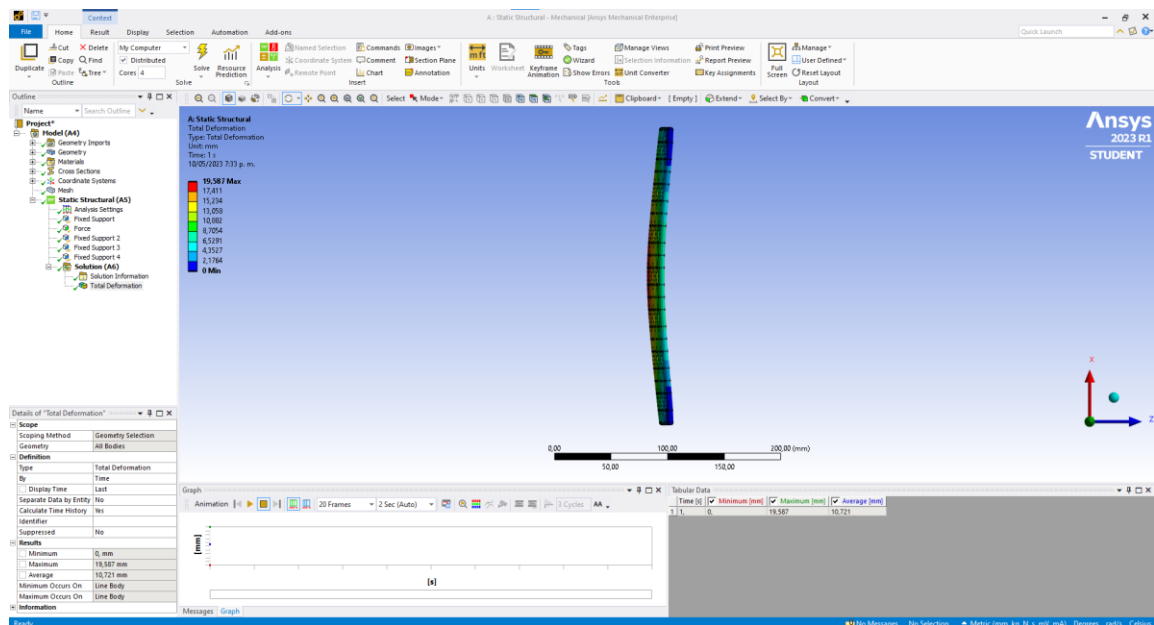


Ilustración 54: Vista lateral de las modelaciones fuente: Autor

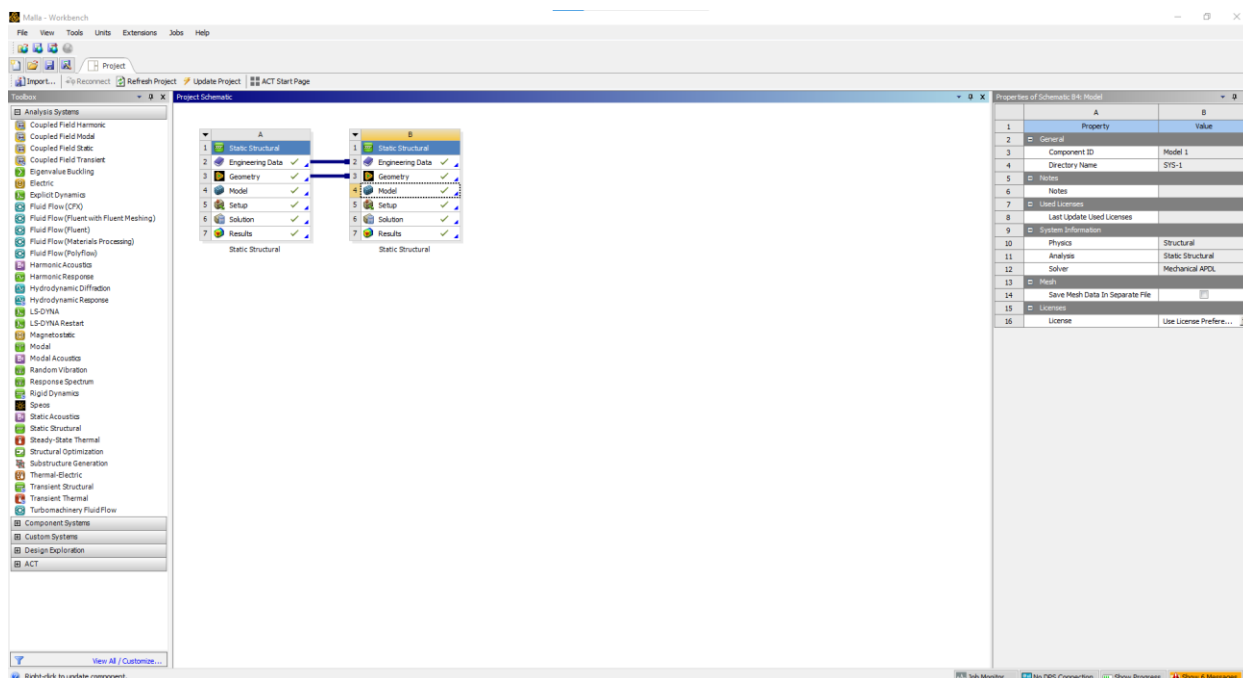


Ilustración 55: Interfaz básica del modelado *fuentes: Propia*

```
31 CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`Usuarios` (  
32     `idUsuarios` INT NOT NULL,  
33     `nombre` VARCHAR(45) NULL,  
34     `correo electronico` VARCHAR(45) NULL,  
35     `contraseña` VARCHAR(45) NULL,  
36     PRIMARY KEY (`idUsuarios`))  
37 ENGINE = InnoDB;  
38  
39  
40  
41 -- Table `mydb`.`Modelos`  
42  
43 CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`Modelos` (  
44     `idModelos` INT NOT NULL,  
45     `Nombre_Modelo` VARCHAR(45) NULL,  
46     `Fecha_Modelo` VARCHAR(45) NULL,  
47     `Archivo_modelo` VARCHAR(45) NULL,  
48     `Usuarios_idUsuarios` INT NOT NULL,  
49     PRIMARY KEY (`idModelos`),  
50     INDEX `fk_Modelos_Usuarios_idx` (`Usuarios_idUsuarios` ASC) VISIBLE,  
51     CONSTRAINT `fk_Modelos_Usuarios`  
52     FOREIGN KEY (`Usuarios_idUsuarios`)  
53     REFERENCES `mydb`.`Usuarios` (`idUsuarios`)  
54     ON DELETE NO ACTION  
55     ON UPDATE NO ACTION)  
56 ENGINE = InnoDB;  
57  
58  
59  
60 -- Table `mydb`.`Mallas`  
61  
62 CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`Mallas` (  
63     `idMallas` INT NOT NULL
```

Ilustración 56: Porción de código escrito para base de datos MySQL *fuentes: Propia*

