



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

---

“OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA  
DE UN ASIENTO DE BUS URBANO MEDIANTE METAMODELO DE  
SIMULACIÓN.”

---

AUTOR: Edison Gabriel Ruiz Amores

TUTOR: Ing. MSc. Diego Núñez

AMBATO – ECUADOR

2018

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor de tesis de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, el trabajo experimental titulado “OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA DE UN ASIENTO DE BUS URBANO MEDIANTE METAMODELO DE SIMULACIÓN”; elaborado por el Sr. **EDISSON GABRIEL RUIZ AMORES** con C.I. **1804224135**, cumpliendo con la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- El presente trabajo experimental es original de su autor
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Esta culminada y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, 17 de septiembre de 2018

.....  
Ing. MSc. Diego Núñez

Tutor de Tesis

## **AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

El presente trabajo experimental titulado “OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA DE UN ASIENTO DE BUS URBANO MEDIANTE METAMODELO DE SIMULACIÓN”; es original, autentico y personal; sus criterios, ideas y resultados, son responsabilidad de mi persona en calidad de autor.

Ambato, 17 de septiembre de 2018

Autor

.....

Edisson Gabriel Ruiz Amores

C.I.: 180422413-5

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, la potestad de que haga del presente trabajo experimental o una sección de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 17 de septiembre de 2018

Autor

.....

Edisson Gabriel Ruiz Amores

C.I.: 180422413-5

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo técnico realizado por el estudiante **EDISSON GABRIEL RUIZ AMORES** de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema “OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA DE UN ASIENTO DE BUS URBANO MEDIANTE METAMODELO DE SIMULACIÓN”;

Ambato, 17 de septiembre de 2018

.....  
Ing. Mg. Cesar Arroba

.....  
Ing. Mg. Francisco Peña

## DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación lo dedico a Dios quien me ha llenado de conocimiento y dedicación para seguir adelante con mi vida.

También quiero dedicar este logro a mis abuelos en especial a quien en vida fue Humberto, mismo que desde el cielo seguirá siendo mi ejemplo de superación, perseverancia y humildad.

A mis padres Edison y Regina quienes han seguido mis pasos hasta el día de hoy, apoyándome económica y moralmente para poder superar dificultades que se han presentado a lo largo del camino.

A todos quienes forman parte de mi vida y que compartir con los mismos son en cierta medida influyentes en la persona que soy.

Edison Gabriel Ruiz Amores

## **AGRADECIMIENTO**

Es de mi agrado ser parte de la Universidad Técnica de Ambato y a su vez de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, y haber tenido la oportunidad de haber recibido los conocimientos de cada uno de los docentes, para formarme como un profesional.

Extiendo mi agradecimiento al Ing. MSc. Diego Nuñez por haberme acogido para desarrollar mi proyecto de titulación, así también a su capacidad de compartir sus conocimientos y guiarme en el desarrollo de la investigación.

Agradezco a todos quienes han aportado en cualquier medida para el desarrollo del presente proyecto

Edisson Gabriel Ruiz Amores

## INDICE DE CONTENIDOS

|   |       |
|---|-------|
| APROBACIÓN DEL TUTOR.....                       | II    |
| AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....          | III   |
| DERECHOS DE AUTOR .....                         | IV    |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....          | V     |
| DEDICATORIA .....                               | VI    |
| AGRADECIMIENTO .....                            | VII   |
| INDICE DE CONTENIDOS .....                      | VIII  |
| INDICE DE FIGURAS.....                          | XIII  |
| INDICE DE TABLAS .....                          | XVII  |
| RESUMEN EJECUTIVO .....                         | XXIII |
| ABSTRACT.....                                   | XXIV  |
| CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....                   | 1     |
| 1.1. TEMA DE TRABAJO EXPERIMENTAL .....         | 1     |
| 1.2. ANTECEDENTES.....                          | 1     |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN .....                        | 5     |
| 1.4. OBJETIVOS .....                            | 6     |
| 1.4.1. Objetivo general .....                   | 6     |
| 1.4.2. Objetivos específicos .....              | 6     |
| CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN .....               | 7     |
| 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....                | 7     |
| 2.1.1. Generalidades del diseño.....            | 7     |
| 2.1.1.1. El diseño.....                         | 7     |
| 2.1.1.2. Iteraciones del proceso de diseño..... | 7     |
| 2.1.1.3. Consideraciones del diseño .....       | 8     |



|   |    |
|---|----|
| 2.1.1.4. Herramientas y recursos de diseño.....                               | 9  |
| 2.1.1.5. Norma.....   | 9  |
| 2.1.2. Modelos y simulación .....   | 9  |
| 2.1.2.1. Simulación .....   | 9  |
| 2.1.2.2. La simulación en el diseño.....                                      | 10 |
| 2.1.2.3. Tipos de simulación .....  | 10 |
| 2.1.2.4. Etapas de una simulación.....  | 10 |
| 2.1.2.5. El modelado .....  | 11 |
| 2.1.3. Ensayo de impacto de asiento de autobús.....                           | 12 |
| 2.1.4. Normativa.....   | 13 |
| 2.1.5. Diseño por elementos finitos.....                                      | 17 |
| 2.1.5.1. Método de elemento finito .....                                      | 17 |
| 2.1.5.2. La discretización .....  | 17 |
| 2.1.5.3. Tamaño de elemento .....   | 17 |
| 2.1.5.4. Tipología de los elementos finitos .....                             | 17 |
| 2.1.5.5. Aplicaciones del método por elementos finitos.....                   | 19 |
| 2.1.5.6. Ensamble de la matriz rigidez .....                                  | 20 |
| 2.1.5.7. Elemento empleado para el metamodelo .....                           | 21 |
| 2.1.5.7.1. Elemento beam.....   | 21 |
| 2.1.6. El metamodelado.....   | 23 |
| 2.1.6.1. Conceptos del metamodelado .....                                     | 23 |
| 2.1.6.2. Técnicas de metamodelado .....                                       | 24 |
| 2.1.6.3. El metamodelo aplicado a la ingeniería de diseño .....               | 24 |
| 2.1.7. Software de procesamiento matricial.....                               | 25 |
| 2.1.7.1. Módulo GUIDE (Graphical User Interfase Development Enviroment) ..... | 25 |

|   |    |
|---|----|
| 2.1.7.2. Interfaz de usuario de GUIDE.....                  | 26 |
| 2.2. HIPÓTESIS.....   | 27 |
| 2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....        | 27 |
| 2.3.1. Variable independiente .....                         | 27 |
| 2.3.2. Variable dependiente.....                            | 27 |
| 2.3.3. Término de relación .....                            | 27 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....                             | 28 |
| 3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                    | 28 |
| 3.1.1. Exploratorio.....                                    | 28 |
| 3.1.2. Descriptivo .....                                    | 28 |
| 3.1.3. Correlacional .....                                  | 28 |
| 3.2. POBLACION Y MUESTRA.....                               | 28 |
| 3.2.1. Población.....                                       | 28 |
| 3.2.2. Muestra.....   | 29 |
| 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....                  | 30 |
| 3.3.1. Variable independiente: .....                        | 30 |
| 3.3.2. Variable dependiente.....                            | 31 |
| 3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....               | 32 |
| 3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....                 | 32 |
| 3.5.1. Recolección, procesamiento y análisis.....           | 33 |
| CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....  | 35 |
| 4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS .....                             | 35 |
| 4.1.1. Introducción .....                                   | 35 |
| 4.1.2. Descripción del modelo de asiento evaluado.....      | 35 |
| 4.1.3. Partes constitutivas del asiento de bus urbano ..... | 36 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.4. Ensamblaje del asiento de bus urbano .....  | 37  |
| 4.1.5. Recopilación de datos para el metamodelo de simulación.....   | 38  |
| 4.1.6. Desarrollo del procedimiento de ensayo. ....  | 38  |
| 4.1.7. Análisis mediante el método de elementos finitos (M.E.F.).....  | 39  |
| 4.1.8. Concepción del modelo simplificado.....   | 41  |
| 4.1.8.1. Introducción. ....  | 41  |
| 4.1.8.2. Inferencias para el modelo simplificado .....   | 43  |
| 4.1.8.3. El metamodelo .....   | 45  |
| 4.1.8.4. Comprensión física de los elementos del metamodelo. ....  | 48  |
| 4.1.8.5. Obtención de las ecuaciones del metamodelo.....   | 50  |
| 4.1.8.6. Obtención de los parámetros <b>Ei, Li, Ai e Ii</b> equivalente de cada uno de los elementos del metamodelo.....                           | 61  |
| 4.1.8.6.1. Módulo elástico <b>Ei</b> de cada uno de los elementos del metamodelo usado.  | 62  |
| 4.1.8.6.2. Longitud <b>Li</b> de cada uno de los elementos del metamodelo:.....  | 64  |
| 4.1.8.6.3. Área equivalente <b>Ai</b> de cada uno de los elementos del modelo simplificado. ....   | 73  |
| 4.1.8.6.4. Inercia equivalente <b>Ii</b> de cada uno de los elementos del metamodelo planteado en la presente investigación. ....                  | 80  |
| 4.1.9. Recolección de resultados de simulaciones obtenidas mediante software de elementos finitos, pruebas físicas y metamodelo de simulación..... | 89  |
| 4.1.9.1. Simulaciones mediante software de elementos finitos.....  | 89  |
| 4.1.9.1.1. Simulación 1 .....  | 90  |
| 4.1.9.1.2. Simulación 2 .....  | 93  |
| 4.1.9.1.3. Simulación 3 .....  | 96  |
| 4.1.9.1.4. Simulación 4 .....  | 99  |
| 4.1.9.1.5. Simulación 5 .....  | 102 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.9.1.6. Simulación 6 .....   | 105 |
| 4.1.9.1.7. Simulación 7 .....   | 108 |
| 4.1.9.1.8. Simulación 8 .....   | 111 |
| 4.1.9.1.9. Simulación 9 .....   | 114 |
| 4.1.9.2. Resultados obtenidos mediante Metamodelo de simulación. ....   | 117 |
| 4.1.9.2.1. Resultados metamodelo de simulación 1 .....  | 117 |
| 4.1.9.2.2. Resultados metamodelo de simulación 2 .....  | 119 |
| 4.1.9.2.3. Resultados metamodelo de simulación 3 .....  | 120 |
| 4.1.9.2.4. Resultados metamodelo de simulación 4 .....  | 122 |
| 4.1.9.2.5. Resultados metamodelo de simulación 5 .....  | 123 |
| 4.1.9.2.6. Resultados metamodelo de simulación 6 .....  | 125 |
| 4.1.9.2.7. Resultados metamodelo de simulación 7 .....  | 126 |
| 4.1.9.2.8. Resultados metamodelo de simulación 8 .....  | 128 |
| 4.1.9.2.9. Resultados metamodelo de simulación 9 .....  | 129 |
| 4.1.9.3. Resultados mediante ensayo físico.....   | 131 |
| 4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....  | 135 |
| 4.2.1. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo pata 1mm ..... | 135 |
| 4.2.2. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo pata 2mm ..... | 136 |
| 4.2.3. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo pata 3mm ..... | 138 |
| 4.2.4. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo base 1mm ..... | 139 |
| 4.2.5. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo base 2mm ..... | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.2.6. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo base 3mm ..... | 142 |
| 4.2.7. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo codo 1mm ..... | 144 |
| 4.2.8. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo codo 2mm ..... | 145 |
| 4.2.9. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo codo 3mm ..... | 147 |
| 4.2.10. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo y ensayo estático.....                                       | 148 |
| 4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....   | 150 |
| 4.3.1. Comparacion de resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación y el Modelo de elementos finitos. ....                              | 150 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 152 |
| 5.1. CONCLUSIONES .....   | 152 |
| 5.2. RECOMENDACIONES .....  | 153 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 154 |
| ANEXOS .....  | 157 |
| ANEXO 1.....  | 158 |
| ANEXO 2.....  | 159 |
| ANEXO 3.....  | 160 |
| ANEXO 4.....  | 182 |
| ANEXO 5.....  | 186 |

### **INDICE DE FIGURAS**

|   |   |
|---|---|
| Fig. I.1: Metamodelo tetra paramétrico [6].....         | 2 |
| Fig. I.2: Sección y modo de fallo del elemento [6]..... | 3 |

|   |    |
|---|----|
| Fig. I.3: Simplificación del análisis del asiento [7].....  | 3  |
| Fig. I.4: Modelo simplificado para el análisis [7]. .....   | 3  |
| Fig. I.5: Esquema de banco de pruebas de asiento y maniquí [8].....   | 4  |
| Fig. I.6: Modelo de siete grados de libertad del sistema asiento maniquí [8].....   | 4  |
| Fig. II.1: Proceso de diseño [12]. .....  | 8  |
| Fig. II.2: Ensayo de un asiento doble con empotramiento tipo riel acorde a ECE R80 [14]. .....  | 12 |
| Fig. II.3: Aparato de ensayo estático según NTE INEN 2708 [1]. .....  | 16 |
| Fig. II.4: Elemento lineal [15]. .....  | 18 |
| Fig. II.5: Elemento bidimensional. [15] .....   | 18 |
| Fig. II.6: Elemento tridimensional. [15] .....  | 18 |
| Fig. II.7: Elemento axisimétrico. [15] .....  | 19 |
| Fig. II.8: Torre de control férreo discretizada con 28 nodos y 48 elementos con grados de libertad mostrados en el nodo 1 [15]. ..... | 20 |
| Fig. II.9: Elemento tipo resorte lineal sometido a cargas de tensión [15]. .....  | 20 |
| Fig. II.10: Características del elemento beam [15]. .....   | 21 |
| Fig. II.11: Características del elemento frame [15]. .....  | 21 |
| Fig. II.12: Interfaz gráfico GUIDE (Graphical User Inteface Development Enviroment) [17]. .....                                       | 26 |
| Fig. III.1: Diagrama de recolección procesamiento y análisis. [Autor] .....   | 34 |
| Fig. IV.1: Asiento de bus urbano vista isométrica. ....   | 35 |
| Fig. IV.2: Asiento de bus urbano vista posterior (a) y lateral (b). ....  | 36 |
| Fig. IV.3: Esquema de disposición de fuerzas aplicadas en el ensayo de la resistencia del asiento urbano. ....                        | 39 |
| Fig. IV.4: Esquemmatización del modelo evaluado mediante el método de elementos finitos. ....   | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Fig. IV.5: Esquematzación del modo de colapso del asiento modelado para análisis mediante software de elementos finitos. ....                         | 42 |
| Fig. IV.6: Esquematzación del elemento frame con 3 grados de libertad [15].....   | 43 |
| Fig. IV.7: Modelo simulado mediante elementos finitos, selección de los ocho sectores estratégicos para el análisis de LS-DYNA, ANSYS.....            | 44 |
| Fig. IV.8: Esquematzación del instante inicial y final una vez desarrollado el ensayo estático.....   | 46 |
| Fig. IV.9: Modelo simplificado con carencia de interacción entre pernos y base del asiento. ....  | 47 |
| Fig. IV.10: Interacción existente entre pernos y la platina que sujeta al asiento de LS-DYNA, ANSYS. ....   | 48 |
| Fig. IV.11: Metamodelo de simulación final con elementos necesarios para reproducir la interacción entre pernos y placa base del asiento urbano. .... | 48 |
| Fig. IV.12: Esquematzación e identificación de nodos y elementos. ....  | 50 |
| Fig. IV.13: Esquema de los tres grados de libertad por cada nodo que constituye el metamodelo simplificado. ....                                      | 51 |
| Fig. IV.14: Esquema e identificación de la rigidez de cada uno de los elementos que constituye el metamodelo de simulación. ....                      | 52 |
| Fig. IV.15: Esquema de los parámetros editables necesarios para obtener los <b>Li</b> de cada uno de los elementos.....                               | 65 |
| Fig. IV.16: Esquema que detalla distancias necesarias para reproducir los <b>Li</b> del modelo simplificado.....                                      | 66 |
| Fig. IV.17: Disposición de cargas en asiento de autobús urbano.....   | 89 |
| Fig. IV.18: Curva desplazamiento nodo 389. ....   | 92 |
| Fig. IV.19: Curva desplazamiento nodo 2964. ....  | 92 |
| Fig. IV.20: Curva desplazamiento nodo 389. ....   | 95 |
| Fig. IV.21: Curva desplazamiento nodo 2964. ....  | 95 |

|  |     |
|--|-----|
| Fig. IV.22: Curva desplazamiento nodo 389. ....  | 98  |
| Fig. IV.23: Curva desplazamiento nodo 2964. ....   | 98  |
| Fig. IV.24: Curva desplazamiento nodo 389. ....  | 101 |
| Fig. IV.25: Curva desplazamiento nodo 2964. ....   | 101 |
| Fig. IV.26: Curva desplazamiento nodo 389. ....  | 104 |
| Fig. IV.27: Curva desplazamiento nodo 2964. ....   | 104 |
| Fig. IV.28: Curva desplazamiento nodo 389. ....  | 107 |
| Fig. IV.29: Curva desplazamiento nodo 2964. ....   | 107 |
| Fig. IV.30: Curva desplazamiento nodo 389. ....  | 110 |
| Fig. IV.31: Curva desplazamiento nodo 2964. ....   | 110 |
| Fig. IV.32: Curva desplazamiento nodo 389. ....  | 113 |
| Fig. IV.33: Curva desplazamiento nodo 2964. ....   | 113 |
| Fig. IV.34: Curva desplazamiento nodo 389. ....  | 116 |
| Fig. IV.35: Curva desplazamiento nodo 2964. ....   | 116 |
| Fig. IV.36: Disposicion de cargas en asiento de autobús urbano.....                          | 117 |
| Fig. IV.37: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo pata<br>1mm. .... | 118 |
| Fig. IV.38: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo pata<br>2mm. .... | 119 |
| Fig. IV.39: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo pata<br>3mm. .... | 121 |
| Fig. IV.40: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo base<br>1mm. .... | 122 |
| Fig. IV.41: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo base<br>2mm. .... | 124 |



|   |     |
|---|-----|
| Fig. IV.42: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo base 3mm. .... | 125 |
| Fig. IV.43: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo codo 1mm. .... | 127 |
| Fig. IV.44: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo codo 2mm. .... | 128 |
| Fig. IV.45: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo codo 3mm. .... | 130 |
| Fig. IV.46: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo pata 1mm... 136          |     |
| Fig. IV.47: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo pata 2mm... 137          |     |
| Fig. IV.48: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo pata 3mm... 139          |     |
| Fig. IV.49: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo base 1mm. . 140          |     |
| Fig. IV.50: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo base 2mm. . 142          |     |
| Fig. IV.51: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo base 3mm. . 143          |     |
| Fig. IV.52: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo codo 1mm.. 145           |     |
| Fig. IV.53: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo codo 2mm.. 146           |     |
| Fig. IV.54: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo codo 3mm.. 148           |     |
| Fig. IV.55: Esquema contraste del MEF vs el metamodelo vs Prueba física ..... 149         |     |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla II.1: Técnicas de metamodelado. ....  | 24 |
| Tabla II.2: Caracterización de los elementos del interfaz gráfico GUIDE (Graphical User Interface Development Enviroment) ..... | 26 |
| Tabla III.1: Principales proveedores de asientos en el país. ....   | 29 |
| Tabla III.2: Operacionalización de variable independiente. ....   | 30 |
| Tabla III.3: Operacionalización de variable dependiente. ....   | 31 |
| Tabla IV.1: Detalles de partes constitutivas de asiento urbano. ....  | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla IV.2: Análisis de resultados de primera simulación determinación modo de colapso.....                          | 40 |
| Tabla IV.3: Descripción de cada sector seleccionado del modelo simulado mediante el método de elementos finitos..... | 45 |
| Tabla IV.4: Propiedades del material acero ASTM A36.[20] .....   | 62 |
| Tabla IV.5: Propiedades del material de acero ASTM A500 grado A.[20].....  | 63 |
| Tabla IV.6: Descripción del módulo elástico de cada uno de los elementos constitutivos del metamodelo,.....          | 63 |
| Tabla IV.7: Descripción de longitud del elemento 1 y 2. ....   | 67 |
| Tabla IV.8: Descripción de longitud del elemento 3 y 4. ....   | 67 |
| Tabla IV.9: Descripción de longitud del elemento 5 y 6. ....   | 68 |
| Tabla IV.10: Descripción de longitud del elemento 7. ....  | 69 |
| Tabla IV.11: Descripción de longitud del elemento 7. ....  | 70 |
| Tabla IV.12: Descripción de longitud del elemento 8. ....  | 70 |
| Tabla IV.13: Descripción de longitud del elemento 9. ....  | 71 |
| Tabla IV.14: Descripción de longitud del elemento 10. ....   | 72 |
| Tabla IV.15: Descripción de longitud del elemento 11. ....   | 73 |
| Tabla IV.16: Descripción de sección de elemento 1 y 2.....   | 74 |
| Tabla IV.17: Descripción de sección de elemento 3 y 4.....   | 74 |
| Tabla IV.18: Descripción de sección de elemento 5 y 6.....   | 75 |
| Tabla IV.19: Descripción de sección de elemento 7.....   | 76 |
| Tabla IV.20: Descripción de sección de elemento 8 y 9.....   | 78 |
| Tabla IV.21: Descripción de sección de elemento 10 y 11.....   | 79 |
| Tabla IV.22: Detalle del cálculo de inercia de elemento 1 y 2. ....  | 80 |
| Tabla IV.23: Detalle del cálculo de inercia de elemento 3 y 4. ....  | 81 |
| Tabla IV.24: Detalle del cálculo de inercia de elemento 5 y 6. ....  | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla IV.25: Detalle del cálculo de inercia de elemento 7. ....                                    | 85  |
| Tabla IV.26: Detalle del cálculo de inercia de elemento 8 y 9. ....                                | 87  |
| Tabla IV.27: Detalle del cálculo de inercia de elemento 10 y 11. ....                              | 88  |
| Tabla IV.28: Análisis de resultados de simulación 1, asiento con 1mm de espesor en tubo pata. .... | 90  |
| Tabla IV.29: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 1..                   | 92  |
| Tabla IV.30: Análisis de resultados de simulación 2, asiento con 2mm de espesor en tubo pata. .... | 93  |
| Tabla IV.31: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 2..                   | 95  |
| Tabla IV.32: Análisis de resultados de simulación 3, asiento con 3mm de espesor en tubo pata. .... | 96  |
| Tabla IV.33: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 3..                   | 98  |
| Tabla IV.34: Análisis de resultados de simulación 4, asiento con 1mm de espesor en tubo base. .... | 99  |
| Tabla IV.35: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 4                     | 101 |
| Tabla IV.36: Análisis de resultados de simulación 5, asiento con 2mm de espesor en tubo base. .... | 102 |
| Tabla IV.37: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 5.                    | 104 |
| Tabla IV.38: Análisis de resultados de simulación 6, asiento con 3mm de espesor en tubo base. .... | 105 |
| Tabla IV.39: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 6.                    | 107 |
| Tabla IV.40: Análisis de resultados de simulación 7, asiento con 1mm de espesor en tubo codo. .... | 108 |
| Tabla IV.41: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 7.                    | 110 |
| Tabla IV.42: Análisis de resultados de simulación 8, asiento con 2mm de espesor en tubo codo. .... | 111 |
| Tabla IV.43: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 8.                    | 113 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla IV.44: Análisis de resultados de simulación 9, asiento con 3mm de espesor en tubo codo.....  | 114 |
| Tabla IV.45: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 9.116                 |     |
| Tabla IV.46: Análisis de metamodelo de simulación 1, asiento con 1mm de espesor en tubo pata. .... | 117 |
| Tabla IV.47: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo pata 1mm.....     | 118 |
| Tabla IV.48: Análisis de metamodelo de simulación 2, asiento con 2mm de espesor en tubo pata. .... | 119 |
| Tabla IV.49: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo pata 3mm.....     | 120 |
| Tabla IV.50: Análisis de metamodelo de simulación 3, asiento con 3mm de espesor en tubo pata. .... | 120 |
| Tabla IV.51: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo pata 3mm.....     | 121 |
| Tabla IV.52: Análisis de metamodelo de simulación 4, asiento con 1mm de espesor en tubo base.....  | 122 |
| Tabla IV.53: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo base 1mm. ....    | 123 |
| Tabla IV.54: Análisis de metamodelo de simulación 5, asiento con 2mm de espesor en tubo base.....  | 123 |
| Tabla IV.55: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo base 2mm. ....    | 124 |
| Tabla IV.56: Análisis de metamodelo de simulación 6, asiento con 3mm de espesor en tubo base.....  | 125 |
| Tabla IV.57: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo base 3mm. ....    | 126 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla IV.58: Análisis de metamodelo de simulación 7, asiento con 1mm de espesor en tubo codo.....         | 126 |
| Tabla IV.59: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo codo 1mm.....            | 127 |
| Tabla IV.60: Análisis de metamodelo de simulación 8, asiento con 2mm de espesor en tubo codo.....         | 128 |
| Tabla IV.61: Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo codo 2mm.....            | 129 |
| Tabla IV.62: Análisis de metamodelo de simulación 9, asiento con 3mm de espesor en tubo codo.....         | 129 |
| Tabla IV.63: Resultados obtenidos mediante metamodelo de simulación, espesor tubo codo 3 mm.....          | 130 |
| Tabla IV.64: Elementos constitutivos de el banco de ensayos.....  | 131 |
| Tabla IV.65: Ensayo físico de asiento de bus urbano.....  | 132 |
| Tabla IV.66: Resultados de desplazamientos máximos en ensayo estático.....                                | 134 |
| Tabla IV.67: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo pata 1mm..... | 135 |
| Tabla IV.68: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo pata 2mm..... | 137 |
| Tabla IV.69: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo pata 3mm..... | 138 |
| Tabla IV.70: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo base 1mm..... | 140 |
| Tabla IV.71: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo base 2mm..... | 141 |
| Tabla IV.72: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo base 3mm..... | 143 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla IV.73: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo codo 1mm..... | 144 |
| Tabla IV.74: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo codo 2mm..... | 146 |
| Tabla IV.75: Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo codo 3mm..... | 147 |
| Tabla IV.76: Resumen resultados obtenidos mediante MEF, metamodelo y ensayo físico.....                   | 148 |
| Tabla IV.77: Porcentaje de error en comparación de los métodos propuestos.....                            | 149 |
| Tabla IV.78: Analisis de la reducción del tiempo de procesamiento de resultados.                          | 150 |
| Tabla IV.79: Analisis del porcentaje de error en el análisis de resistencia según NTE INEN 2708.....      | 151 |

**AUTOR:** Edison Gabriel Ruiz Amores

**TUTOR:** Ing. MSc. Diego Núñez

**TEMA:** “OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA DE UN ASIENTO DE BUS URBANO MEDIANTE METAMODELO DE SIMULACIÓN.”

### **RESUMEN EJECUTIVO**

La homologación de los asientos por parte de los fabricantes es de gran importancia, parte fundamental para lograrlo es que sus productos estén en conformidad con la NTE INEN 2708[1], en los últimos años se ha desarrollado el tema dando lugar a simulaciones realizadas mediante el software de elementos finitos, mismo que por su naturaleza implica un costo computacional elevado y mayor tiempo de obtención de resultados, en el presente estudio propone optimizar este análisis con la implementación de un metamodelo reduciendo costo computacional y tiempo de obtención de resultados.

En la presente investigación se recopiló información como bibliografías para ampliar el conocimiento acerca del desarrollo de un metamodelo, el procedimiento para el análisis de resistencia según [1], así como también se analizó los resultados obtenidos mediante el software de elementos finitos para determinar el modo de colapso del asiento ante la aplicación de las cargas y poder reproducirlo de manera adecuada en el metamodelo.

A continuación, se esquematizó el modelo simplificado según las características del modo de colapso, se planteó las ecuaciones constitutivas y se las programo haciendo uso de un software para resolución matricial para obtener los resultados.

Finalmente, se contrastó los resultados obtenidos mediante el software de elementos finitos y el metamodelo obteniendo una optimización del análisis de resistencia de asiento urbano según la normativa [1], reduciendo el costo computacional como el tiempo de procesamiento de resultados.

**AUTOR:** Edison Gabriel Ruiz Amores

**TUTOR:** Ing. MSc. Diego Núñez

**TEMA:** “OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA DE UN ASIENTO DE BUS URBANO MEDIANTE METAMODELO DE SIMULACIÓN.”

### **ABSTRACT**

The homologation of seats by the manufacturers has a great importance, the fundamental goal to achieve this is that their products are in compliance with NTE INEN 2708 [1], in the recent years the topic has been developed increasing the simulations carried out by Finite element software, which implies a high computational cost and a longer time to obtain results, in this study proposes to optimize this analysis with the implementation of a metamodel, reducing computational cost and time to obtain results.

First, in the present investigation, the information as bibliographies to expand the knowledge about the development of a metamodel, the procedure for the analysis of resistance according to [1] was collected, as well as the results obtained by the finite element software to determine the mode of collapse of the seat before the application of loads to be able to reproduce it in an adequate way in the metamodel.

After that, the simplified model was schematized according to the characteristics of the collapse mode, the constitutive equations were proposed and programmed using a matrix resolution software to obtain the results.

Finally, the results obtained by the method of the finite elements software and the metamodel were compared, obtaining an optimization of the urban seat resistance analysis according to the regulation [1], reducing the computational cost and the processing time of the results.



## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

### **1.1. TEMA DE TRABAJO EXPERIMENTAL**

OPTIMIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA DE UN ASIENTO DE BUS URBANO MEDIANTE METAMODELO DE SIMULACIÓN

### **1.2. ANTECEDENTES**

En países como Argentina han aplicado programas por parte de la Dirección de asesoramiento de servicios tecnológicos para las empresas metalmecánicas participantes, con el objetivo de aumentar el nivel de competitividad de estas, las mismas que lograron simular mediante el método de elementos finitos usando el software Solidworks Premium el funcionamiento de piezas o partes, permitiendo analizar fenómenos como: la predicción de fallas, análisis de impacto y de resistencias.[2]

Acorde a [2], el programa tuvo gran acogida por parte de las empresas reflejando un total de 72 beneficiarios que hicieron uso del servicio con un total de 197 simulaciones, lo cual permite observar la importancia que tiene la simulación dentro del proceso productivo.

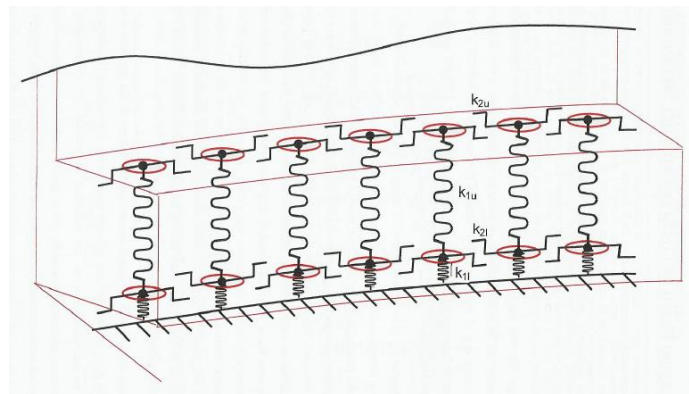
En cuanto al diseño de asientos, se ha venido desarrollando este entorno que ha dado lugar a la exploración del tema; el trabajo de titulación de Bonilla [3], donde se ha diseñado un maniquí, el cual ayuda a la ubicación del punto H ya que éste es realmente importante para diseñar un asiento, a más de ello existen varios parámetros de medición y evaluación que relacionan este punto.

Los asientos de autobuses, han sido objeto de estudio dando lugar a investigaciones como la realizada por Remache [4], donde se realizó el estudio de los anclajes de un asiento de bus interprovincial, determinando deformaciones y esfuerzos máximos,

concluyendo que, es importante el estudio para que el asiento tenga un aval de conformidad con una norma específica.

El método de elementos finitos, se ha venido utilizando también en nuestro país dentro de la industria metalmecánica, el análisis estructural es el más demandado, una de las investigaciones recientes donde se ha aplicado esta técnica es el caso del estudio realizado por Astudillo [5], mismo que se trató sobre la simulación del ensayo estático evaluando la resistencia de la estructura, donde se muestra cómo las simulaciones son herramientas importantes para evitar ensayos destructivos, los cuales tienen un alto costo y dentro de la región no existe este tipo de dispositivos.

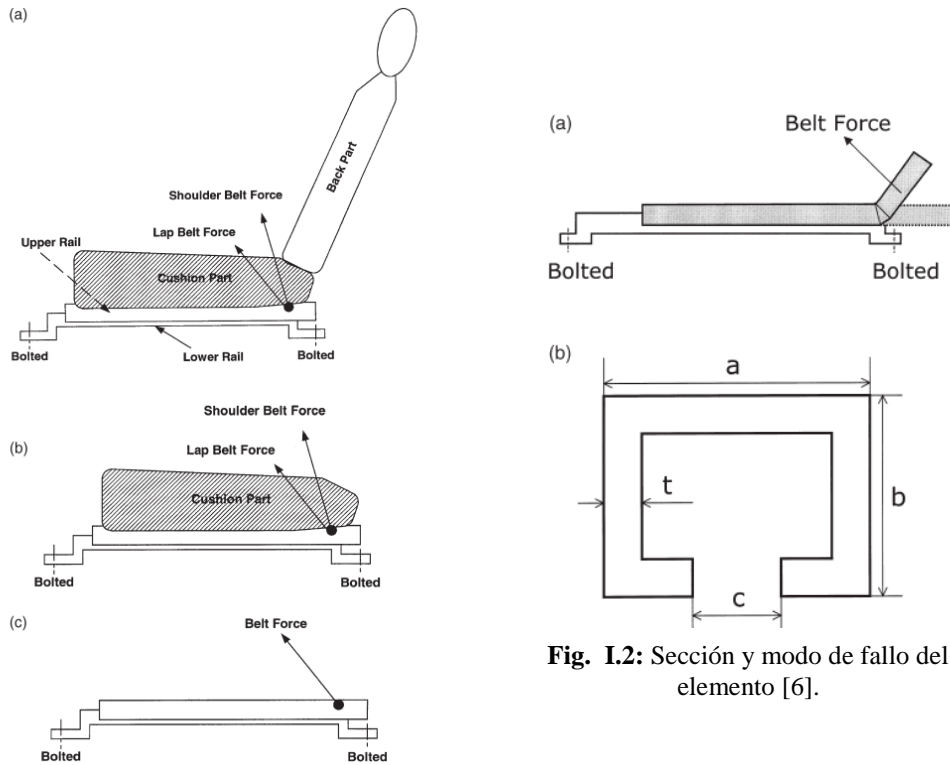
Los metamodelos como el que se propone en la presente investigación se han empleado para ciertas aplicaciones, optimizando el tiempo de procesamiento de resultados como se demuestra en el trabajo de Abasolo [6], donde, mediante una discretización usando elementos con únicamente dos grados de libertad y el uso de una rigidez equivalente, obtenida mediante un software de elementos finitos se elaboró un metamodelo para simular las secuencias de atornillado en uniones de aerogeneradores y se obtuvo gran eficiencia en los resultados al validarlos por el método de elementos finitos.



**Fig. I.1:** Metamodelo tetra paramétrico [6].

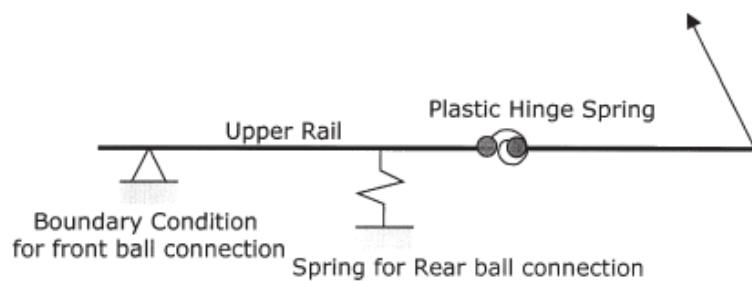
Como se muestra en [7], una investigación que ha hecho uso de un metamodelo donde se representa con elementos link y beam los diferentes componentes donde se acopla un cinturón de seguridad a la estructura, y asumiendo las consideraciones necesarias

de carga, se logró reducir el tiempo de análisis computacional de 36000 seg a 36 seg, es decir % con un margen de error aceptable haciendo uso del modelo simplificado.



**Fig. I.2:** Sección y modo de fallo del elemento [6].

**Fig. I.3:** Simplificación del análisis del asiento [7].



**Fig. I.4:** Modelo simplificado para el análisis [7].

Un metamodelo que se ha empleado en [8], muestra como la necesidad de acuerdo al caso implica que la complejidad de bosquejar un modelo simple aumente para que este se ajuste al modelo original, en este estudio se logró simular el modo de vibración de un maniquí en el asiento de un automóvil, obteniendo una reducción de tiempo de

análisis con resultados que si bien no se ajustan en su totalidad tienen un margen de error aceptable a la simulación del modelo original.

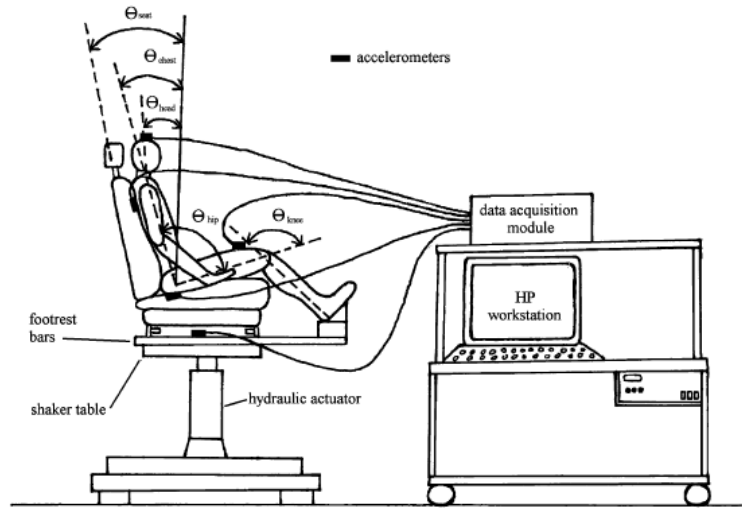


Fig. I.5: Esquema de banco de pruebas de asiento y maniquí [8].

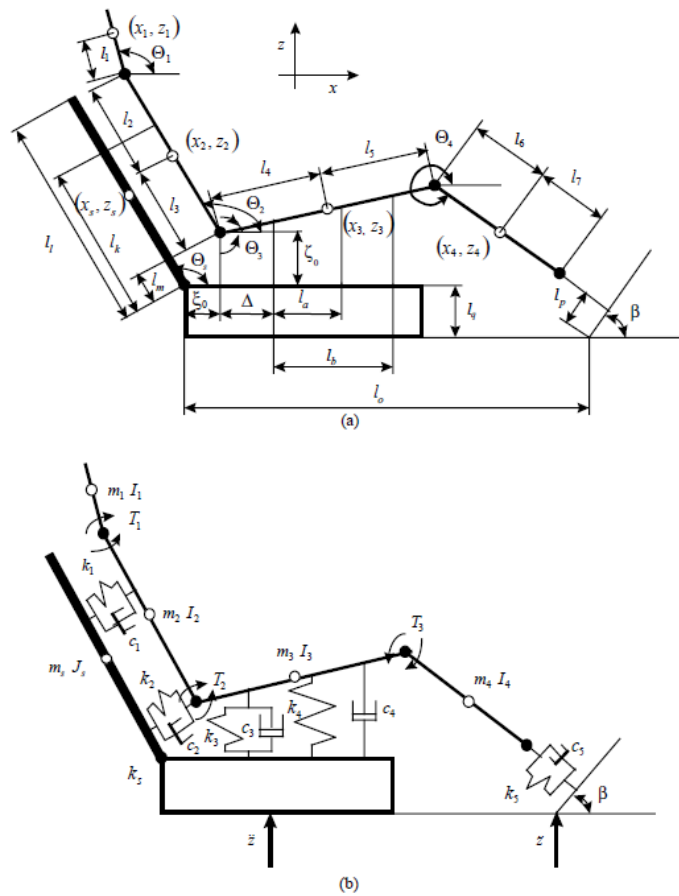


Fig. I.6: Modelo de siete grados de libertad del sistema asiento maniquí [8].

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

La homologación de la estructura es esencial para los fabricantes, el ensayo estático es una herramienta que permite obtener una garantía de resistencia [9].

Este trabajo aportará al desarrollo del Proyecto de Investigación de la Universidad Técnica de Ambato “Análisis de la estructura y anclaje de asientos de pasajeros para autobuses interprovinciales bajo legislaciones, utilizando técnicas de simulación en software de elementos finitos”. Aprobado por H.C.U. según resolución 0313-CU-P-2016, dicho proyecto está a cargo de los profesores Ing. Mg. Cesar Arroba e Ing. MSc. Diego Núñez [10].

La investigación está enfocada en la minimización del tiempo de análisis mediante un modelo analítico simplificado, siendo la utilización de un software específico el método que se ha empleado, el mismo tiene la desventaja de que el tiempo que tarda en examinar es extenso, en la investigación similar previa “Análisis mediante el método de elementos finitos del ensayo estático según la norma INEN 2708 de la estructura del asiento de transporte público interprovincial para verificar su conformidad en la empresa sistemas de asientos AMERICAN” [5] el tiempo de su análisis tiene un promedio de 29 horas y 53 minutos en 16 simulaciones.

Ensayos para evaluar la resistencia de asientos deben ser parte esencial para los fabricantes de asientos, un punto negativo es el costo que tiene realizarse físicamente incluso en el proyecto “Diseño y construcción de un equipo de ensayo para pruebas de deformación y resistencia de asientos y espaldares de poliuretano para autobuses” [11], el equipo que simula el dicho fenómeno tiene un costo de 2226,77 dólares sin contar con el costo de las muestras que se llegasen a utilizar para su evaluación.

En el trabajo investigativo “Metamodelo para la simulación y optimización de secuencias de atornillado en uniones de torres de aerogenerador” [6], se pudo verificar que optar por un metamodelo para la temática propuesta es factible resultando ser muy favorable para la investigación mencionada ya que se optimizó un modelo de análisis con un promedio de eficiencia en los resultados de 0,9894 con diferentes cargas.

El estudio aporta a los fabricantes una forma de análisis pensada en sus necesidades ya que permitirá hacer un uso eficiente del recurso tiempo obteniendo excelentes resultados. La implementación del modelo optimizado será una herramienta importante para los fabricantes aportando significativamente al proceso de homologación [9].

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Optimizar el proceso de análisis de la resistencia de la estructura de un asiento de bus urbano mediante un metamodelo de simulación.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar los resultados del modelo de elementos finitos para evaluar la resistencia del asiento de bus urbano.
- Determinar las rigideces equivalentes de los elementos constitutivos del asiento de bus urbano haciendo uso de los datos obtenidos mediante el modelo de elementos finitos.
- Establecer el metamodelo equivalente para evaluar la resistencia del asiento de bus urbano.
- Contrastar los resultados finales de los análisis obtenidos mediante el método de elementos finitos y el metamodelo de simulación.

## **CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN**

### **2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

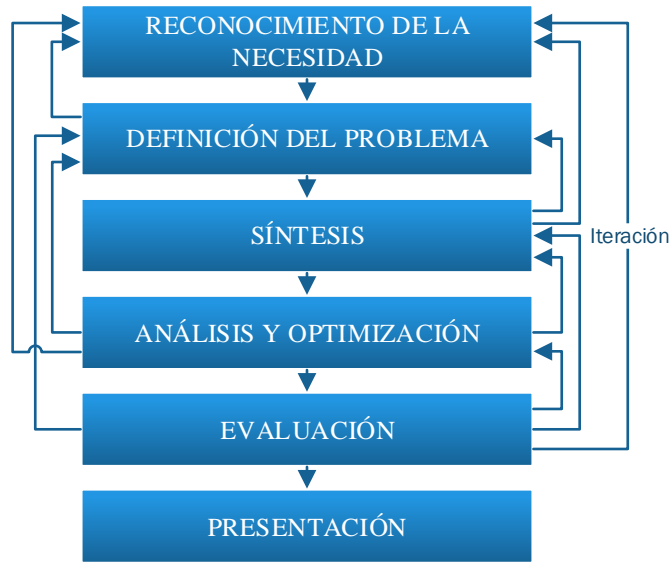
#### **2.1.1. Generalidades del diseño**

##### **2.1.1.1. El diseño**

El diseño es parte integral en el desarrollo de componentes, en carrocerías no es la excepción, este término según [12], se define como la formulación de un plan para satisfacer una necesidad o resolver ciertas problemáticas donde las herramientas de las ingenierías como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje se conjugan para dar lugar a la creación de un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se pueda fabricar y comercializar.

##### **2.1.1.2. Iteraciones del proceso de diseño**

Como se indica en [12], el proceso completo de diseño se resume como se muestra en la figura 1, comenzando en la identificación de una necesidad, muchas veces esta no es evidente y se logra reconocer por una circunstancia adversa, siguiendo con la definición del problema donde se debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse como características dimensiones y limitaciones, el siguiente paso es la síntesis o diseño del concepto donde se debe evaluar si el desempeño es satisfactorio, los esquemas que no cumplan los requerimientos se revisan, se mejoran o se desechan y los que cumplan se comparan para desarrollar el producto más competitivo, de esta manera se evidencia la íntima e iterativa relación que guarda la síntesis, el análisis y optimización, la siguiente fase es la evaluación donde se realiza la prueba final de un diseño exitoso para verificar si realmente satisface las necesidades, la presentación es el paso final y vital, la comunicación a otros en busca de la venta de los logros alcanzados.