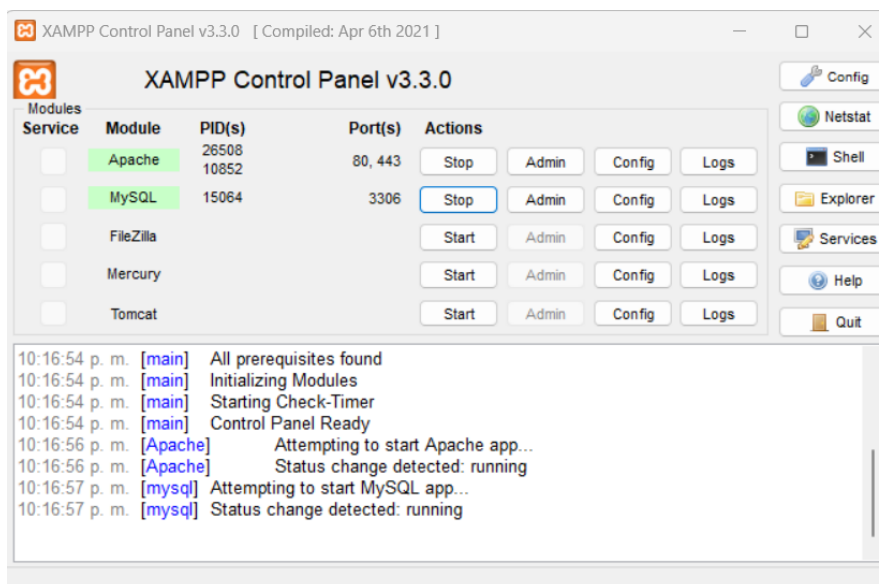


Ilustración 57: Emulador de servidor utilizado XAMPP *fuate: propia*

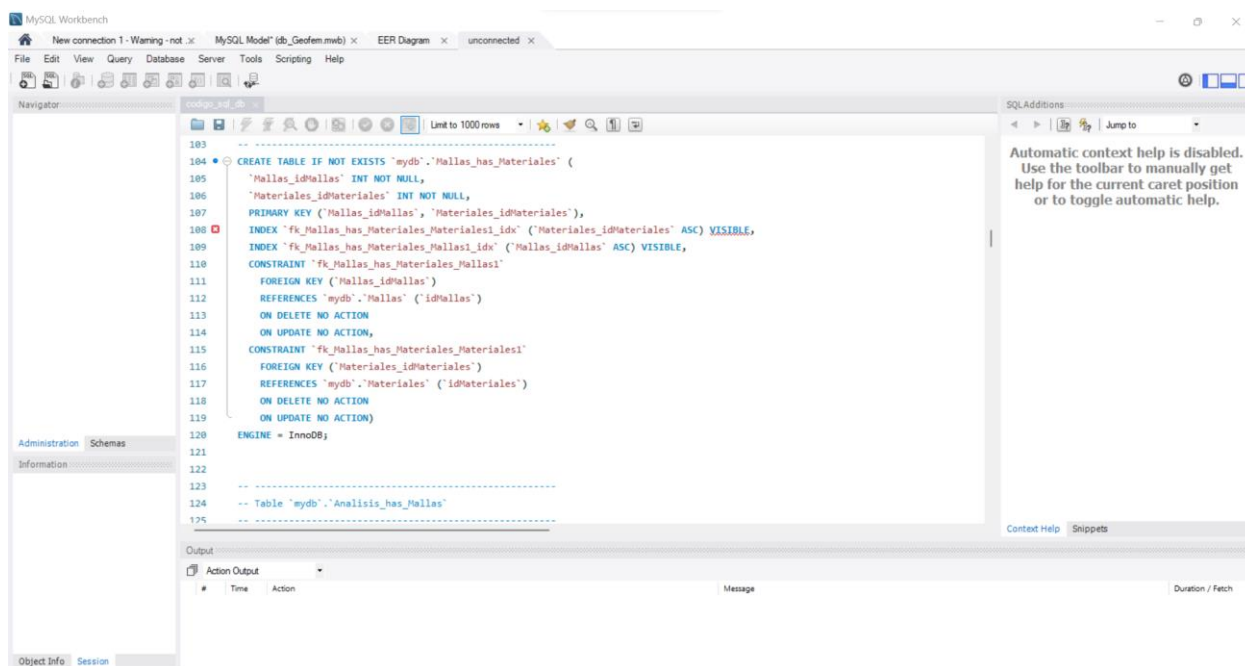


Ilustración 58: Creación de tabla intermedia Mallas_has_Materiales