**Fig. II.1:** Proceso de diseño [12].

### 2.1.1.3. Consideraciones del diseño

El término consideración normalmente se emplea para denominar una característica que influye directamente en el diseño del elemento, podemos citar la resistencia que requiere un elemento como un ejemplo ya que es un factor importante para determinar la forma y el dimensionamiento, a continuación, algunos de los más importantes:

- Funcionalidad
- Resistencia/esfuerzo
- Distorsión/deflexión/rigidez
- Desgaste
- Corrosión
- Seguridad
- Confiabilidad
- Manufacturabilidad
- Utilidad
- Costos



#### **2.1.1.4. Herramientas y recursos de diseño**

Se menciona en [12], que en la actualidad existen herramientas y recursos que ayudan a la resolución de problemas relacionados al diseño, los ordenadores y softwares que brindan capacidad de diseñar, analizar y simular componentes, además para el diseño se requiere información técnica que se puede obtener de libros hasta catálogos.

Ciertas herramientas computacionales permiten el desarrollo de modelos en 3D como es el caso de (CAD) Computer Aided Desing, los mismos que son capaces de determinar ciertas propiedades importantes para el desarrollo de un modelo, algunos CAD disponibles son Aries, AutoCAD, I-Deas, entre otros. Otro tipo de softwares usados en el diseño son los CAE Computer Assited Engeniering dentro de los cuales se pueden dividir en los basados en la ingeniería, programas tipo AEF Analisis Element Finite para análisis de esfuerzos, los paquetes más comunes son Algor, ANSYS, entre otros. Existen también programas para el procesamiento de texto, por mencionar algunos: Excel, MATLAB TKsolver los cuales no son específicos para ingeniería, pero brindan la ventaja del manejo de números con gran precisión.

#### **2.1.1.5. Norma**

Como se muestra en [12], una norma conjuga especificaciones para partes, materiales o procesos con el objetivo de lograr uniformidad, eficiencia y cantidad especificada, la norma a la que se regirá la presente investigación es la NTE INEN 2708.

### **2.1.2. Modelos y simulación**

#### **2.1.2.1. Simulación**

Conducir un sistema implica la toma de decisiones sobre el mismo y estas deben satisfacer los objetivos planteados, conocer como el sistema reaccionará ante un fenómeno, permite plantear acciones adecuadas, se lo podría hacer interactuando con el sistema mismo pero implica inconvenientes como costos, seguridad, entre otros, para evitar esto se reemplaza el real por una versión simplificada, el proceso de experimentar con un modelo simplificado se lo denomina simulación, de aquí se deriva la optimización que es experimentar para optar por la mejor decisión [13].

### **2.1.2.2. La simulación en el diseño**

Como se indica en [13], la simulación en el diseño es una herramienta que nos permite asignar materiales y formas adecuadas, facilitando el estudio de la sensibilidad del diseño a parámetros establecidos.

La simulación conviene:

- Si no tiene una formulación matemática solucionable.
- Si existe solución matemática, pero es complejo obtener su solución.
- Si el sistema real no existe.
- Si la experimentación tiene limitaciones económicas, de seguridad, entre otros.

### **2.1.2.3. Tipos de simulación**

Como se indica en [13], por la naturaleza del modelo los tipos son:

Identidad: El modelo es una réplica exacta del sistema real.

Cuasi-identidad: El modelo es una versión simplificada del sistema de estudio.

Laboratorio: Se utilizan el modelo bajo condiciones controladas en laboratorio.

Por computador: El modelo es un simbolismo en lenguaje computacional.

### **2.1.2.4. Etapas de una simulación**

Como se indica en [13]. En el proceso de simulación las etapas son:

- Formulación del problema: Establecer el objetivo de la simulación.
- Definición del sistema: Establecer límites e interacciones a considerar.
- Formulación del modelo: Desarrollo del modelo que capture los aspectos más importantes del sistema.

- Colección de datos: Son datos necesarios para el sistema y deben ser procesados para adaptarlos al modelo.
- Implementación del modelo en el computador: Se debe implementar el modelo en lenguaje computacional.
- Diseño de experimentos: Se define características de los experimentos a realizar como el número de simulaciones.
- Experimentación: Se realiza cada simulación de acuerdo al diseño previo.
- Interpretación: Se analiza la sensibilidad del modelo a los parámetros más críticos.
- Implementación: Se debe verificar el buen uso del simulador.
- Documentación: Incluye documentos técnicos y manuales de uso.

#### **2.1.2.5. El modelado**

Es proponer un modelo, el cual debe representar un objeto y permita explicar, entender o mejorar un sistema.

Como se indica en [13], modelar es considerado como un arte donde se necesita la habilidad para analizar el problema, resumir sus características, seleccionar y modificar suposiciones, hasta obtener aproximaciones útiles, por lo tanto los pasos a seguir mostrados a continuación son únicamente una guía.

- Establecer objetivos.
- Analizar el sistema real.
- Dividir en problemas simples.
- Buscar analogías
- Considerar un ejemplo numérico del problema.

- Determinar variables de interés.
- Escribir datos obvios.
- Buscar ecuaciones teóricas que describan el fenómeno.
- Si se tiene un modelo, enriquecerlo o simplificarlo.

### 2.1.3. Ensayo de impacto de asiento de autobús.

El ensayo de impacto según ECE Regulación 80 permite la evaluación y aprobación de asientos de al menos 1 m. de altura con instalación hacia adelante fabricados para vehículos grandes destinados al transporte de pasajeros mediante dos diferentes procedimientos de ensayo, dinámico y estático descritos respectivamente en los apéndices 1 y 5 de la normativa mencionada.

Dinámico, el ensayo evalúa los criterios, en un impacto a una velocidad de entre 30-32 Km/h los asientos deben retener a los pasajeros en una zona determinada, la cabeza de los maniqués no debe sobrepasar el 1,6 m. hacia adelante, la desaceleración se debe mantener entre 8/12 g, la parte biomecánica se evaluará en dependencia a la capacidad de tolerancia humana, este tipo de pruebas muestran como sería la reacción de las personas según el comportamiento del maniqué, mostrado en la Fig. II.2 [14].



**Fig. II.2:** Ensayo de un asiento doble con empotramiento tipo riel acorde a ECE R80 [14].

Estático, la aprobación también se puede obtener también mediante este ensayo, aunque los criterios biomecánicos no son tomados en cuenta, en este tipo de ensayo

los impactos simultáneos del pecho y rodilla son simulados con dos fuerzas aplicadas en cada posición del asiento [14].

#### **2.1.4. Normativa**

La normativa que se usará en la siguiente investigación es la NTE INEN 2708 específicamente los literales:

##### 5. Requisitos para asientos

5.1 Cada tipo de asiento debe cumplir los requisitos de ensayo del capítulo 8 (ensayo dinámico) o de los capítulos 12 y 13 (ensayo estático), según lo elija el fabricante.

##### 7. Requisitos para la instalación de asientos en un tipo de vehículo.

7.2 Si se concede la homologación de conformidad con el capítulo 8, serán aplicables los ensayos 1 y 2 de dicho capítulo, con las siguientes salvedades:

7.2.2 El ensayo 2 del capítulo 8 no se realizará:

7.2.2.3 Si el asiento cumple los requisitos del capítulo 13 de la presente norma.

##### 12. Requisitos y procedimiento del ensayo estático

###### 12.1 Requisitos

12.1.1 La finalidad de los requisitos que deben cumplir los asientos que se ensayen según el presente capítulo es determinar:

12.1.1.1 Si los ocupantes de los asientos quedan correctamente retenidos por los asientos situados delante de ellos;

12.1.1.2 Si los ocupantes de los asientos no sufren lesiones de gravedad, y

12.1.1.3 Si el asiento y los soportes del asiento son suficientemente resistentes.

12.1.2 Se considerará que se cumplen los requisitos del subcapítulo 12.1.1.1 si el desplazamiento máximo del punto central de aplicación de cada fuerza establecida en

el subcapítulo 12.2.2.1, medido en el plano horizontal y en el plano mediano longitudinal de la plaza de asiento correspondiente, no sobrepasa los 400 mm.

12.1.3 Se considerará que se cumplen los requisitos del subcapítulo 12.1.1.2 si se dan las características siguientes:

12.1.3.1 El desplazamiento máximo del punto central de aplicación de cada fuerza establecida en el subcapítulo 12.2.2.1, medido como se indica en el subcapítulo 12.1.2, no sobrepasa los 100 mm.

12.1.3.2 El desplazamiento máximo del punto central de aplicación de cada fuerza establecida en el subcapítulo 12.2.2.1, medido como se indica en el subcapítulo 12.1.2, no sobrepasa los 50 mm.

12.1.3.3 Todos los elementos que formen parte del respaldo del asiento o los accesorios del mismo deben estar diseñados para que no causen lesiones a los viajeros como consecuencia de un impacto. Se considerará que se cumple este requisito si toda parte que pueda entrar en contacto con una esfera de 165 mm de diámetro tiene un radio de curvatura de 5 mm como mínimo.

12.1.3.4 Si alguna de las partes de los elementos y accesorios mencionados anteriormente es de un material de dureza inferior a 50 Shore A en un soporte rígido, los requisitos del subcapítulo 12.1.3.3 solo se aplicarán al soporte rígido.

12.1.3.5 No se aplicará lo dispuesto en el subcapítulo 12.1.3.3 a las partes del respaldo del asiento como dispositivos de regulación del asiento y accesorios si, en la posición de descanso, dichas partes están situadas debajo de un plano horizontal de 400 mm por encima del plano de referencia, aun en el caso de que el ocupante pueda entrar en contacto con las mismas.

12.1.4 Se considerará que se cumplen los requisitos del subcapítulo 12.1.1.3 si:

12.1.4.1 Ninguna parte del asiento, del soporte del asiento ni de los accesorios se desprende completamente durante el ensayo;

12.1.4.2 El asiento sigue estando firmemente sujeto, aunque uno o varios anclajes se hayan desprendido parcialmente, y todos los sistemas de bloqueo permanecen fijos durante todo el tiempo que dure el ensayo;

12.1.4.3 Después del ensayo no hay ninguna parte estructural del asiento o los accesorios con fracturas, aristas vivas, bordes puntiagudos o esquinas que puedan causar lesiones.

## 12.2 Ensayo estático

### 12.2.1 Aparato de ensayo

12.2.1.1 El aparato consistirá en superficies cilíndricas con un radio de curvatura de  $82 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  y un ancho:

12.2.1.1.1 Igual como mínimo al ancho del respaldo de cada plaza de asiento del asiento que se ensaye en lo que se refiere a la parte superior,

12.2.1.1.2 De 320 mm en la parte inferior, como se indica en la figura 1 del presente capítulo.

12.2.1.2 La superficie que descansa sobre el asiento será de un material cuya dureza no sea inferior a 80 Shore A.

12.2.1.3 Cada superficie cilíndrica dispondrá al menos de un transductor de fuerza capaz de medir fuerzas aplicadas en la dirección que se indica en el subcapítulo 12.2.2.1.1.

### 12.2.2 Procedimiento de ensayo

12.2.2.1 Se aplicará a la parte posterior del asiento en cada una de las plazas de asiento una fuerza de  $\pm 50 \text{ N}$  utilizando un dispositivo que se ajuste a lo dispuesto en el subcapítulo 12.2.1.

12.2.2.1.1 La dirección de aplicación de la fuerza estará situada en el plano vertical mediano de la plaza de asiento correspondiente; será horizontal y se ejercerá de atrás hacia adelante del asiento.

12.2.2.1.2 Esa dirección se situará a una altura H1 comprendida entre 0,70 m y 0,80 m por encima del plano de referencia. El fabricante determinará la altura exacta.

12.2.2.2 Se aplicará simultáneamente una fuerza de ensayo de  $\pm 100$  N a la parte posterior del asiento en cada plaza de asiento en el mismo plano vertical y en la misma dirección a una altura H2 que estará comprendida entre 0,45 m y 0,55 m por encima del plano de referencia, con un dispositivo que se ajuste a lo dispuesto en el subcapítulo 12.2.1. El fabricante determinará la altura exacta.

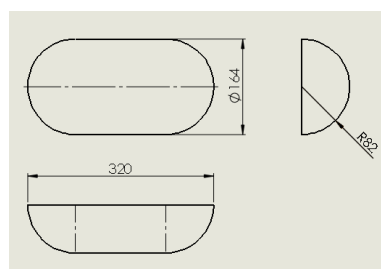
12.2.2.3 Los maniqués de ensayo se mantendrán en contacto lo máximo posible con la parte posterior del asiento durante la aplicación de las fuerzas indicadas en los subcapítulos 12.2.2.1 y 12.2.2.2. Deben poder girar en un plano horizontal.

12.2.2.4 En caso de que un asiento tenga más de una plaza de asiento, deben ejercerse simultáneamente las fuerzas en cada plaza, y habrá tantos maniqués en posición superior e inferior como plazas de asiento.

12.2.2.5 La posición inicial de cada plaza de asiento de cada uno de los maniqués se determinará poniendo en contacto los dispositivos de ensayo con el asiento con una fuerza igual a 20 N como mínimo.

12.2.2.6 Cualquiera que sea la deformación y durante un mínimo de 0,2 segundos, deben aplicarse lo más rápidamente posible y mantenerse unidas en un valor específico las fuerzas indicadas en los subcapítulos 12.2.2.1 y 12.2.2.2.

12.2.2.7 En caso de que el ensayo se haya llevado a cabo siendo una o más fuerzas, pero no todas, mayores que las indicadas en los subcapítulos 12.2.2.1 y 12.2.2.2, y que el asiento cumpla los requisitos, se considerará que se ha superado el ensayo. [1]



**Fig. II.3:** Aparato de ensayo estático según NTE INEN 2708 [1].



### **2.1.5. Diseño por elementos finitos**

#### **2.1.5.1. Método de elemento finito**

Para Logan [15], es un método numérico para la solución de problemas ingenieriles y físicos matemáticos, sistemas como análisis estructural, transferencia de calor, flujo de fluidos, transporte de masa y potencial electromagnético.

Cuando queremos evaluar un sistema que incluye geometrías complejas, cargas y materiales la obtención de soluciones analíticas se vuelven complejas, es así como el método por elemento finito permite obtener soluciones aceptables formulando así ecuaciones algebraicas simultáneas en lugar de ecuaciones diferenciales.

#### **2.1.5.2. La discretización**

Este método usa la discretización que es dividir al cuerpo en partes más pequeñas para modelar un objeto, y en lugar de evaluar como un todo el cuerpo se formula ecuaciones para cada elemento finito para combinarlos y obtener la solución del sistema completo.

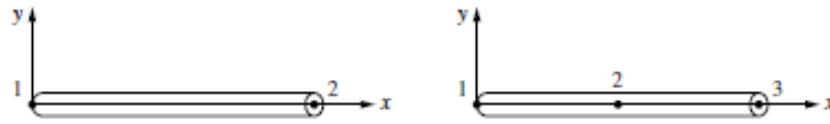
#### **2.1.5.3. Tamaño de elemento**

Una buena discretización maneja dos criterios que el elemento debe ser lo más pequeño posible para obtener resultados útiles y que sean lo más grandes posibles para reducir el esfuerzo computacional, hay que considerar que los elementos más pequeños se los usa donde los resultados varíen y los elementos más grandes se debe usar donde los resultados permanezcan constantes.

#### **2.1.5.4. Tipología de los elementos finitos**

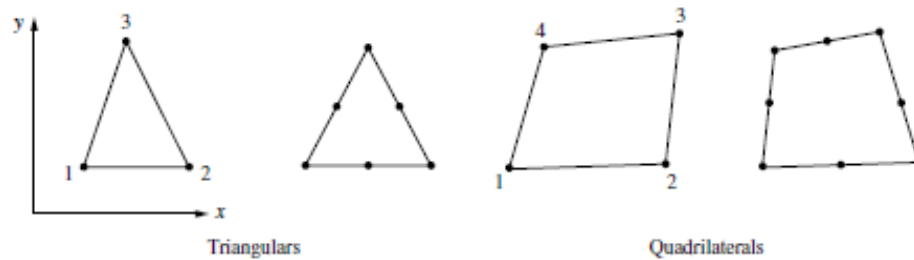
Como indica Logan [15], la selección del elemento a usarse en un análisis por elemento finito depende mucho de cómo se estructure el modelo, las condiciones de carga y que tan cerca al comportamiento real se requiere los resultados, la selección del elemento es la tarea más difícil del analista, algunos de los elementos que más se emplean son los que se indican a continuación:

Elemento simple línea con dos nodos y de orden superior, típicamente empleados para representar una viga.



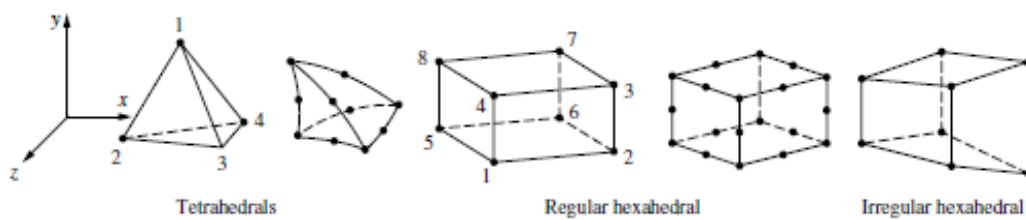
**Fig. II.4:** Elemento lineal [15].

Elemento simple bidimensional con nodos en las esquinas y de orden superior que tienen nodos intermedios en los lados, usados para representar esfuerzo - deformación plana.



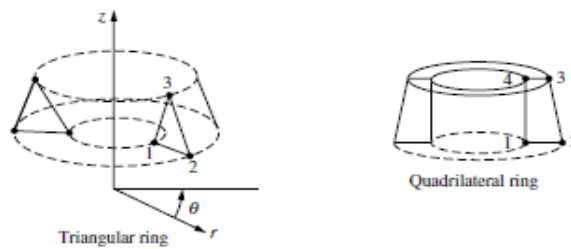
**Fig. II.5:** Elemento bidimensional. [15]

Elementos tridimensionales simples y de orden superior con nodos intermedios, útiles para representar estado de carga en 3D.



**Fig. II.6:** Elemento tridimensional. [15]

Elementos axisimétricos triangulares y en forma de cuadriláteros, apropiados para problemas de tipo axisimétrico.



**Fig. II.7:** Elemento axisimétrico. [15]

### 2.1.5.5. Aplicaciones del método por elementos finitos.

Como se demuestra en [15], este método es aplicable tanto para problemas

Estructurales como:

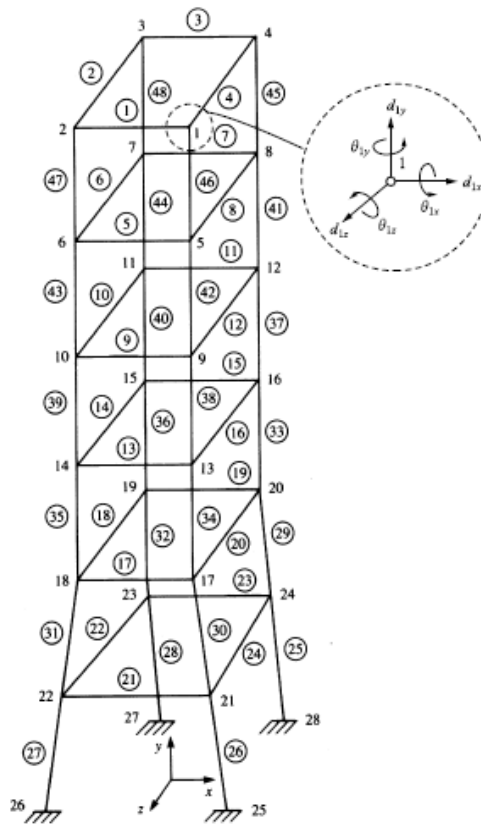
- Análisis de esfuerzos, de pórticos y armaduras, concentraciones de esfuerzos típicos en cambios de geometría del cuerpo.
- Pandeo
- Análisis vibratorios

No estructurales:

- Transferencia de calor
- Flujo de líquidos
- Distribución eléctrica.

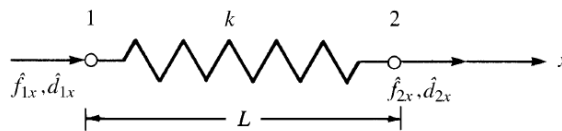
Un ejemplo claro es el mostrado en la Fig. 7 donde se observa una torre que es una armadura tridimensional comprimiendo una serie de elementos viga, aquí se distingue los 48 elementos conectados por 28 nodos los cuales tienen tres rotaciones y tres desplazamientos, llamados grados de libertad.

El método de elemento finito aplicado en esta armadura permite al diseñador obtener de manera rápida desplazamientos y esfuerzos en la torre para casos típicos de carga como se requiere en la norma.



**Fig. II.8:** Torre de control férreo discretizada con 28 nodos y 48 elementos con grados de libertad mostrados en el nodo 1 [15].

### 2.1.5.6. Ensamble de la matriz rigidez



**Fig. II.9:** Elemento tipo resorte lineal sometido a cargas de tensión [15].

Ahora se desarrollará la relación que existe entre las fuerzas existentes en los nodos con los desplazamientos nodales como se observa a continuación:

$$\begin{Bmatrix} \hat{f}_{1x} \\ \hat{f}_{2x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1x} \\ \hat{d}_{2x} \end{Bmatrix} \quad (\text{II.1})$$

Entonces:

$$\begin{aligned} f_{1x} &= (k_{11} * d_{1x}) + (k_{12} * d_{2x}) ; \\ f_{2x} &= (k_{21} * d_{1x}) + (k_{22} * d_{2x}) \end{aligned} \quad (\text{II.2})$$

La k representa el coeficiente de permeabilidad que tiene el material, por lo que el método es aplicable a varios análisis, ya sean no estructurales como transferencia de calor, flujo de fluidos, etc.

### 2.1.5.7. Elemento empleado para el metamodelo

#### 2.1.5.7.1. Elemento beam

El elemento beam que incluye los efectos de la fuerza axial, fuerza cortante y momento flector, mismo que se logra ampliando el número de grados de libertad por nodo.

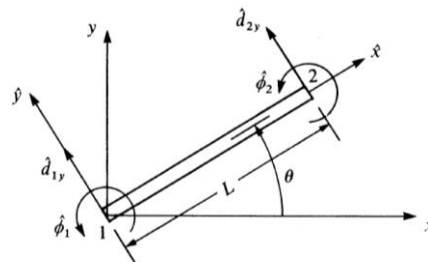


Fig. II.10: Características del elemento beam [15].

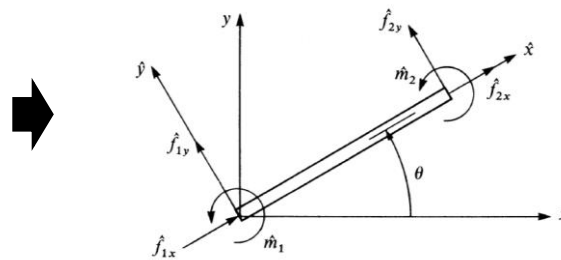


Fig. II.11: Características del elemento frame [15].

Para obtener la matriz Global de rigidez, se debe aplicar:

$$K = T^T k T \quad (\text{II.3})$$

La matriz rigidez de este elemento en coordenadas locales:

$$\hat{k} = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & -C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 12C_2 & 6C_2L & 0 & -12C_2 & 6C_2L \\ 0 & 6C_2L & 4C_2L^2 & 0 & -6C_2L & 2C_2L^2 \\ -C_1 & 0 & 0 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & -12C_2 & -6C_2L & 0 & 12C_2 & -6C_2L \\ 0 & 6C_2L & 2C_2L^2 & 0 & -6C_2L & 4C_2L^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

Donde:

$$C_1 = \frac{AE}{L} \quad \text{y} \quad C_2 = \frac{EI}{L^3} \quad (\text{II.5})$$

La matriz T en la figura número, ha sido expandida para incluir la deformación axial del elemento:

$$\underline{T} = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C & S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

Sustituyendo k de la ecuación II.5 y T de II.6 en II.4, se obtiene la matriz general global para el elemento a usarse, el mismo que abarca deformaciones y efectos axiales, cortantes y de momento:

$$\underline{k} = \frac{E}{L} \times \begin{bmatrix} AC^2 + \frac{12I}{L^2} S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\frac{6I}{L} S & -\left(AC^2 + \frac{12I}{L^2} S^2\right) & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\frac{6I}{L} S \\ & AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2 & \frac{6I}{L} C & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\left(AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2\right) & \frac{6I}{L} C \\ & & 4I & \frac{6I}{L} S & -\frac{6I}{L} C & 2I \\ & & & AC^2 + \frac{12I}{L^2} S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & \frac{6I}{L} S \\ & & & & AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2 & -\frac{6I}{L} C \\ \text{Symmetry} & & & & & 4I \end{bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

Haciendo uso de estos se puede lograr una armadura conectando una serie de elementos viga rígidos los cuales transmiten momento uno al otro en las articulaciones, por lo tanto, la continuidad del momento existe a lo largo del modelo.

## 2.1.6. El metamodelado

### 2.1.6.1. Conceptos del metamodelado

Como se indica en [16], muchos de los análisis relacionados a la ingeniería consiste en resolver complejos algoritmos computacionales, donde se provee de variables de entrada para obtener salidas, a pesar de los avances en la computación estos procesos no son accesibles por el costo y el tiempo de análisis que estos conllevan, **el metamodelo es un modelo del modelo y su enfoque básico es construir aproximaciones del modo de análisis que sean más eficientes** para ejecutarlos y tengan un buen rendimiento en la relación de sus variables de entrada y salida. Se los puede definir:

El modelo:

$$y = f(x) \quad (\text{II.8})$$

Y el metamodelo como:

$$\hat{y} = g(x) \quad (\text{II.9})$$

$$y = \hat{y} + \epsilon \quad (\text{II.10})$$

Dónde:

Representa  $\epsilon$  el error de las mediciones. Comúnmente se identifica la eficiencia de la forma de ejecutar el análisis mediante el diseño de experimentos DOE.

### 2.1.6.2. Técnicas de metamodelado

Según [16], Metamodelar involucra: escoger un diseño de experimentos para generar datos, escoger un modelo que represente los datos ingresados y ajustar el modelo a los datos obtenidos. Existen muchas opciones para seguir estos pasos, pero a continuación se muestran algunos de los más usados.

**Tabla II.1:** Técnicas de metamodelado.

| DISEÑO DE EXPERIMENTOS   | DETERMINAR EL MODELO  | AJUSTE DEL MODELO                      |
|--------------------------|-----------------------|--|
| Factorial                |                       |  |
| Composición central      | Polinomial cuadrática | Metodología de superficie de respuesta |
| D- óptimo                | Tendencias cúbicas    | Kriging                                |
| Arreglo ortogonal        | Red neuronal          | Redes neuronales                       |
| Seleccionado manualmente | Esquemas de decisión  | Determinación inductiva                |
| Selección aleatoria      |                       |  |

[16]

### 2.1.6.3. El metamodelo aplicado a la ingeniería de diseño

Como se demuestra en [16], todas las técnicas mostradas pueden ser aplicadas para crear aproximaciones de análisis computacionales ya existentes y producir modelos de análisis más rápidos obteniendo una mejor eficiencia computacional.



El objetivo del diseñador es mejorar o robustecer las soluciones mismas que son valores variables del diseño, la búsqueda de estas variables confía en la optimización misma que genera y evalúa muchas soluciones buscando mejorar el diseño.

Es apropiado emplear un metamodelo. En las últimas etapas del diseño cuando la información detallada acerca de soluciones específicas está disponible, una alta precisión de análisis es esencial. En etapas tempranas del diseño se debe enfocar en generar, evaluar y comparar las configuraciones, aquí la información es incierta, pero se la debe manejar con el fin de asegurar la mejor configuración.

**La creación de un metamodelo permite un análisis más rápido balanceando la exactitud con la eficiencia.**

#### **2.1.7. Software de procesamiento matricial.**

Se lo puede definir como un entorno computacional que hace posible el cálculo numérico y simbólico de forma precisa, incluye características gráficas y de visualización avanzada aptas para el trabajo científico y la ingeniería.

El software de procesamiento matricial cuenta con un lenguaje de programación de un nivel muy alto, basa su funcionamiento en vectores, arrays y matrices.

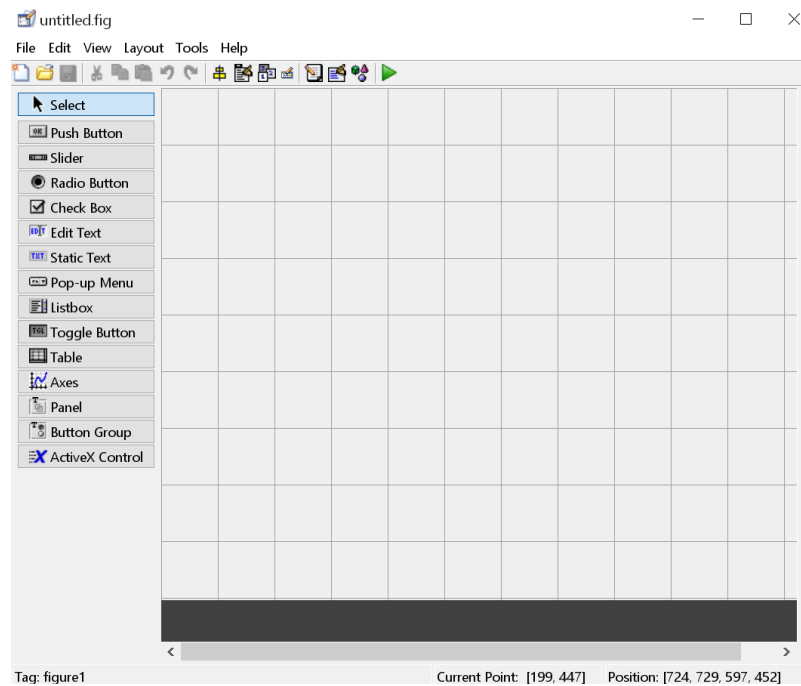
Siendo un software en continuo crecimiento resulta ser muy adaptable a avances científicos y al trabajo en laboratorios I+D, resolviendo problemas ingenieriles en el desarrollo de nuevo productos [17].

##### **2.1.7.1. Módulo GUIDE (Graphical User Interfase Development Enviroment)**

Es un entorno para diseñar interfaces de usuario, donde el comportamiento interactivo de su aplicación se codifica por separado, tiene la capacidad de mostrar, todo tipo de diagramas y gráficas, así como también proporciona varios componentes interactivos incluido botones, barras de herramientas, tablas, entre otros [17]. Los cuales son de gran importancia para crear aplicaciones enfocados a varios campos como:

- Comunicaciones
- Aeroespacial
- Automoción
- Finanzas
- Estadística

### 2.1.7.2. Interfaz de usuario de GUIDE



**Fig. II.12:** Interfaz gráfico GUIDE (Graphical User Interface Development Enviroment) [17].

**Tabla II.2:** Caracterización de los elementos del interfaz gráfico GUIDE (Graphical User Interface Development Enviroment)

| Control       | Valor        | Descripción                                  |
|---------------|--------------|--|
| Check box     | Checkbox     | Indica el estado de una opción o atributo    |
| Editable text | Edit         | Cuadro para editar texto                     |
| Pop-up menú   | Popumenu     | Provee una lista de opciones                 |
| List box      | Listbox      | Muestra una lista deslizable                 |
| Push button   | Pushbutton   | Invoca un evento inmediatamente              |
| Radio button  | Radio        | Indica una opción que pueda ser seleccionada |
| Toggle button | Togglebutton | Tiene estados on u off                       |
| Slider        | Slider       | Usado para representar un rango de valores   |
| Static text   | Text         | Muestra un texto en un recuadro              |
| Panel button  |              | Agrupar elementos como un grupo              |
| Button group  |              | Permite selección de radio button            |

[17]

Como un aporte más al trabajo de investigación se hará uso de la bibliografía [18] para desarrollar un GUIDE (Graphical User Interface Development Enviroment) que permita a cualquier tipo de usuario manejar el código de manera interactiva, obtener resultados para posteriormente archivarlos e interpretarlos el código de programación se encuentra en el ANEXO 3.

## **2.2. HIPÓTESIS**

H0: La utilización del metamodelo permite la optimización del análisis de la resistencia de la estructura de un asiento de bus urbano.

HA: La utilización del metamodelo no permite la optimización del análisis de la resistencia de la estructura de un asiento de bus urbano.

## **2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1. Variable independiente**

Esquemmatización del metamodelo de simulación.

### **2.3.2. Variable dependiente**

Optimización del análisis de la resistencia de la estructura de un asiento de bus urbano.

### **2.3.3. Término de relación**

Por verificar

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. Exploratorio**

El alcance del estudio es esquematizar un metamodelo representando el fenómeno en cuestión que permita optimizar el análisis de la estructura de un asiento de bus urbano, este tipo estudio se realiza ya que el tema ha sido poco abordado previamente a nivel local.

#### **3.1.2. Descriptivo**

El fin de la investigación es describir el proceso de análisis y el dimensionamiento estructural de un asiento de autobús urbano mediante el metamodelo de simulación, así también se describirá una disminución en el tiempo de análisis del caso específico de estudio.

#### **3.1.3. Correlacional**

El estudio correlaciona el metamodelo propuesto respecto al aumento o disminución del tiempo de la simulación, así también el porcentaje de error obtenido contrastando con los resultados del modelo de análisis original del asiento de bus urbano.

### **3.2. POBLACION Y MUESTRA**

#### **3.2.1. Población**

La investigación toma en cuenta como población a los modelos de asientos de autobús urbano fabricados y ofertados por los principales fabricantes a continuación mostrados en la Tabla III.1.

**Tabla III.1:** Principales proveedores de asientos en el país.

| Empresas dedicadas a la construcción de asientos |                                 |
|--|---------------------------------|
| IMEISA   | Proveedor de asientos en Ambato |
| Constructores Valencia                           | Proveedor de asientos en Ambato |
| CEPESA   | Proveedor de asientos en Ambato |
| ELASTO S.A.                                      | Proveedor de asientos en Ambato |
| Metalmecanica zambrano                           | Proveedor de asientos en Ambato |
| Talleres Vargas                                  | Proveedor de asientos en Ambato |
| Sistema de asientos AMERICAN                     | Proveedor de asientos en Ambato |
| MIVILTECH  | Proveedor de asientos en Ambato |
| CEPOLFI  | Proveedor de asientos en Ambato |

[Autor]

### 3.2.2. Muestra

El presente estudio hará uso de un metamodelo de simulación el cual según [16], es un método de análisis simplificado el cual recomienda que su aplicabilidad se reduzca a un caso en específico con información detallada, por esta razón la muestra será igual a un modelo de asiento de bus urbano, en este caso el modelo de asiento de MIVILTECH SSOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1. Variable independiente:

Esquematzación del metamodelo de simulación.

**Tabla III.2:** Operacionalización de variable independiente.

| Concepto  | Dimensiones                 | Indicadores            | Ítems                 | Técnicas/herramientas  |
|---|-----------------------------|------------------------|-----------------------|--|
| Simplificación del modelo de análisis por elementos finitos que describe el comportamiento del asiento de bus urbano ante la interacción de la carga con la estructura del mismo, siendo de gran importancia obtener una optimización en el tiempo de análisis con un bajo porcentaje de error. | Tipo de elemento            | Beam                   | 6 GDL                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de cálculo</li> <li>• Bibliografía especializada</li> <li>• Software de procesamiento matricial</li> <li>• Hojas de registro</li> <li>• NTE INEN 2708</li> </ul> |
|   | Número de elementos         | Alternativa 1          | 8 elementos           |  |
|   |                             | Alternativa 2          | 12 elementos          |  |
|   | Características geométricas | Espesor                | 1-3mm                 |  |
|   |                             | Longitudes             | 600-80mm              |  |
|   |                             | Angulo pata            | 60-70°                |  |
|   |                             | Angulo espaldar        | 95-110°               |  |
|   | Cargas                      | F1                     | $F1=(1000/H1)\pm 50N$ |  |
| F2  |                             | $F2=(2000/H2)\pm 100N$ |                       |  |

[Autor]

### 3.3.2. Variable dependiente

Optimización del análisis de la resistencia de la estructura de un asiento de bus urbano.

**Tabla III.3:** Operacionalización de variable dependiente.

| Concepto   | Dimensiones         | Indicadores  | Ítems        | Técnicas/herramientas  |
|--|---------------------|--|--------------|--|
| Minimizar el costo computacional, reducción del tiempo de procesamiento de resultados de el análisis de resistencia bajo criterios de aceptación de la normativa[1]. | Tiempo de análisis  | M.E.F.   | 6-20 horas   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoja de cálculo</li> <li>• Bibliografíaa especializada</li> <li>• Software de procesamiento matricial</li> <li>• Hojas de registro</li> </ul> NTE INEN 2708 |
|  |                     | Metamodelo de simulación de 11 elementos y 12 nodos                          | 1-3 segundos |  |
|  | Porcentaje de error | Desplazamiento horizontal en el punto de aplicación de las cargas según [1]. | > 10%        |  |
|  |                     |  | < 10%        |  |

[Autor]

### **3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Se define en la presente investigación que las fuentes de información son por un lado trabajos previos referentes al tema, libros, artículos científicos, etc. Y por otro lado la información obtenida por medio del investigador de manera directa.

El objetivo del plan de recolección de información del presente trabajo experimental es obtener resultados de las diferentes simulaciones previamente realizadas por elementos finitos obteniendo datos que nos permitan tener referencias, evaluar y comparar con el metamodelo, mismo que para su esquematización se recurrirá previamente de manera documental recolectando varias bibliografías que sean referentes a la temática del método de elementos finitos y al metamodelado, así también, el método de la observación ya que este consiste en registrar sistemáticamente los comportamientos de situaciones observables.

La teoría recolectada servirá como el sustento teórico para entender el comportamiento del sistema que se va a simplificar, además obtener el conocimiento para proponer el modelo matemático que refleje los resultados deseados.

Los datos obtenidos mediante la observación se transferirán a un registro para posteriormente analizar y comparar, los datos obtenidos mediante el metamodelo de simulación y el modelo original del asiento de bus urbano.

### **3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

El estudio tiene como punto de partida conocer los conceptos del método de elementos finitos y el metamodelado:

El método de elementos finitos, un elemento no se evalúa de manera global sino se divide en varias partes para combinar las ecuaciones de estas y resolver el sistema.

El metamodelado, se describe como la esquematización de un modelo simplificado del modelo, este se caracteriza por ser una aproximación con bajo porcentaje de error.



Se procederá a obtener datos acerca de las características como: tipo de elementos estructurales, dimensiones básicas del asiento elaborado y materiales empleados. Así como también los tipos de cargas a la que está sometido el componente.

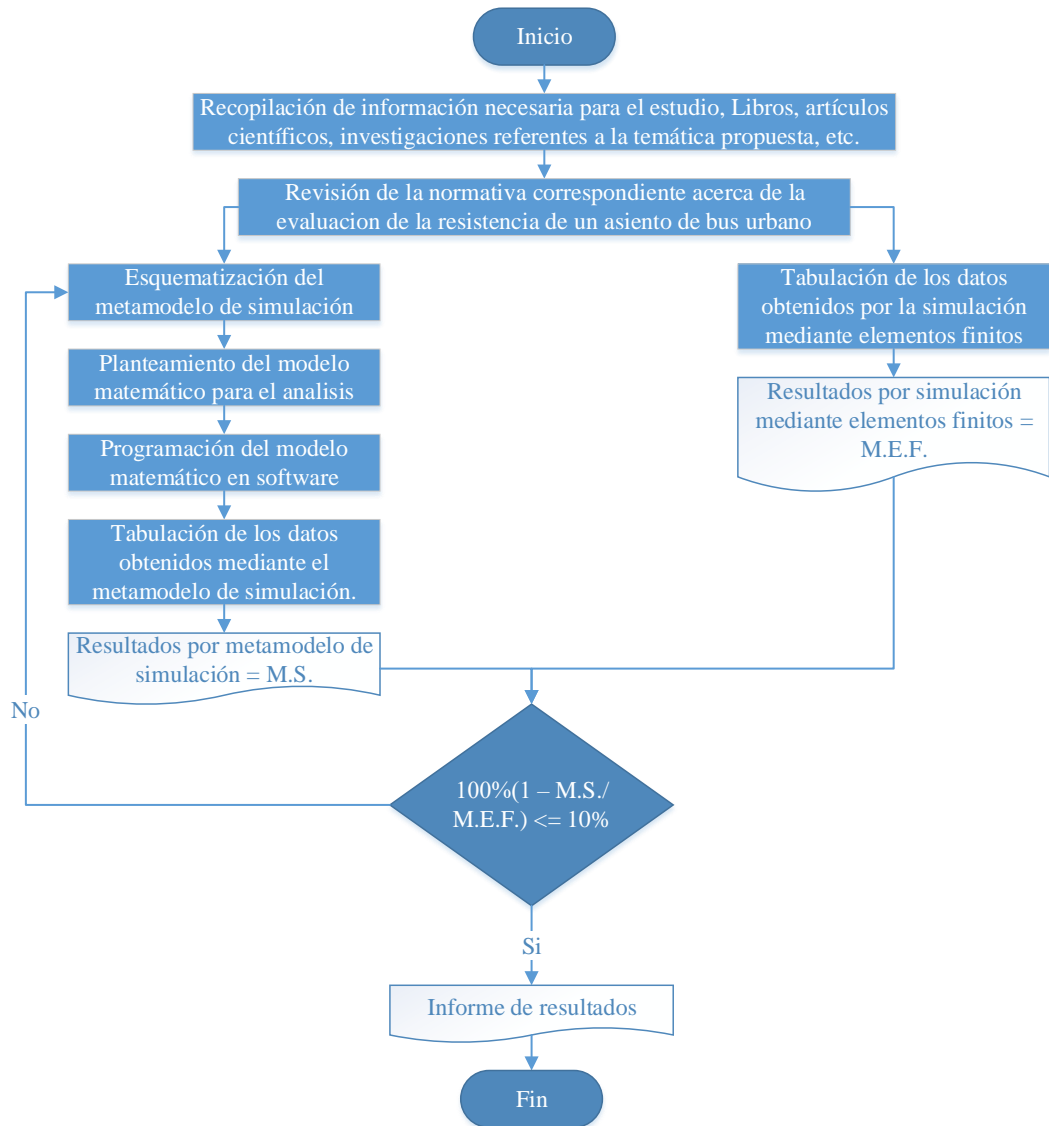
La recolección de la información también se la efectuará por medio de la toma de datos obtenidos mediante la simulación por elementos finitos, para obtener aproximaciones de los resultados esperados lograr mediante el metamodelo planteado.

Una vez definido el metamodelo se procederá a programarlo y ejecutarlo, de la misma manera como se recopiló los resultados mediante la simulación por elementos finitos, se lo hará tomando los datos obtenidos mediante el modelo simplificado del asiento de autobús urbano.

Una vez terminado los ensayos los datos obtenidos se hará la tabulación para realizar la verificación y comparación de la información obtenida

### **3.5.1. Recolección, procesamiento y análisis.**

La metodología que se llevará a cabo en investigación propuesta se condensa en la Fig. III.1, la cual indica a modo de flujograma el proceso con el cual se llevará a cabo la investigación.



**Fig. III.1:** Diagrama de recolección procesamiento y análisis. [Autor]

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 4.1.1. Introducción

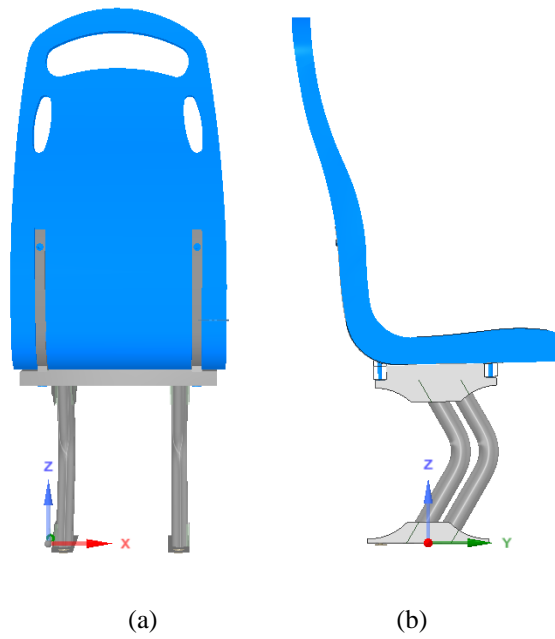
Dentro de este capítulo también se abordó la explicación del desarrollo del metamodelo propuesto para evaluar la resistencia del asiento urbano, con el objetivo de evaluar con el menor costo computacional, optimizando el tiempo y la resistencia de un asiento de transporte público.

#### 4.1.2. Descripción del modelo de asiento evaluado

Como se puede observar en Fig. IV.1, si bien la configuración de este tipo de asiento es bastante simple, consta básicamente de una parte plástica (polipropileno), que es donde la persona puede sentarse de forma cómoda, y otra parte metálica que es la parte estructural que ancla al asiento al suelo y le brinda soporte a la parte plástica.

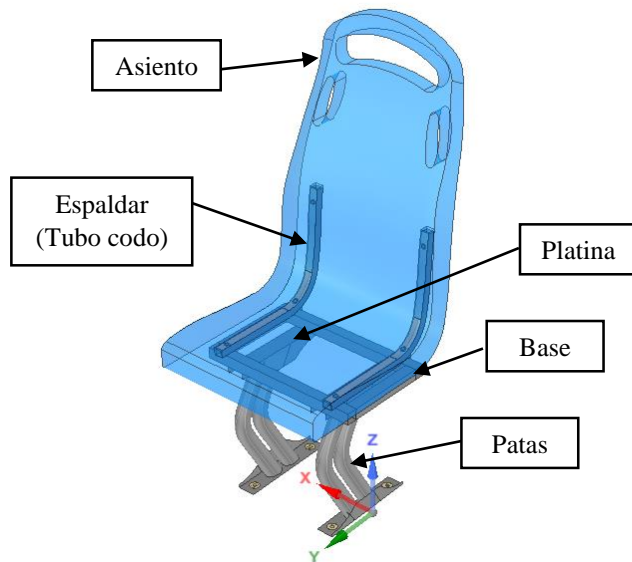


**Fig. IV.1:** Asiento de bus urbano vista isométrica.  
[Autor]



**Fig. IV.2:** Asiento de bus urbano vista posterior (a) y lateral (b).  
[Autor]

#### 4.1.3. Partes constitutivas del asiento de bus urbano



**Fig. IV.2:** Partes constitutivas de asiento urbano.  
[Autor]

**Tabla IV.1:** Detalles de partes constitutivas de asiento urbano.

| ELEMENTO             | DESCRIPCIÓN  |
|----------------------|--|
| Patas                | Tubo redondo de acero ASTM A500 de 2mm de espesor  |
| Base                 | Tubo cuadrado de acero ASTM A500 de 2mm de espesor |
| Platina              | Acero ASTM A36; 3mm de espesor                     |
| Espaldar (Tubo codo) | Tubo cuadrado de acero ASTM A500 de 2mm de espesor |
| Asiento              | Plástico   |

[Autor]

Es de gran importancia conocer las partes constitutivas del asiento urbano, ya que según sea el fabricante cada diseño es diferente, en este caso el metamodelo tuvo como punto de partida el modelo presentado en la Fig. IV.2.

#### **4.1.4. Ensamblaje del asiento de bus urbano**

Los fabricantes son quienes desde el punto de vista teórico y previno las condiciones de servicio del asiento definieron el proceso de ensamblaje con el fin de que la unión entre los componentes sea la adecuada es decir que la parte estructural quede de tal forma que sus elementos, en este caso las patas, la platina, la base y el espaldar (tubo codo) asemejen el comportamiento de una armadura, para lograr este objetivo las uniones de soldadura tienen que ser uniformes y sin discontinuidades.

El metamodelo propuesto en el presente trabajo experimental presume el contacto de todos sus componentes, así como su correcta unión ya que al ser un producto el cual se hará uso en un medio de transporte de personas, deberá asegurar que tanto los procesos de conformado de cada una de sus partes no presenten inconformidad en cuanto a las tolerancias establecidas y la soldadura cumpla las especificaciones necesarias que avalen el mismo.

Es importante mencionar que durante el ensamblaje intervienen varios procesos y factores que hace que el producto final no sea del deseado de manera exacta, es decir puede existir variabilidad en la calidad de los cordones de soldadura, de igual manera en el proceso de conformado de las partes.

Características del ensamblaje:

- Las patas están unidas al elemento de anclaje mediante suelda.

- Las patas se unen al elemento denominado platina el cual conecta a la base mediante suelda.
- El espaldar se conecta a la base y el asiento de plástico mediante pernos, tuercas y arandelas.
- Para su instalación los anclajes se sujetan al piso de la carrocería mediante pernos, tuercas y arandelas.

#### **4.1.5. Recopilación de datos para el metamodelo de simulación.**

La estructura de un asiento de bus urbano se la puede simplificar haciendo uso de suposiciones basadas en cómo es su comportamiento al momento de deformarse, para de esta manera reducir el tiempo de análisis obteniendo resultados óptimos.

El asiento está compuesto por elementos de pared delgada, y sectores donde hacen contacto mediante en su mayoría por soldadura, estas regiones de contacto son uniones de las patas con la base y la base con el espaldar, tanto las regiones de los miembros estructurales que colapsan como las regiones críticas donde se contactan deben ser tomados en cuenta para el análisis.

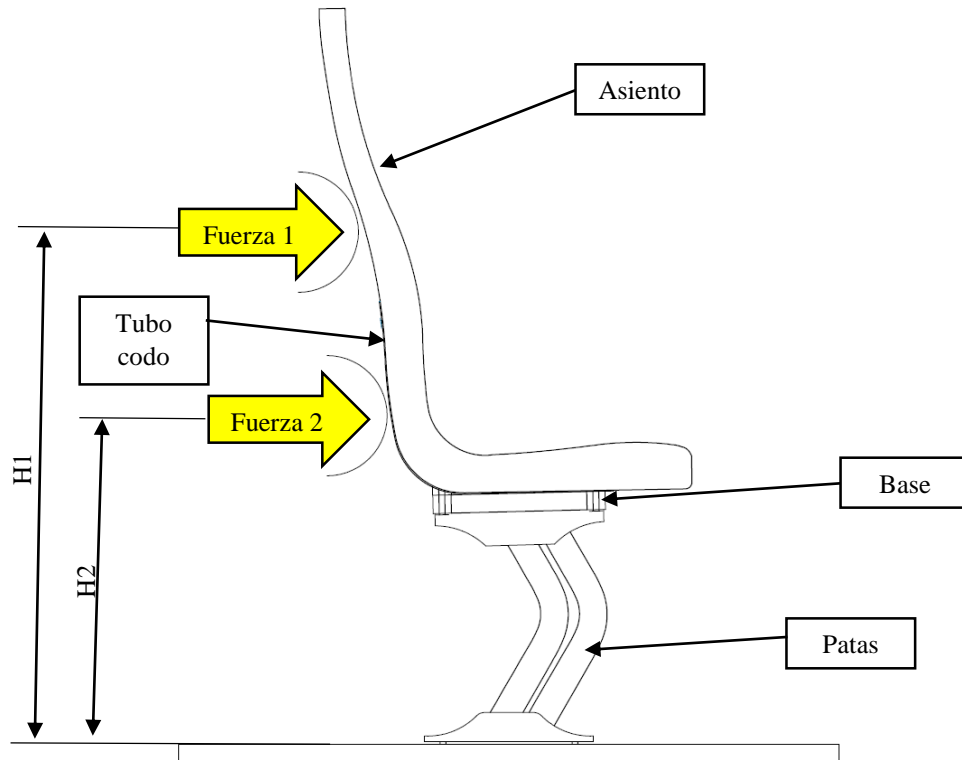
Las regiones de contacto antes mencionadas son fundamentales para determinar las deformaciones que existan después de aplicar una carga.

Para que el costo de construir el modelo matemático no sea elevado hay que predecir de manera óptima el comportamiento de la estructura del asiento observando de manera detallada cada uno de los elementos que componen el asiento.

#### **4.1.6. Desarrollo del procedimiento de ensayo.**

Como se indica en [1] normativa equivalente a [19], se aplicará una carga de  $F_1$  (Fuerza 1) =  $1000/H_1 \pm 50N$  donde  $H_1$  tendrá valores entre (0.70 – 0.80)m, simultáneamente una carga de  $F_2$  (Fuerza 2) =  $2000/H_2$  donde  $H_2$  (0.45 – 0.55)m; donde  $H_1$  y  $H_2$  en ambos casos hace referencia a la distancia que tiene desde el piso hasta la altura donde se aplicará la carga correspondiente. Como se muestra en la Fig. IV.3.

De esta manera es como se define ciertas características que debe tener el metamodelo. Debido a que esta información permite reconocer parámetros críticos que no se puede obviar en la formulación del modelo matemático.



**Fig. IV.3:** Esquema de disposición de fuerzas aplicadas en el ensayo de la resistencia del asiento urbano.  
[Autor]

#### 4.1.7. Análisis mediante el método de elementos finitos (M.E.F.)



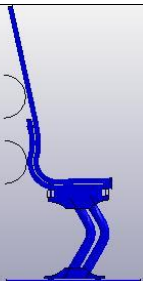
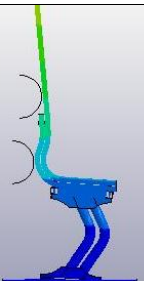
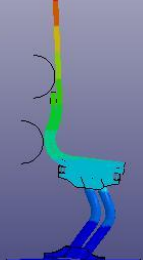
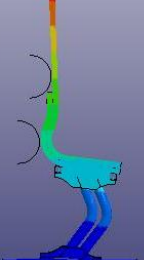
De manera preliminar se revisó los resultados obtenidos mediante la simulación por el método de elementos finitos del asiento de bus urbano con el fin de comprender el modo de colapso de la estructura, y de esta forma poder tomar en cuenta cada una de las características importantes para su análisis.

El objetivo de esta etapa es entender de manera física como se debía elaborar el metamodelo, para así hacer inferencias mucho más objetivas acerca del ensayo estático presentado en Tabla IV.2.

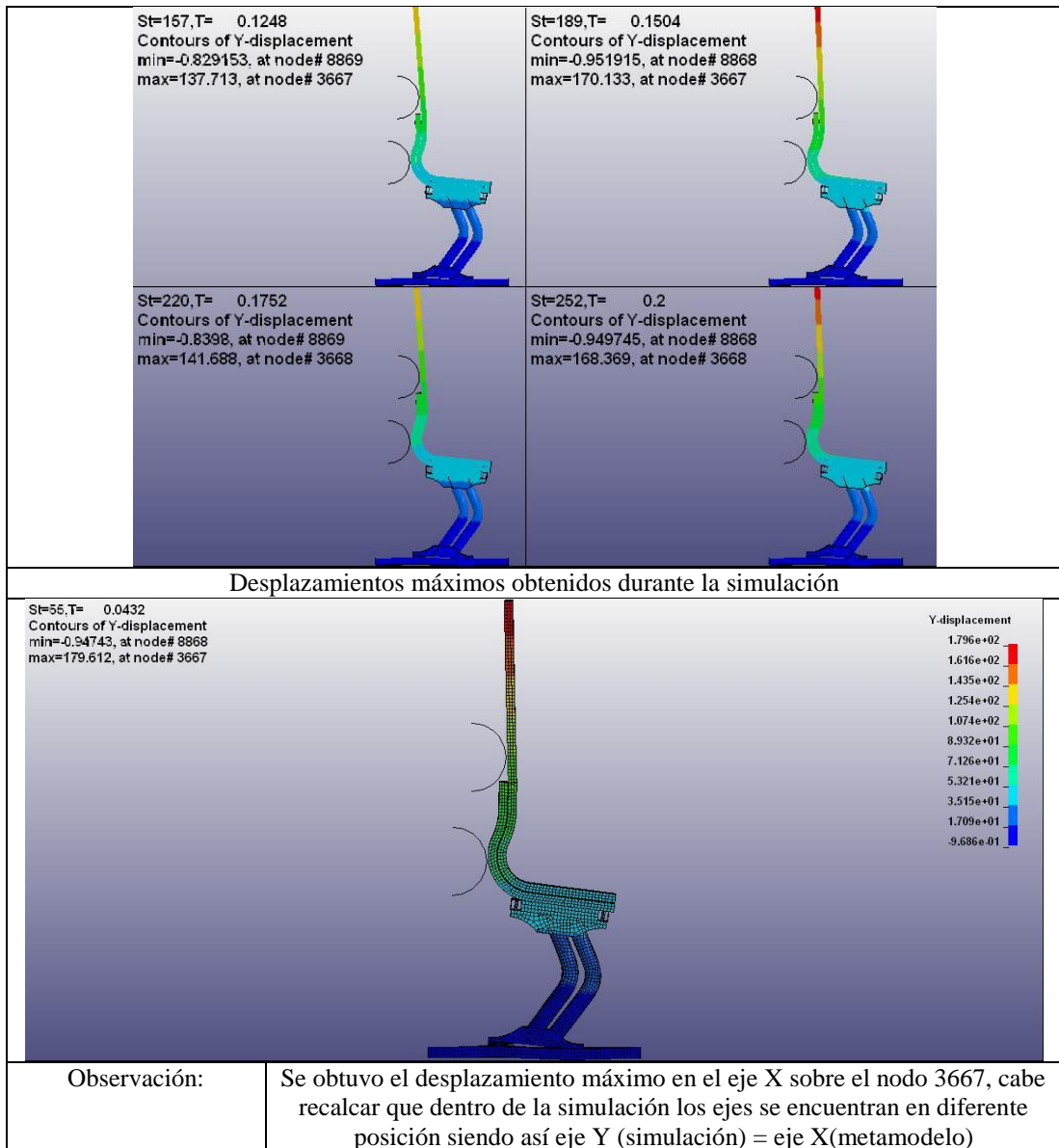
La simulación presentó una cualidad, que para el análisis por el método de elementos finitos de la misma, se cambió la geometría reemplazando la parte plástica por un complemento de acero el cual permite conectar las fuerzas aplicadas según [1] con la estructura del asiento.

A continuación, se presenta el resumen de la simulación realizada, para posteriormente obtener el metamodelo equivalente para el análisis de la resistencia del asiento.

**Tabla IV.2:** Análisis de resultados de primera simulación determinación modo de colapso

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>  |                                |   |                  |                    |               |       |
|---|--------------------------------|---|------------------|--------------------|---------------|-------|
| Nº de simulación:   | 0                              | Asiento:  | Urbano una plaza |                    |               |       |
| Normativa:  | NTE INEN 2708                  |   |                  |                    |               |       |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1                 | F2            | H2    |
|   |                                |   | 1400 N           | 750mm              | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría  | Patas                          |   | Base             |                    | Tubo codo     |       |
|   | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm    |                    | Espesor = 2mm |       |
| Tipo de análisis:   | Dinámica explícita             |   |                  |                    |               |       |
| Software utilizado  | ANSYS V.19                     |   | LS-DYNA          |                    |               |       |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   |                  | 4 nucleos          |               |       |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :          | 5 de Julio de 2018 |               |       |
| Tiempo de procesamiento   |                                | 8h20min   |                  |                    |               |       |
| <b>Resultados de simulación</b>   |                                |   |                  |                    |               |       |
| St=1,T= 0<br>Contours of Y-displacement<br>min=0, at node# 11366<br>max=0, at node# 11366   |                                |    |                  |                    |               |       |
| St=32,T= 0.0248<br>Contours of Y-displacement<br>min=-0.464947, at node# 8866<br>max=114.535, at node# 2142   |                                |  |                  |                    |               |       |
| St=64,T= 0.0504<br>Contours of Y-displacement<br>min=-0.949459, at node# 8867<br>max=169.178, at node# 3667   |                                |    |                  |                    |               |       |
| St=126,T= 0.1<br>Contours of Y-displacement<br>min=-0.951821, at node# 8868<br>max=171.444, at node# 3669   |                                |  |                  |                    |               |       |





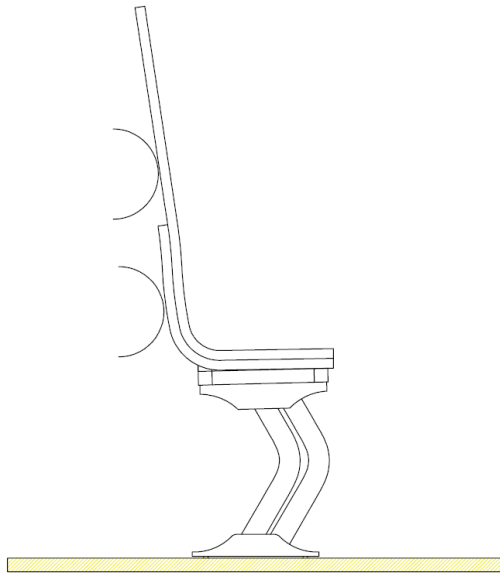
[Autor]

#### 4.1.8. Concepción del modelo simplificado

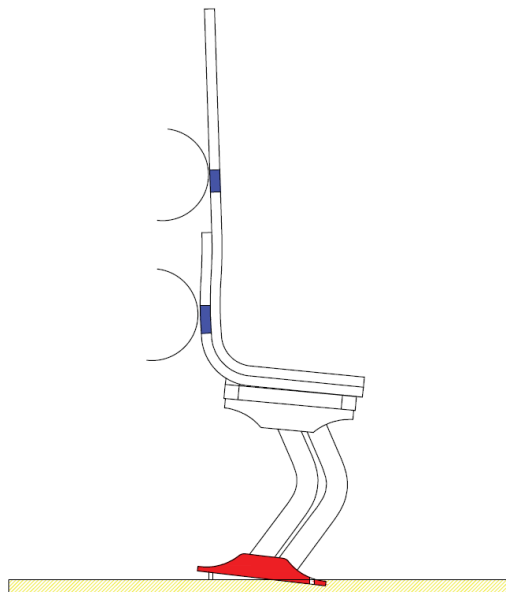
##### 4.1.8.1. Introducción.

Una vez analizados los resultados de la simulación previa pudimos ver que el modo en que la estructura colapsó, es típico para cada una de las configuraciones, la estructura del asiento de bus urbano se vio afectada por la deformación como se muestra en la Fig. IV.4 y Fig. IV.5, el comportamiento de la estructura del asiento una vez sometido al ensayo estático tiene gran relación y depende de la geometría y la sección de los elementos constitutivos del mismo, se necesitará conocer la rigidez equivalente que

posee cada miembro así como también su sección equivalente cada uno de los elementos: pata, base y tubo codo que componen el asiento tiene una sección uniforme, con la experimentación se pudo determinar la posición donde se colocarán los nodos que emularán el tipo de desplazamiento que se necesita para determinar el resultados óptimos con el menor costo computacional y disminuyendo el tiempo de análisis.



**Fig. IV.4:** Esquemmatización del modelo evaluado mediante el método de elementos finitos.  
[Autor]



**Fig. IV.5:** Esquemmatización del modo de colapso del asiento modelado para análisis mediante software de elementos finitos.  
[Autor]

#### 4.1.8.2. Inferencias para el modelo simplificado

Como parte de este capítulo para la recolección de datos se procede en esta sección a describir el metamodelo que se ha usado para estudiar la deformación existente en un ensayo estático de un asiento de autobús urbano aplicando características descritas en la normativa NTE INEN 2708 [1].

El metamodelo debe tener la cualidad de reproducir los desplazamientos de los elementos que conforman el asiento de bus urbano al aplicarse la carga para el ensayo estático como se indica en [1].

Aplicando la carga que se describe en [1]., para el ensayo estático, el elemento estructural donde recae la Fuerza 1 se deformará horizontalmente el nodo donde se aplique dicha carga, además de hacer rotar dicho elemento en el eje z, y donde recae la Fuerza 2 existirá un desplazamiento de igual forma horizontal y una rotación alrededor de z.

Entonces, el metamodelo que se necesita para el caso propuesto debe contar con elementos que posean tres grados de libertad en el plano, ya que mediante la simulación realizada por el método de elementos finitos (M.E.F.), se determinó que los desplazamientos que tienen mayor influencia sobre el comportamiento global del asiento durante el ensayo son: a lo largo del eje X, eje Y así como también alrededor del eje Z.

El elemento que se usó para la esquematización del metamodelo será de tipo frame, el mismo que cuenta con los tres grados de libertad necesarios para reproducir el comportamiento del asiento.

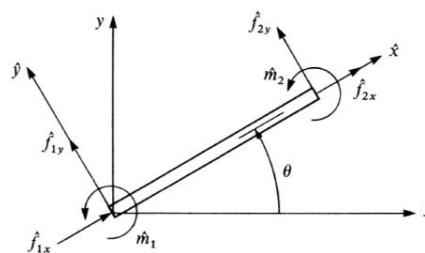
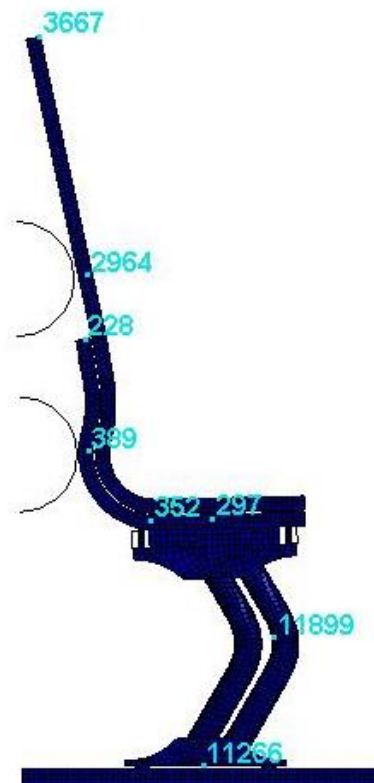


Fig. IV.6: Esquematización del elemento frame con 3 grados de libertad [15].

Dentro del postprocesado de la simulación por el método de elementos finitos M.E.F. se han marcado puntos en sectores estratégicos donde exista:

- Contacto entre miembros estructurales.
- Variación brusca del ángulo de un elemento.
- Un empotramiento.
- Un punto final.

Los nodos que se han marcado para su respectivo análisis están descritos en la tabla Tabla IV.3, la cual condensa información acerca de estos sectores estratégicos.



**Fig. IV.7:** Modelo simulado mediante elementos finitos, selección de los ocho sectores estratégicos para el análisis de LS-DYNA, ANSYS.

[Autor]

**Tabla IV.3:** Descripción de cada sector seleccionado del modelo simulado mediante el método de elementos finitos.

| Punto | Descripción   |
|-------|---|
| 11266 | Se encuentra en la base de la estructura del asiento se lo puede considerar como un empotramiento o nodo final. |
| 11899 | Está en la sección de la pata donde existe variabilidad.  |
| 297   | Presenta cambio de sección.   |
| 352   | Presenta cambio de sección y existe variabilidad por el proceso de manufactura.                                 |
| 389   | Aplicación de la fuerza 2   |
| 228   | Fin de estructura del asiento   |
| 2964  | Aplicación de la fuerza 1   |
| 3667  | Fin de la estructura del asiento  |

[Autor]

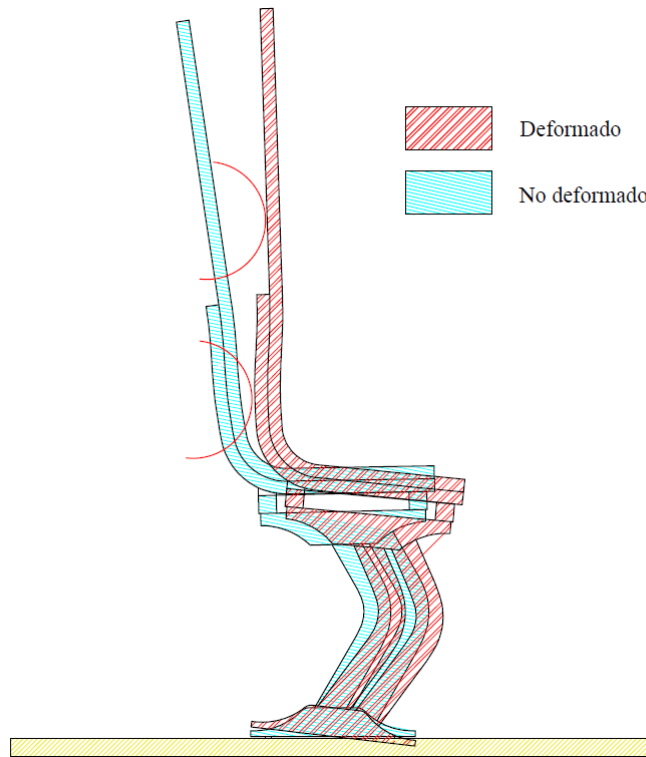
Como se puede observar en la Fig. IV.2, el asiento propuesto para la esquematización del metamodelo es totalmente simétrico, geoméricamente al igual que el comportamiento que tiene ante la aplicación de las fuerzas como se describe en el ensayo estático detallado en [1], por lo que el modelo simplificado nos permite evaluarlo únicamente en 2D.

#### **4.1.8.3. El metamodelo**

Dentro de este apartado, una vez comprendido la naturaleza del ensayo estático que se detalla en [1] al que está sometido el asiento urbano, se procede a detallar el metamodelo propuesto para la obtención de desplazamientos que ocurren como consecuencia de la deformación producida durante el desarrollo del ensayo.

En primera instancia observando el resultado que presenta después de la deformación se puede dar lugar a que el metamodelo ideado sea capaz de reproducir la interacción entre los elementos constitutivos.

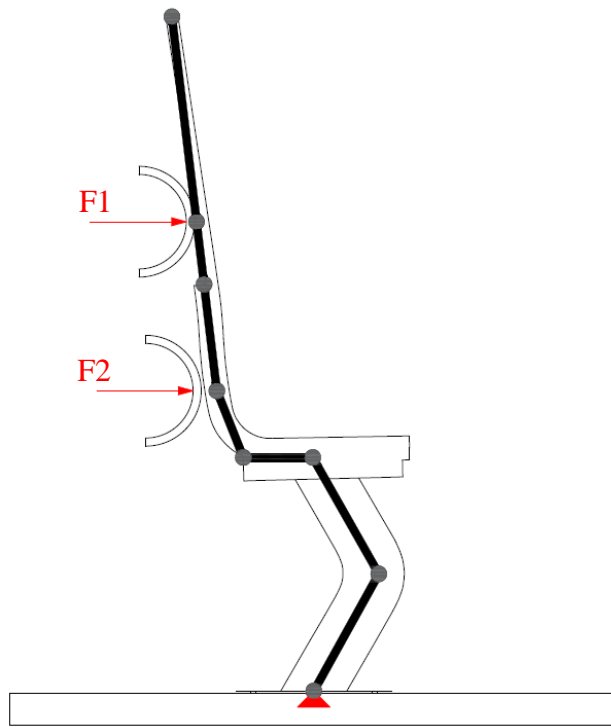
Se colocará dos cargas puntuales a las alturas correspondientes definidas en la normativa, estas representan los impactadores aplicando la carga durante el ensayo, la estructura del asiento se deforma a lo largo del eje X y Y, debido a la aplicación de estas cargas, las mismas que se transmiten a través de los demás miembros.



**Fig. IV.8:** Esquematización del instante inicial y final una vez desarrollado el ensayo estático.  
[Autor]

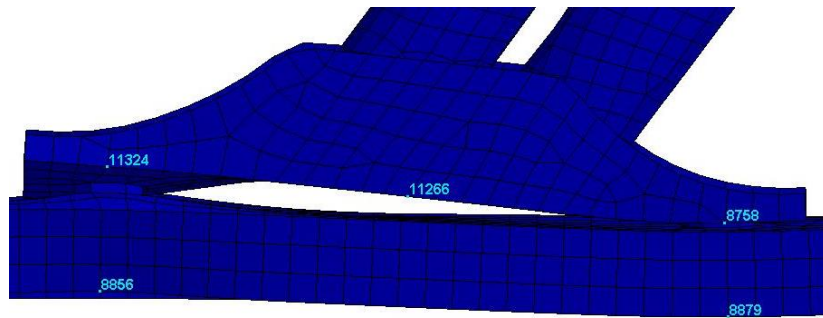
Para definir el metamodelo se debe tomar en cuenta que este debe simular la deformación de la estructura a consecuencia de la aplicación de las dos cargas puntuales antes mencionadas, el modelo simplificado que se presenta en el siguiente trabajo de investigación desecha su relación respecto al tiempo ya que el ensayo al que hace referencia en [1] se lo considera como estático.

Habiendo obtenido 8 puntos estratégicos previamente de la simulación por el método de elementos finitos M.E.F. se procede en primera instancia a colocar un nodo en cada uno de estos para que determine los desplazamientos verticales  $Y$ , horizontales  $X$  y rotacionales alrededor del eje  $Z$ , obteniendo así un primer modelo mostrado en la Fig. IV.9 con la carencia de que no pueda estimar el contacto que tienen los pernos.

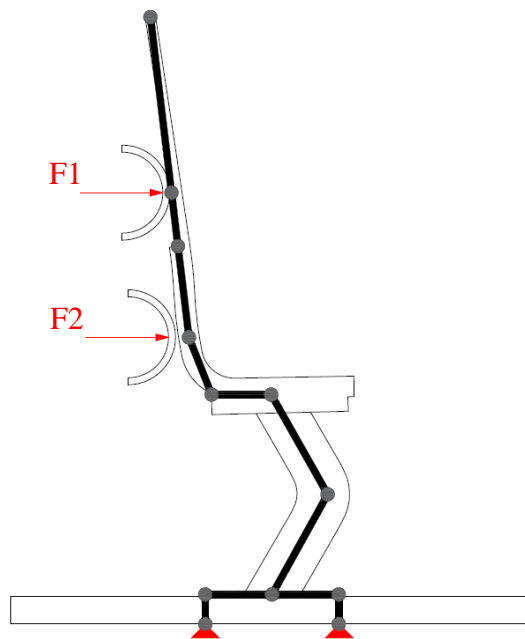


**Fig. IV.9:** Modelo simplificado con carencia de interacción entre pernos y base del asiento.  
[Autor]

En segunda instancia se procedió a colocar cuatro nodos más, los cuales simulen la interacción que tienen los pernos que sujetan la estructura durante el desarrollo del ensayo, como se pudo observar en la Fig. IV.10, mediante la simulación por elementos finitos se pudo observar que las deformaciones que se presentan en estas partes tienen gran relevancia para reproducir de manera óptima los desplazamientos deseados, dos de ellos sirvieron como empotramiento, mientras que los otros dos determinan de igual manera los tres desplazamientos, lo que nos llevó a la obtención del metamodelo final como se puede observar en la Fig. IV.11 el mismo se usará para estimar los desplazamientos máximos verticales Y, horizontales X y rotacionales alrededor de Z durante el desarrollo del ensayo estático detallado en [1], obteniendo un punto de partida en el proceso de simulación del ensayo estático, minimizando el costo computacional y optimizando el tiempo de procesamiento de datos.



**Fig. IV.10:** Interacción existente entre pernos y la platina que sujeta al asiento de LS-DYNA, ANSYS.  
[Autor]



**Fig. IV.11:** Metamodelo de simulación final con elementos necesarios para reproducir la interacción entre pernos y placa base del asiento urbano.  
[Autor]

#### 4.1.8.4. Comprensión física de los elementos del metamodelo.

En el metamodelo que se presenta para emular los desplazamientos máximos, tiene un total de 12 nodos y 11 elementos en sectores estratégicos que lo constituyen como se muestra en la Fig. IV.11, a continuación se detalla cada uno de estos para comprender su comportamiento durante el ensayo detallado en la normativa [1].

El elemento 1 con sus nodos 1 y 2 representan un perno, el nodo 1 se lo coloca como empotramiento restringiendo todos sus grados de libertad debido a que se asume que



este se ajusta al piso donde se fija el asiento, mientras que el nodo 2 tendrá los tres grados de libertad para que simule la interacción existente entre la platina y el perno.

El elemento 2 y sus nodos 3 y 4 representan el otro perno, el nodo 3 se lo considera de manera similar al 1 y el nodo 4 al nodo 2, representando así el contacto existente al otro extremo entre la platina y el perno.

El elemento 3 y 4 en conjunto con los nodos 2, 4 y 5 representan la platina donde se une el componente pata, véase en la Fig. IV.12 el detalle del componente que representa cada elemento, conociendo el comportamiento de los nodos 2 y 4 se procede a detallar la necesidad de colocar el nodo 5, este nodo se coloca con la finalidad de representar el contacto entre el componente pata y la platina, el elemento 5 tiene los nodos 5 y 6 los cuales representan una sección de todo el componente pata, el nodo 6 tiene lugar en el dobles existente en la pata, debido a que en este punto se trasmite de diferente forma la carga hacia la otra sección de la pata.

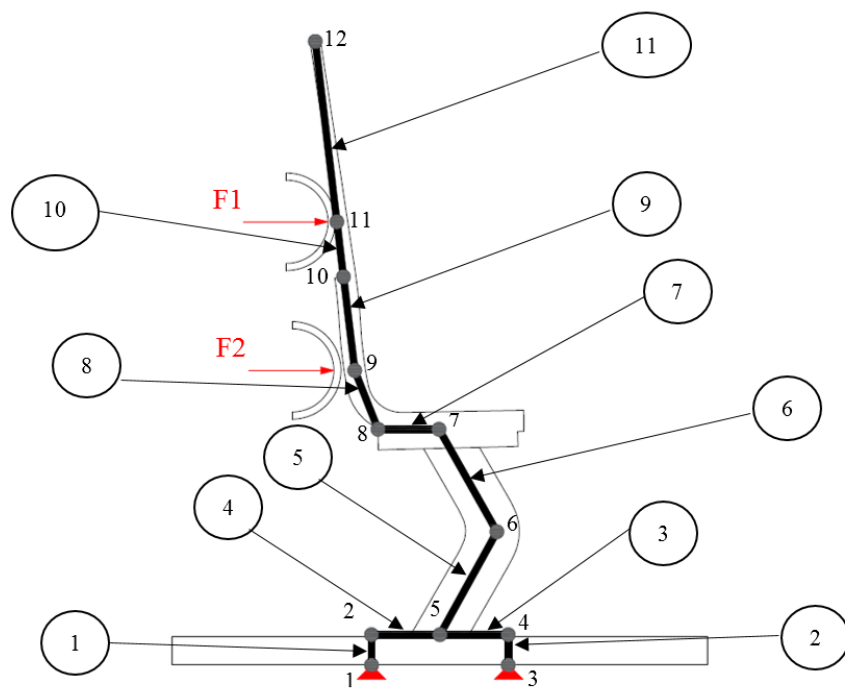
El elemento 6 con los nodos 6 y 7 representa la segunda sección de la pata, el nodo 7 es colocado para que simule el contacto que existe entre la base y la pata, el elemento 7 con sus respectivos nodos 7 y 8 representan y tienen una sección equivalente compuesta de la base, el tubo codo y el complemento que se utilizó para realizar la simulación por el método de elementos finitos, el nodo 8 se le ubica para representar un cambio de ángulo en el componente tubo codo, el elemento 8 con los nodos 8 y 9 representan y reproducen la sección de la curvatura del componente tubo codo junto con el complemento que se utilizó para realizar la simulación por el método de elementos finitos, se lo coloca en ese sentido para simular el aumento de resistencia que provoca un dobles en el componente tubo codo, el elemento 9 y sus nodos 9 y 10 representan una sección compuesta por componente tubo codo, complemento que se utilizó para realizar la simulación por el método de elementos finitos, el nodo 10 representa el punto final donde termina el tubo codo.

El elemento 10 y 11 compuesto por los nodos 10, 11 y 12 representan el complemento que se utilizó para realizar la simulación por el método de elementos finitos.

Cabe recalcar que el elemento tubo codo se lo dividió entre los nodos 7, 8, 9 y 10, el complemento que se utilizó para realizar la simulación por el método de elementos finitos estuvo compuesto por los nodos 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Se debe mencionar también que en los nodos 11 y 9, son en los cuales se debe aplicar las cargas F1 y F2 respectivamente, de esta manera una vez aplicadas las cargas en estos nodos la carga se transmitió a lo largo de los demás elementos que constituyen el metamodelo y se logró finalmente reproducir la interacción entre todos estos y obtener los desplazamientos máximos en cada uno de los nodos.

Nodos: ●  
 Elementos: —  
 Empotramientos: ▲  
 Fuerza: →



**Fig. IV.12:** Esquematización e identificación de nodos y elementos.  
 [Autor]

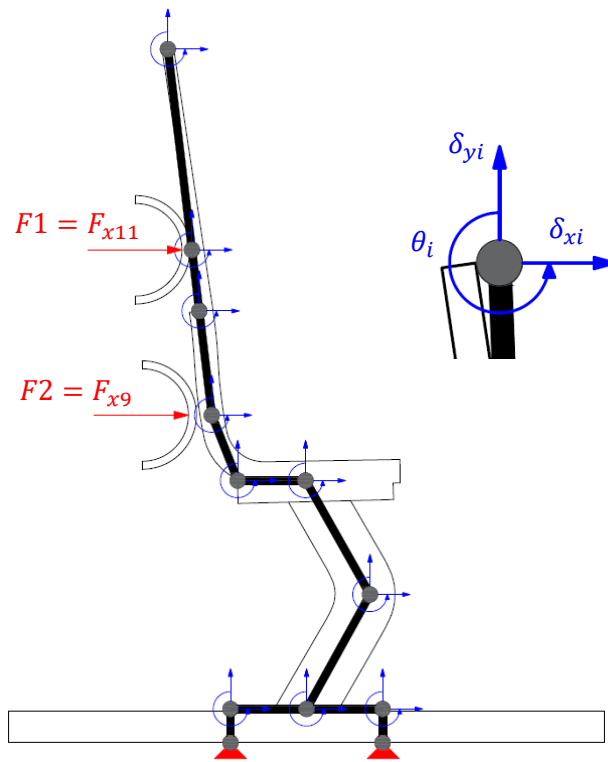
#### 4.1.8.5. Obtención de las ecuaciones del metamodelo

En el siguiente apartado se estableció la ecuación del metamodelo, una vez numerado los elementos en los que se dividió el asiento según los once sectores estratégicos se obtuvo un total de doce nodos, además que cada nodo cuenta con tres grados de

libertad siendo estos:  $\delta_{xi}$  desplazamiento en el eje x,  $\delta_{yi}$  desplazamiento en el eje y,  $\theta_i$  desplazamiento rotacional sobre el eje z de determinado nodo  $i$  como se puede observar en la Fig. IV.13, teniendo en cuenta esto, lo que se evaluó fue un sistema total de  $12 \times 3$  grados de libertad.

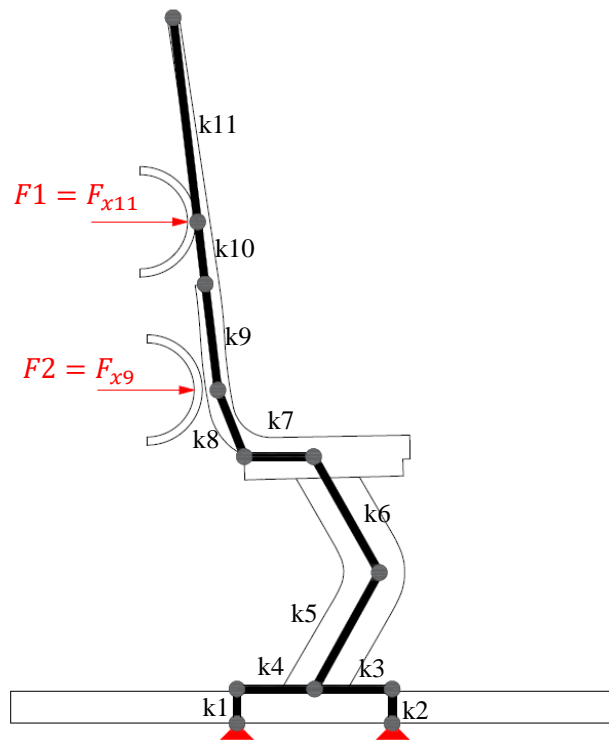
Las fuerzas se las denominaron de acuerdo al nodo en el que es aplicado y dependiendo a lo largo de que eje actúa de la siguiente manera:  $F_{xi}$ ,  $F_{yi}$  y  $m_i$ .

Sobre los nodos 11 y 9 se colocarán las fuerzas de acuerdo a la normativa [1], dichas fuerzas actúan a lo largo del eje X como se observa en la Fig. IV.13:



**Fig. IV.13:** Esquema de los tres grados de libertad por cada nodo que constituye el metamodelo simplificado.  
[Autor]

Cada uno de los elementos tiene una rigidez equivalente, se puede observar en la Fig. IV.14 la forma en que se denominó a cada una de las mismas en relación al número de elemento.



**Fig. IV.14:** Esquema e identificación de la rigidez de cada uno de los elementos que constituye el metamodelo de simulación.  
[Autor]

Como se puede observar la (IV.1) que describe el equilibrio relacionando fuerza, desplazamiento y rigidez.

$$[F(FUERZA)] = [K(RIGIDEZ\ TOTAL)] \times [DESPLAZAMIENTO] \quad (IV.1)$$

Previo la obtención de la matriz rigidez total, se debe obtener la matriz rigidez de cada uno de los elementos  $k_i$  y obtener la (IV.2) que es constitutiva del metamodelo.

$$[F(FUERZA)] = [k(rigidez\ de\ un\ elemento)] \times [DESPLAZAMIENTO] \quad (IV.2)$$

A continuación, se muestra la manera en la que se obtuvo la ecuación constitutiva de cada elemento, donde como punto de partida se detallará la nomenclatura que se usó, posteriormente se asignará variables para un mejor manejo de datos, finalmente se obtendrá cada una de las ecuaciones correspondientes a los elementos.

$F_{xi}$  = fuerza nodal aplicada a lo largo del eje X

$F_{yi}$  = fuerza nodal aplicada a lo largo del eje Y

$m_i$  = momento nodal aplicado

$\delta_{xi}$  = desplazamiento a lo largo del eje X

$\delta_{yi}$  = desplazamiento a lo largo del eje Y

$\theta_i$  = desplazamiento alrededor del eje Z

$k_i$  = matriz rigidez de un elemento  $i$

$K_{metamodelo}$  = Matriz rigidez del metamodelo

Asignación de variables de los términos que contiene la matriz rigidez de un elemento:

$$T_i = A_i C_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} S_i^2 \quad (\text{IV.3})$$

$$U_i = \left( A_i - \frac{12I_i}{L_i^2} \right) C_i S_i \quad (\text{IV.4})$$

$$V_i = \frac{6I_i}{L_i} S_i \quad (\text{IV.5})$$

$$W_i = \frac{6I_i}{L_i} C_i \quad (\text{IV.6})$$

$$X_i = A_i S_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} C_i^2 \quad (\text{IV.7})$$

$$Y_i = 4I_i \quad (\text{IV.8})$$

$$Z_i = 2I_i \quad (\text{IV.9})$$

$$S_i = \frac{E_i}{L_i} \quad (\text{IV.10})$$

Donde:

$A_i = \text{Área o sección equivalente del elemento}$

$L_i = \text{Longitud del elemento}$

$I_i = \text{Inercia del elemento}$

$E_i = \text{Módulo elástico de cada elemento}$

$S_i = \text{Seno del ángulo al que está orientado el elemento}$

$C_i = \text{Coseno del ángulo al que está orientado el elemento}$

Matriz rigidez de un elemento constitutivo del metamodelo

$$[k_i] = \frac{E_i}{L_i} \times \begin{bmatrix} A_i C_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} S_i^2 & \left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & -\frac{6I_i}{L_i} S_i & -\left(A_i C_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} S_i^2\right) & -\left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & -\frac{6I_i}{L_i} S_i \\ \left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & A_i S_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} C_i^2 & \frac{6I_i}{L_i} C_i & -\left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & -\left(A_i S_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} C_i^2\right) & \frac{6I_i}{L_i} C_i \\ -\frac{6I_i}{L_i} S_i & \frac{6I_i}{L_i} C_i & 4I_i & \frac{6I_i}{L_i} S_i & -\frac{6I_i}{L_i} C_i & 2I_i \\ -\left(A_i C_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} S_i^2\right) & -\left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & \frac{6I_i}{L_i} S_i & A_i C_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} S_i^2 & \left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & \frac{6I_i}{L_i} S_i \\ -\left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & -\left(A_i S_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} C_i^2\right) & -\frac{6I_i}{L_i} C_i & \left(A_i - \frac{12I_i}{L_i^2}\right) C_i S_i & A_i S_i^2 + \frac{12I_i}{L_i^2} C_i^2 & -\frac{6I_i}{L_i} C_i \\ -\frac{6I_i}{L_i} S_i & \frac{6I_i}{L_i} C_i & 2I_i & \frac{6I_i}{L_i} S_i & -\frac{6I_i}{L_i} C_i & 4I_i \end{bmatrix} \quad (\text{IV.11})$$

Matriz rigidez de un elemento usando variables para facilidad de manejo:

$$[k_i] = S_i \times \begin{bmatrix} T_i & U_i & -V_i & -T_i & -U_i & -V_i \\ U_i & X_i & W_i & -U_i & -X_i & W_i \\ -V_i & W_i & Y_i & V_i & -W_i & Z_i \\ -T_i & -U_i & V_i & T_i & U_i & V_i \\ -U_i & -X_i & -W_i & U_i & X_i & -W_i \\ -V_i & W_i & Z_i & V_i & -W_i & Y_i \end{bmatrix} \quad (\text{IV.12})$$

Unificando los términos de IV.12

$$[k_i] = \begin{bmatrix} S_i T_i & S_i U_i & -S_i V_i & -S_i T_i & -S_i U_i & -S_i V_i \\ S_i U_i & S_i X_i & S_i W_i & -S_i U_i & -S_i X_i & S_i W_i \\ -S_i V_i & S_i W_i & S_i Y_i & S_i V_i & -S_i W_i & S_i Z_i \\ -S_i T_i & -S_i U_i & S_i V_i & S_i T_i & S_i U_i & S_i V_i \\ -S_i U_i & -S_i X_i & -S_i W_i & S_i U_i & S_i X_i & -S_i W_i \\ -S_i V_i & S_i W_i & S_i Z_i & S_i V_i & -S_i W_i & S_i Y_i \end{bmatrix} \quad (\text{IV.13})$$

La ecuación matricial constitutiva de cada elemento sería la siguiente:

$$[F] = [k_i] \times [\delta] \quad (\text{IV.14})$$

Entonces de esta manera se desarrollará para cada uno de los elementos  $i$  su respectiva ecuación constitutiva:

Elemento 1:

Matriz rigidez del elemento 1

$$[k_1] = \frac{E_1}{L_1} \times$$

$$\begin{bmatrix}
A_1 C_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} S_1^2 & \left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & -\frac{6I_1}{L_1} S_1 & -\left(A_1 C_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} S_1^2\right) & -\left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & -\frac{6I_1}{L_1} S_1 \\
\left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & A_1 S_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} C_1^2 & \frac{6I_1}{L_1} C_1 & -\left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & -\left(A_1 S_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} C_1^2\right) & \frac{6I_1}{L_1} C_1 \\
-\frac{6I_1}{L_1} S_1 & \frac{6I_1}{L_1} C_1 & 4I_1 & \frac{6I_1}{L_1} S_1 & -\frac{6I_1}{L_1} C_1 & 2I_1 \\
-\left(A_1 C_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} S_1^2\right) & -\left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & \frac{6I_1}{L_1} S_1 & A_1 C_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} S_1^2 & \left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & \frac{6I_1}{L_1} S_1 \\
-\left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & -\left(A_1 S_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} C_1^2\right) & -\frac{6I_1}{L_1} C_1 & \left(A - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 & A_1 S_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} C_1^2 & -\frac{6I_1}{L_1} C_1 \\
-\frac{6I_1}{L_1} S_1 & \frac{6I_1}{L_1} C_1 & 2I_1 & \frac{6I_1}{L_1} S_1 & -\frac{6I_1}{L_1} C_1 & 4I_1
\end{bmatrix} \quad (\text{IV.15})$$

Simplificación de variable:

$$T_1 = A_1 C_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} S_1^2 \quad (\text{IV.16})$$

$$U_1 = \left(A_1 - \frac{12I_1}{L_1^2}\right) C_1 S_1 \quad (\text{IV.17})$$

$$V_1 = \frac{6I_1}{L_1} S_1 \quad (\text{IV.18})$$

$$W_1 = \frac{6I_1}{L_1} C_1 \quad (\text{IV.19})$$

$$X_1 = A_1 S_1^2 + \frac{12I_1}{L_1^2} C_1^2 \quad (\text{IV.20})$$

$$Y_1 = 4I_1 \quad (\text{IV.21})$$

$$Z_1 = 2I_1 \quad (\text{IV.22})$$

$$S_1 = \frac{E_1}{L_1} \quad (\text{IV.23})$$



Matriz rigidez del elemento 1 simplificación de variables

$$[k_1] = S_1 \times \begin{bmatrix} T_1 & U_1 & -V_1 & -T_1 & -U_1 & -V_1 \\ U_1 & X_1 & W_1 & -U_1 & -X_1 & W_1 \\ -V_1 & W_1 & Y_1 & V_1 & -W_1 & Z_1 \\ -T_1 & -U_1 & V_1 & T_1 & U_1 & V_1 \\ -U_1 & -X_1 & -W_1 & U_1 & X_1 & -W_1 \\ -V_1 & W_1 & Z_1 & V_1 & -W_1 & Y_1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.24})$$

$$[k_1] = \begin{bmatrix} S_1 T_1 & S_1 U_1 & -S_1 V_1 & -S_1 T_1 & -S_1 U_1 & -S_1 V_1 \\ S_1 U_1 & S_1 X_1 & S_1 W_1 & -S_1 U_1 & -S_1 X_1 & S_1 W_1 \\ -S_1 V_1 & S_1 W_1 & S_1 Y_1 & S_1 V_1 & -S_1 W_1 & S_1 Z_1 \\ -S_1 T_1 & -S_1 U_1 & S_1 V_1 & S_1 T_1 & S_1 U_1 & S_1 V_1 \\ -S_1 U_1 & -S_1 X_1 & -S_1 W_1 & S_1 U_1 & S_1 X_1 & -S_1 W_1 \\ -S_1 V_1 & S_1 W_1 & S_1 Z_1 & S_1 V_1 & -S_1 W_1 & S_1 Y_1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.25})$$

Observando la ubicación de cada elemento y sus respectivos nodos respecto al metamodelo esquematizado para el presente trabajo experimental se deberá asociarlos en cada ecuación constitutiva:

Ecuación constitutiva del elemento 1:

$$\begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ m_1 \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ m_2 \end{bmatrix} = [k_1] \times \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \theta_1 \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.26})$$

Debido a que el proceso es repetitivo en cada uno de los elementos se mostrará únicamente la ecuación constitutiva de cada elemento.

Elemento 2:

Ecuación constitutiva del elemento 2:

$$\begin{bmatrix} F_{x3} \\ F_{y3} \\ m_3 \\ F_{x4} \\ F_{y4} \\ m_4 \end{bmatrix} = [k_2] \times \begin{bmatrix} \delta_{x3} \\ \delta_{y3} \\ \theta_3 \\ \delta_{x4} \\ \delta_{y4} \\ \theta_4 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.27})$$

Elemento 3:

Ecuación constitutiva del elemento 3:

$$\begin{bmatrix} F_{x4} \\ F_{y4} \\ m_4 \\ F_{x5} \\ F_{y5} \\ m_5 \end{bmatrix} = [k_3] \times \begin{bmatrix} \delta_{x4} \\ \delta_{y4} \\ \theta_4 \\ \delta_{x5} \\ \delta_{y5} \\ \theta_5 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.28})$$

Elemento 4:

Ecuación constitutiva del elemento 4:

$$\begin{bmatrix} F_{x2} \\ F_{y2} \\ m_2 \\ F_{x5} \\ F_{y5} \\ m_5 \end{bmatrix} = [k_4] \times \begin{bmatrix} \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \theta_2 \\ \delta_{x5} \\ \delta_{y5} \\ \theta_5 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.29})$$

Elemento 5:

Ecuación constitutiva del elemento 5:

$$\begin{bmatrix} F_{x5} \\ F_{y5} \\ m_5 \\ F_{x6} \\ F_{y6} \\ m_6 \end{bmatrix} = [k_5] \times \begin{bmatrix} \delta_{x5} \\ \delta_{y5} \\ \theta_5 \\ \delta_{x6} \\ \delta_{y6} \\ \theta_6 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.30})$$

Elemento 6:

Ecuación constitutiva del elemento 6:

$$\begin{bmatrix} F_{x6} \\ F_{y6} \\ m_6 \\ F_{x7} \\ F_{y7} \\ m_7 \end{bmatrix} = [k_6] \times \begin{bmatrix} \delta_{x6} \\ \delta_{y6} \\ \theta_6 \\ \delta_{x7} \\ \delta_{y7} \\ \theta_7 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.31})$$

Elemento 7:

Ecuación constitutiva del elemento 7:

$$\begin{bmatrix} F_{x7} \\ F_{y7} \\ m_7 \\ F_{x8} \\ F_{y8} \\ m_8 \end{bmatrix} = [k_7] \times \begin{bmatrix} \delta_{x7} \\ \delta_{y7} \\ \theta_7 \\ \delta_{x8} \\ \delta_{y8} \\ \theta_8 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.32})$$

Elemento 8:

Ecuación constitutiva del elemento 8:

$$\begin{bmatrix} F_{x8} \\ F_{y8} \\ m_8 \\ F_{x9} \\ F_{y9} \\ m_9 \end{bmatrix} = [k_8] \times \begin{bmatrix} \delta_{x8} \\ \delta_{y8} \\ \theta_8 \\ \delta_{x9} \\ \delta_{y9} \\ \theta_9 \end{bmatrix} \quad (\text{IV.33})$$

Elemento 9:

Ecuación constitutiva del elemento 9:

$$\begin{bmatrix} F_{x9} \\ F_{y9} \\ m_9 \\ F_{x10} \\ F_{y10} \\ m_{10} \end{bmatrix} = [k_9] \times \begin{bmatrix} \delta_{x9} \\ \delta_{y9} \\ \theta_9 \\ \delta_{x10} \\ \delta_{y10} \\ \theta_{10} \end{bmatrix} \quad (\text{IV.34})$$

Elemento 10:

Ecuación constitutiva del elemento 10:

$$\begin{bmatrix} F_{x10} \\ F_{y10} \\ m_{10} \\ F_{x11} \\ F_{y11} \\ m_{11} \end{bmatrix} = [k_{10}] \times \begin{bmatrix} \delta_{x10} \\ \delta_{y10} \\ \theta_{10} \\ \delta_{x11} \\ \delta_{y11} \\ \theta_{11} \end{bmatrix} \quad (\text{IV.35})$$

Elemento 11:

Ecuación constitutiva del elemento 11:

$$\begin{bmatrix} F_{x11} \\ F_{y11} \\ m_{11} \\ F_{x12} \\ F_{y12} \\ m_{12} \end{bmatrix} = [k_{11}] \times \begin{bmatrix} \delta_{x11} \\ \delta_{y11} \\ \theta_{11} \\ \delta_{x12} \\ \delta_{y12} \\ \theta_{12} \end{bmatrix} \quad (\text{IV.36})$$

La ecuación matricial global del modelo simplificado ensablado de manera adecuada las ecuaciones de los elementos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 por su magnitud se presenta en el ANEXO 5.

Una vez obtenida la ecuación matricial del metamodelo propuesto en la presente investigación, hay que notar que para su respectiva resolución se debe usar sistemas de ecuaciones, mismas que se solucionarían haciendo uso del software de procesamiento matricial, donde se elaboró un interfaz gráfico de usuario la misma que permitirá variar de acuerdo a la necesidad ciertos aspectos del modelo.

El manual de usuario de dicha interfaz gráfica, donde se detalla pasos a seguir para el uso de la misma se lo detalla en el ANEXO 4

De igual forma las líneas de código de la interfaz gráfica se encuentran en ANEXO 3

#### **4.1.8.6. Obtención de los parámetros $E_i, L_i, A_i$ e $I_i$ equivalente de cada uno de los elementos del metamodelo.**

A continuación se detallará la obtención de los parámetros  $E_i, L_i, A_i$  e  $I_i$  que se usó para lograr una programación manejable, permitiéndole al usuario así, definir ciertas características del modelo de asiento que se someta al análisis.

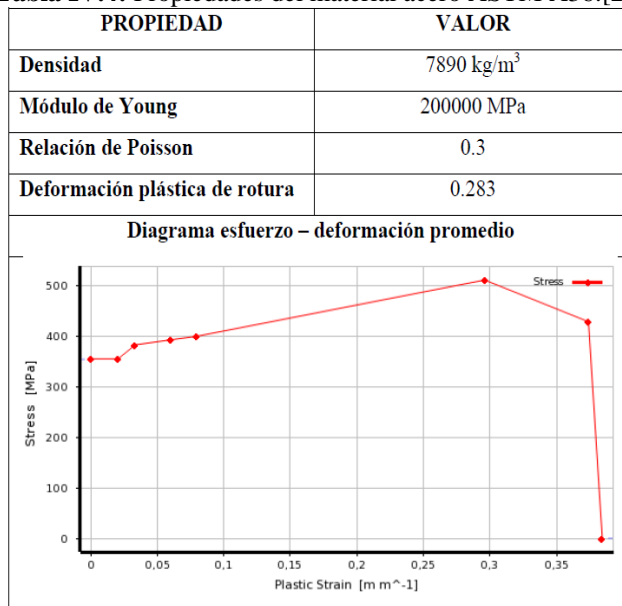
De esta forma el interfaz gráfico desarrollado en software de procesamiento matricial, permitirá que tanto persona con conocimiento acerca de elementos finitos como una

persona que no conozca el tema logre obtener resultado para posteriormente evaluarlos.

**4.1.8.6.1. Módulo elástico  $E_i$  de cada uno de los elementos del metamodelo usado.**

- a) **Acero estructural ASTM A36:** este material define el valor del módulo elástico que se usará para ciertos elementos como: las platinas, ángulos y placas, según la investigación realizada por Martínez [20], el valor de el  $E_i$  alcanza los  $200000 \frac{N}{mm^2}$ .

**Tabla IV.4:** Propiedades del material acero ASTM A36.[20]



- b) **Acero estructural ASTM A500 grado A:** Este material define el módulo elástico de partes como: tubería redonda, cuadrada, y ovalada, según la investigación realizada por Martínez [20], el valor de el  $E_i$  alcanza los  $200000 \frac{N}{mm^2}$ .

**Tabla IV.5:** Propiedades del material de acero ASTM A500 grado A.[20]


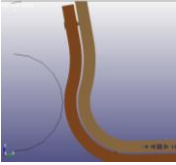
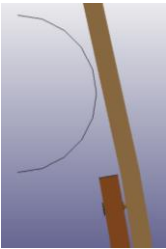
| PROPIEDAD                                | VALOR                  |
|--|------------------------|
| Densidad                                 | 7890 kg/m <sup>3</sup> |
| Módulo de Young                          | 200000 MPa             |
| Relación de Poisson                      | 0.3                    |
| Deformación plástica de rotura           | 0.37                   |
| Diagrama esfuerzo – deformación promedio |                        |

| Plastic Strain [m m <sup>-1</sup> ] | Stress [MPa] |
|-------------------------------------|--------------|
| 0                                   | 0            |
| 0.02                                | 320          |
| 0.05                                | 350          |
| 0.15                                | 380          |
| 0.25                                | 340          |
| 0.4                                 | 0            |

A continuación, conociendo qué elemento representa cada parte en el modelo simplificado como se pudo observar en la Fig. IV.12, se detalla en la Tabla IV.6 el material se asignará a cada elemento constitutivo del metamodelo.

**Tabla IV.6:** Descripción del módulo elástico de cada uno de los elementos constitutivos del metamodelo,

| Elemento | Gráfica | Material             | Módulo elástico $E_i$   |
|----------|---------|----------------------|-------------------------|
| 1        |         | Acero G5 galvanizado | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 2        |         | Acero G5 galvanizado | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 3        |         | ASTM A36             | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 4        |         | ASTM A36             | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 5        |         | ASTM A500            | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 6        |         | ASTM A500            | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |

|    |   |           |                         |
|----|---|-----------|-------------------------|
| 7  |  | ASTM A500 | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 8  |  | ASTM A500 | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 9  |   | ASTM A500 | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 10 |  | ASTM A500 | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |
| 11 |   | ASTM A500 | $200000 \frac{N}{mm^2}$ |

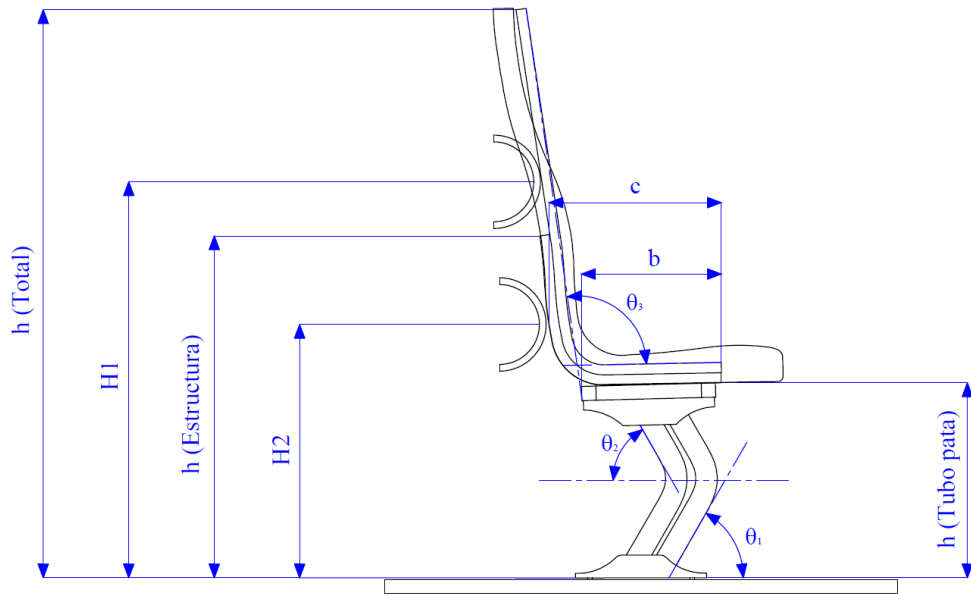
[Autor]

#### 4.1.8.6.2. Longitud $L_i$ de cada uno de los elementos del metamodelo:

La longitud varia durante el análisis en los sectores: tubo pata, el tubo codo, tubo base y el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas, debido a la aplicación de fuerzas y modelo de asiento.

Previo a indicar cómo se obtiene las longitudes de cada uno de los elementos constitutivos del modelo simplificado, se detallará los datos que se programó como editables en las líneas de programación realizada en el software de procesamiento matricial, obsérvese la Fig. IV.15.





**Fig. IV.15:** Esquema de los parámetros editables necesarios para obtener los  $L_i$  de cada uno de los elementos.  
[Autor]

Los valores que se han escogido para la demostración del cálculo de cada uno de los parámetros han sido extraídos del modelo original de asiento, donde:

$$h_{Tubo\ pata} = 340mm$$

$$\theta_1 = 60^\circ$$

$$\theta_2 = 60^\circ$$

$$\theta_3 = 95^\circ$$

$$b = 235mm$$

$$c = 295mm$$

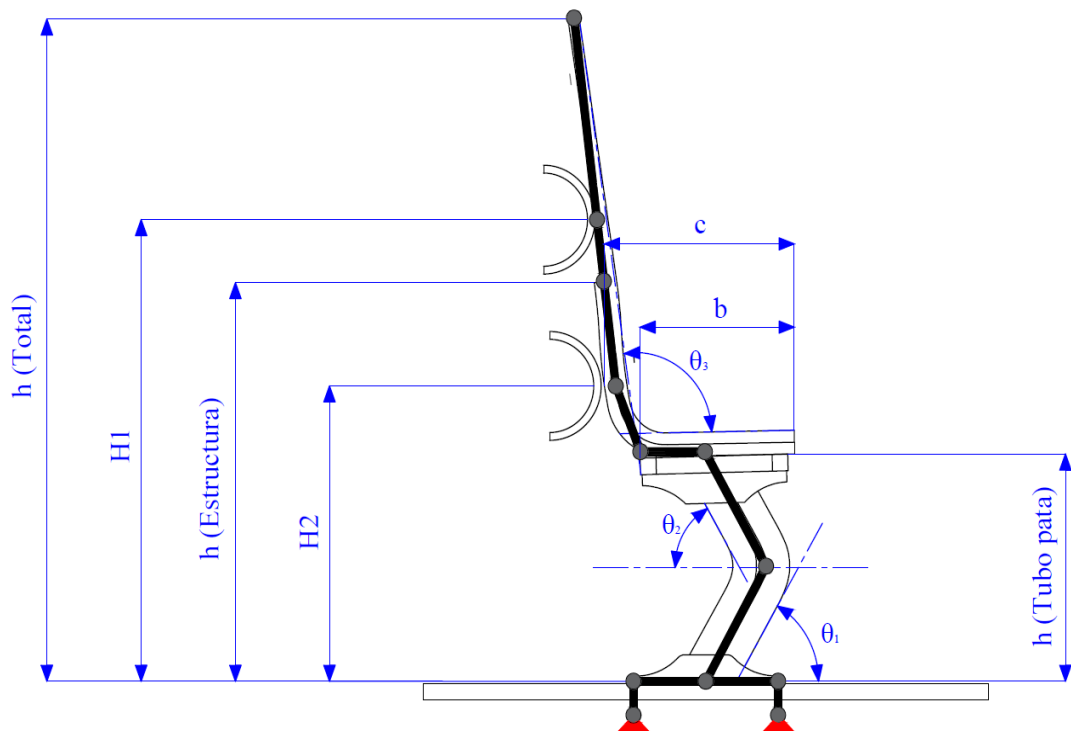
$$H_2 = 500mm$$

$$h_{Estructura} = 600mm$$

$$H_1 = 750mm$$

$$h_{Total} = 1000mm$$

A continuación, en la Fig. IV.16, se puede observar cómo el metamodelo adopta cada uno de los parámetros: altura tubo pata “h (Tubo pata)”, la altura de aplicación de la fuerza 2 (H2), la altura hasta donde acaba la parte estructural del asiento “h(estructura)”, la altura de aplicación de la fuerza 1 (H1), la altura total del asiento “h(Total)”, el largo de la base (b), la distancia desde la parte inferior posterior hasta donde termina la base (c), el ángulo 1 y 2 que da la forma al tubo pata ( $\theta_1$ ;  $\theta_2$ ) y el ángulo equivalente del espaldar ( $\theta_3$ ).



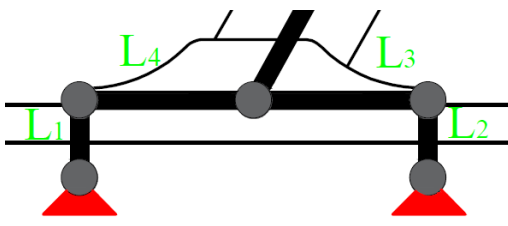
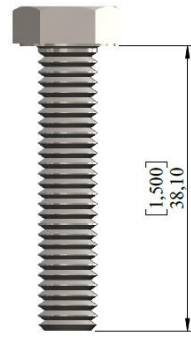
**Fig. IV.16:** Esquema que detalla distancias necesarias para reproducir los  $L_i$  del modelo simplificado. [Autor]

Elemento 1 y 2:

Los elementos 1 y 2 siendo que representan un perno se asume una longitud de 1-1/2", según la concepción del metamodelo son iguales en su longitud y su valor no variará, por lo tanto, su cálculo se procede como se demuestra en la Tabla IV.7:

$$L_1 = L_2 = 38,1mm \quad (IV.37)$$

**Tabla IV.7:** Descripción de longitud del elemento 1 y 2.

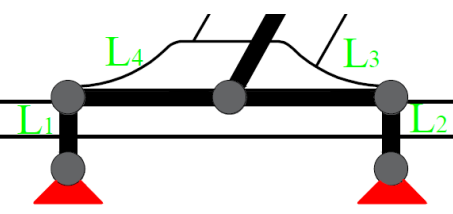
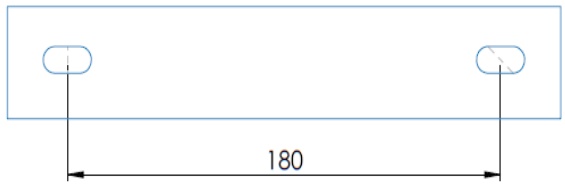
| Descripción   | Longitud   |
|---|--|
|  |  <p style="text-align: center;"><math>L_1 = L_2 = 38,1mm</math></p> |

Elemento 3 y 4:

Los elementos 3 y 4 siendo que representan un mismo elemento en este caso la platina que une el tubo pata con el piso, según la concepción del metamodelo se dividió dicha platina en los elementos 3 y 4 iguales en longitud dividiendo la distancia entre pernos para 2 y su valor variará dependiendo del modelo de asiento, por lo tanto se calculo se realiza como en la Tabla IV.8:

$$L_3 = L_4 = 90mm \quad (IV.38)$$

**Tabla IV.8:** Descripción de longitud del elemento 3 y 4.

| Descripción   | Longitud  |
|---|---|
|  |  <p style="text-align: center;"> <math>L_3 = L_4 = \text{Distancia entre pernos} / 2</math><br/> <math>L_3 = L_4 = 180 / 2</math><br/> <math>L_3 = L_4 = 90mm</math> </p> |

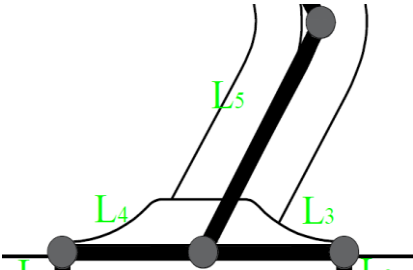
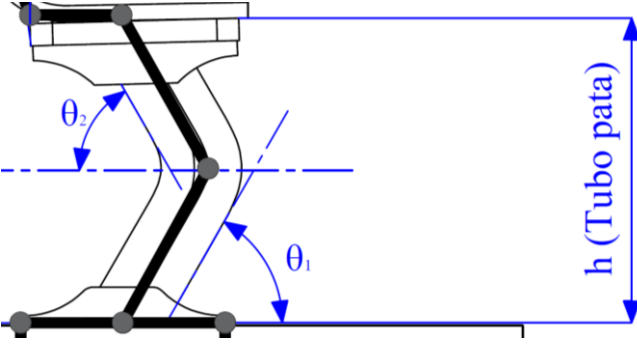
[Autor]

Elemento 5:

El elemento 5 reproduce la distancia que existe entre el piso y el sector donde se ha doblado para dar su forma característica al tubo pata para obtener su valor de forma paramétrica se procedió como se muestra a continuación en la Tabla IV.9:

$$L_5 = 196,3mm \quad (IV.39)$$

**Tabla IV.9:** Descripción de longitud del elemento 5 y 6.

| Descripción  | Longitud   |
|--|--|
| Obtención  |  |
|  |  $\sin \theta_1 = \frac{\frac{h_{Tubo\ pata}}{2}}{L_5}$ $L_5 = \frac{\frac{340}{2}}{\sin 60^\circ}$ $L_5 = 196,3mm$ |

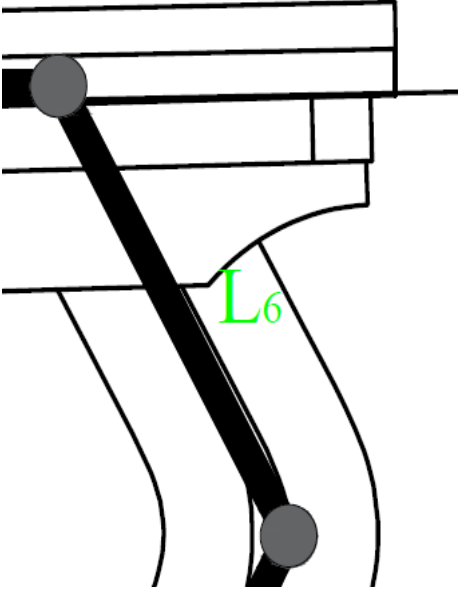
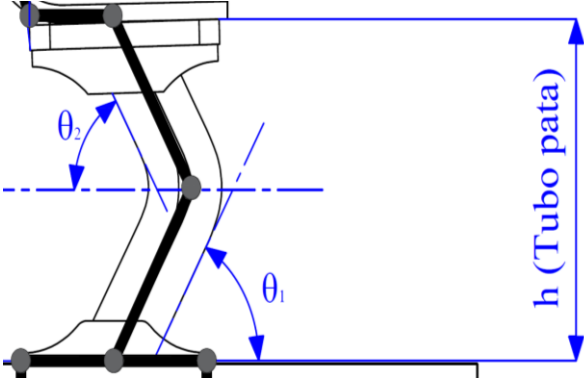
[Autor]

Elemento 6:

Representa la distancia entre el sector donde se ha doblado para dar su forma característica al tubo pata y el punto de contacto con el tubo base para obtener su valor de forma paramétrica se procedió como se muestra a continuación en la Tabla IV.10:

$$L_6 = 196,3mm \quad (IV.40)$$

**Tabla IV.10:** Descripción de longitud del elemento 7.

| Descripción  | Longitud   |
|--|--|
| Obtención  |  |
|  |  $\sin \theta_2 = \frac{h_{\text{Tubo pata}}}{L_6}$ $L_6 = \frac{340}{\sin 60^\circ}$ $L_6 = 196,3\text{mm}$ |

[Autor]

Elemento 7:

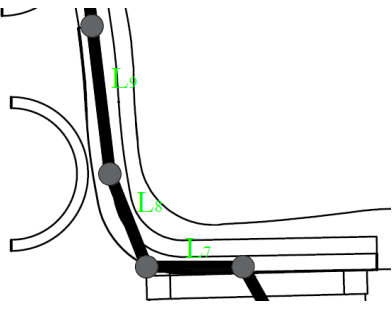
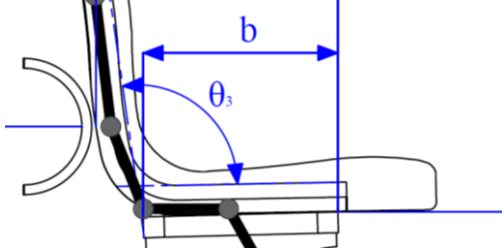
El elemento 7 únicamente representa la longitud desde el punto de contacto del tubo base y el tubo pata hasta donde empieza el curvado del tubo codo, dicha distancia representa únicamente la mitad del largo total del tubo base, para obtener su valor de forma paramétrica se procedió como se muestra a continuación en la Tabla IV.11:

$$L_7 = \frac{b}{2} \tag{IV.41}$$

$$L_7 = \frac{235}{2}$$

$$L_7 = 117,5\text{mm}$$

**Tabla IV.11:** Descripción de longitud del elemento 7.

| Descripción   | Longitud   |
|---|--|
| Obtención   |  |
|  |  $L_7 = \frac{b}{2}$ $L_7 = \frac{235}{2}$ $L_7 = 117,5mm$ |

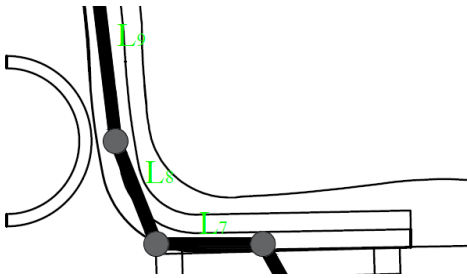
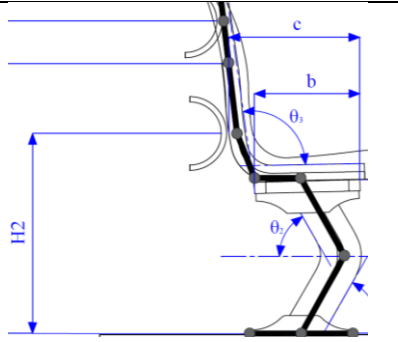
[Autor]

Elemento 8:

El elemento 8, para describir su longitud se tomó en cuenta la altura del tubo pata, la  $H_2$  que es la altura donde se aplicó la fuerza  $F_2$  según [1], la longitud desde el espaldar hasta donde termina el tubo base así como también su dimensión total a continuación en la Tabla IV.12, podemos observar como se procedió para realizar el calculo mediante los parametros editables.

$$L_8 = 170,88mm \quad (IV.42)$$

**Tabla IV.12:** Descripción de longitud del elemento 8.

| Descripción   | Longitud   |
|---|--|
| Obtención   |  |
|  |  $L_8 = \sqrt{(H_2 - h_{\text{Tubo pata}})^2 + (c - b)^2}$ $L_8 = \sqrt{(500 - 340)^2 + (295 - 235)^2}$ $L_8 = \sqrt{(160)^2 + (60)^2}$ $L_8 = 170,88mm$ |

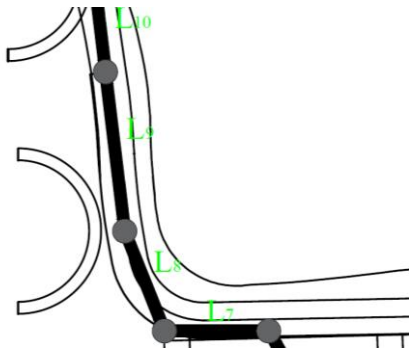
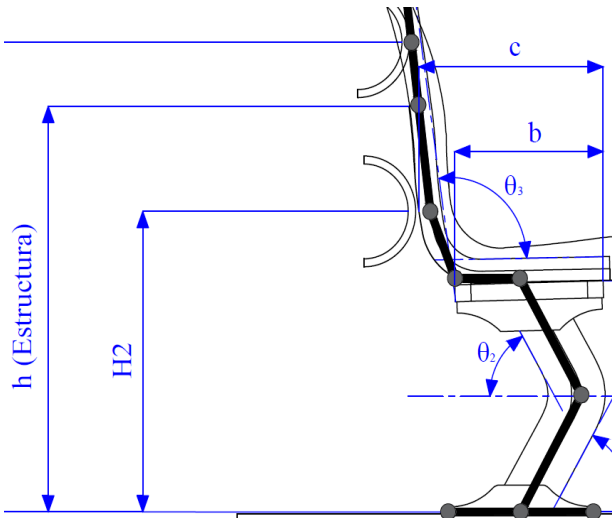
[Autor]

Elementos 9:

La longitud del elemento nueve depende principalmente de: la altura del tubo pata, el ángulo del espaldar, y la altura donde acaba la estructura metálica, el procedimiento del cálculo de su valor se presenta en la Tabla IV.13:

$$L_9 = 100,38mm \quad (IV.43)$$

**Tabla IV.13:** Descripción de longitud del elemento 9.

| Descripción  | Longitud   |
|--|--|
| Obtención  |  |
|  |  $\sin(180 - \theta_3) = \frac{h_{estructura} - H_2}{L_9}$ $L_9 = \frac{600 - 500}{\sin(180 - 95)}$ $L_9 = \frac{100}{\sin(85)}$ $L_9 = 100,38mm$ |

[Autor]

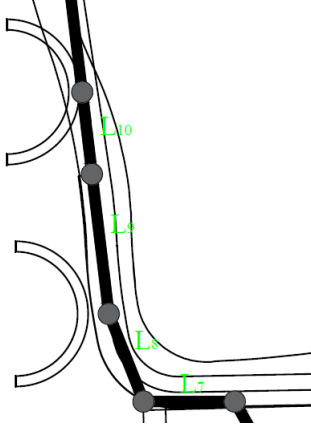
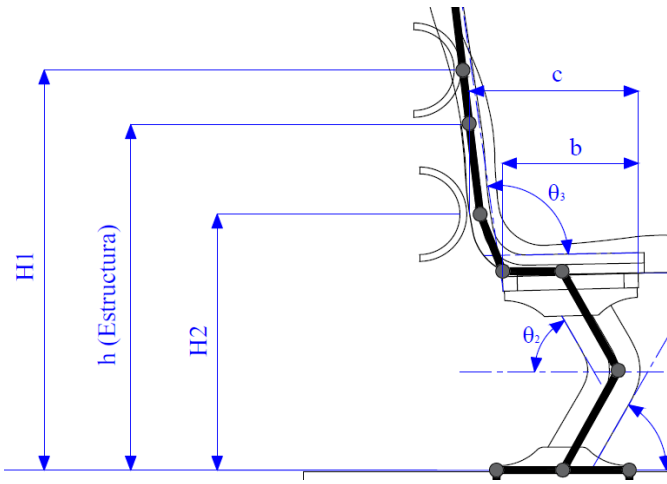
Elemento 10:

De igual forma, para describir la longitud del elemento 10 se tomó en cuenta la altura de la estructura, la H1 que es la altura donde se aplica la fuerza F1 según [1] y el ángulo del espaldar del asiento por lo tanto el cálculo se realiza como se muestra en la Tabla IV.14:

$$L_{10} = 150,57mm$$

(IV.44)

**Tabla IV.14:** Descripción de longitud del elemento 10.

| Descripción  | Longitud   |
|--|--|
| Obtención  |  |
|  |  $\sin(180 - \theta_3) = \frac{H_1 - h_{estructura}}{L_{10}}$ $L_{10} = \frac{750 - 600}{\sin(180 - 95)}$ $L_{10} = \frac{150}{\sin(85)}$ $L_{10} = 150,57mm$ |

[Autor]

Elementos 11:

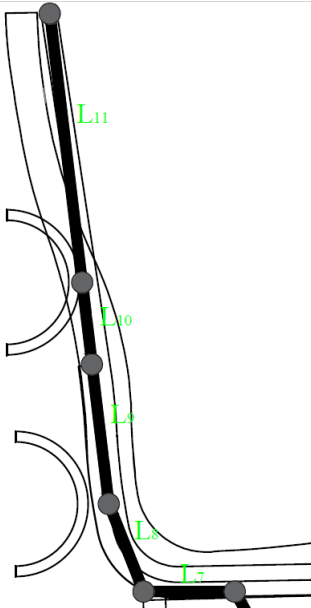
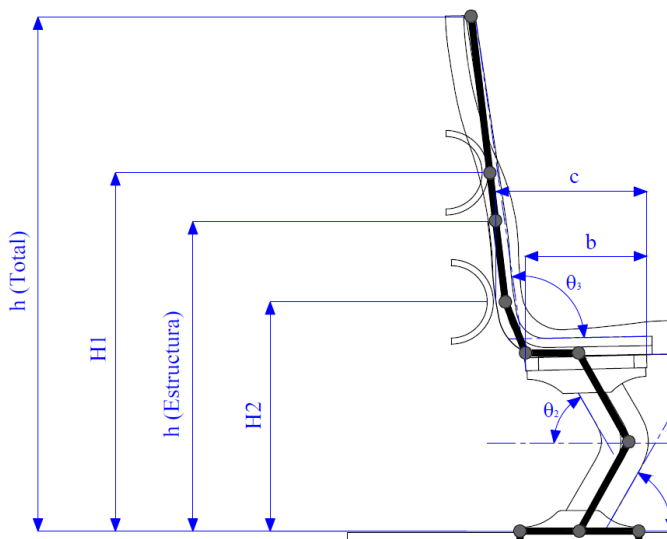
La longitud del elemento 11 depende de: la H1 que es la altura donde se aplicará la fuerza F1 según [1], la altura total del asiento que se va a evaluar y el ángulo que tiene el espaldar. Por lo tanto, para su obtención se procede como se muestra en la Tabla IV.15:

$$L_{11} = 250,95mm$$

(IV.45)



**Tabla IV.15:** Descripción de longitud del elemento 11.

| Descripción  | Longitud   |
|--|--|
|  | <p data-bbox="790 291 909 324">Obtención</p>  $\sin(180 - \theta_3) = \frac{h_{Total} - H_1}{L_{11}}$ $L_{11} = \frac{1000 - 750}{\sin(180 - 95)}$ $L_{11} = \frac{250}{\sin(85)}$ $L_{11} = 250,95mm$ |

[Autor]

#### 4.1.8.6.3. Área equivalente $A_i$ de cada uno de los elementos del modelo simplificado.


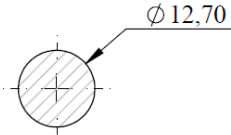
Las partes que se variará el área o sección para el análisis serán: el tubo pata, el tubo codo y tubo base, los demás elementos no variarán su sección.

Elemento 1 y 2:

Los elementos 1 y 2 siendo que representan un perno se asume un diámetro de  $\frac{1}{2}$ ", según la concepción del metamodelo son iguales en su sección y su valor no variará, se procede a determinar su valor como se puede observar en la Tabla IV.16:

$$A_1 = A_2 = 126,677mm^2 \quad (IV.46)$$

**Tabla IV.16:** Descripción de sección de elemento 1 y 2.

| Descripción   | Área   |
|---|--|
|  |  $A_1 = A_2 = \pi \times r^2$ $A_1 = A_2 = \pi \times \frac{12,7^2}{2}$ $A_1 = A_2 = 126,677mm^2$ |

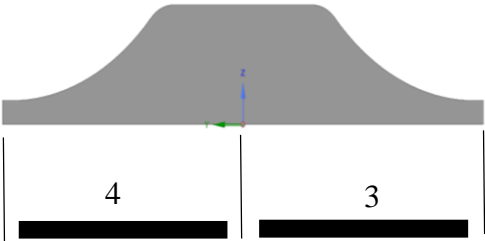
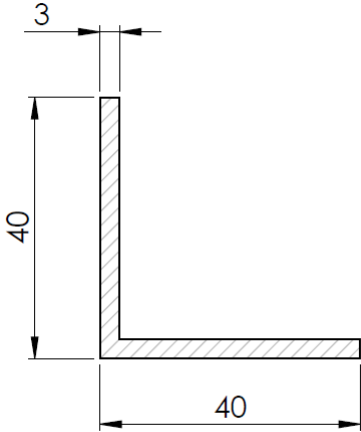
[Autor]

Elemento 3 y 4:

Los elementos 3 y 4 siendo que representan un mismo elemento en este caso la platina que une el tubo pata con el piso, según la concepción del metamodelo se dividió dicha platina en los elementos 3 y 4 iguales en su sección y su valor no variará, por lo tanto para el cálculo de valores se procederá como se observa en la Tabla IV.17:

$$A_3 = A_4 = 231mm^2 \quad (IV.47)$$

**Tabla IV.17:** Descripción de sección de elemento 3 y 4.

| Descripción   | Área   |
|---|--|
|  |  $A_3 = A_4 = a_1 + a_2$ $A_3 = A_4 = (40 \times 3) + (37 \times 3)$ $A_3 = A_4 = 231mm^2$ |

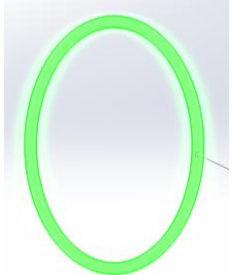
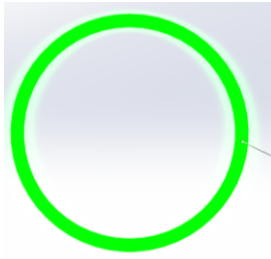
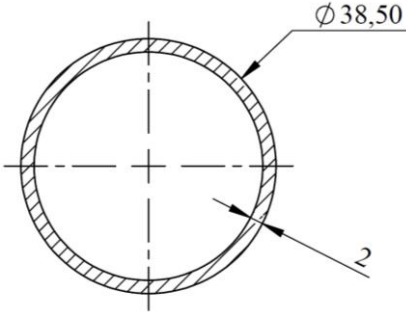
[Autor]

Elemento 5 y 6:

Los elementos 5 y 6 representando en conjunto la parte tubo pata, según la concepción del metamodelo se dividió dicha parte en los elementos 5 y 6 iguales en su sección y su valor tendrá la característica de variar dependiendo del usuario, el procedimiento del cálculo de su valor se detalla en la Tabla IV.18:

$$A_5 = A_6 = 458,68mm^2 \quad (IV.48)$$

**Tabla IV.18:** Descripción de sección de elemento 5 y 6.

| Descripción  | Área                  |                       |            |          |  |       |                       |            |          |
|--|-----------------------|-----------------------|------------|----------|--|-------|-----------------------|------------|----------|
| Equivalencia de área realizada mediante solidworks   |                       |                       |            |          |  |       |                       |            |          |
|  <table border="1" data-bbox="395 1064 646 1164"> <tr> <td>Área:</td> <td>227.43mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Perímetro:</td> <td>227.63mm</td> </tr> </table> <p>Área = 2 × 227,43mm<sup>2</sup><br/>Área = 454,86mm<sup>2</sup></p>   | Área:                 | 227.43mm <sup>2</sup> | Perímetro: | 227.63mm |  <table border="1" data-bbox="925 1064 1189 1164"> <tr> <td>Área:</td> <td>229.34mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Perímetro:</td> <td>229.34mm</td> </tr> </table> <p>Área = 2 × 229,34mm<sup>2</sup><br/>Área = 458,68mm<sup>2</sup></p> | Área: | 229.34mm <sup>2</sup> | Perímetro: | 229.34mm |
| Área:  | 227.43mm <sup>2</sup> |                       |            |          |  |       |                       |            |          |
| Perímetro:   | 227.63mm              |                       |            |          |  |       |                       |            |          |
| Área:  | 229.34mm <sup>2</sup> |                       |            |          |  |       |                       |            |          |
| Perímetro:   | 229.34mm              |                       |            |          |  |       |                       |            |          |
| Obtención  |                       |                       |            |          |  |       |                       |            |          |
|  <p style="text-align: center;"> <math>A_5 = A_6 = \pi \times (r_e^2 - r_i^2)</math><br/> <math>A_5 = A_6 = \pi \times (r_e^2 - (r_e - e)^2)</math> </p> <p>Debido a que el elemento tubo pata lo conforman dos tubos se procede a multiplicarlo por 2.<br/>entonces:</p> $A_5 = A_6 = 2 \times \pi \times (r_e^2 - r_i^2)$ $A_5 = A_6 = 2 \times \pi \times \left( \left( \frac{D_e}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_i - (e \times 2)}{2} \right)^2 \right)$ $A_5 = A_6 = 2 \times \pi \times \left( \frac{38,5^2}{2} - \frac{(38,5 - (2 \times 2))^2}{2} \right)$ $A_5 = A_6 = 458,68mm^2$ |                       |                       |            |          |  |       |                       |            |          |

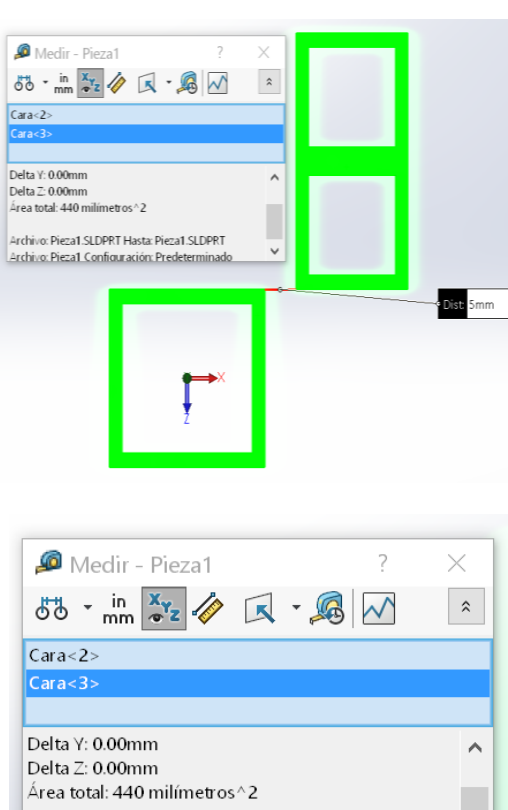
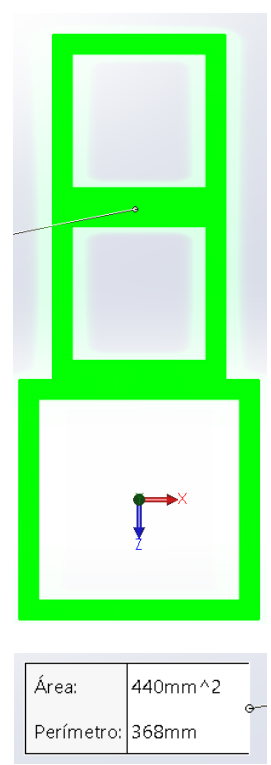
[Autor]

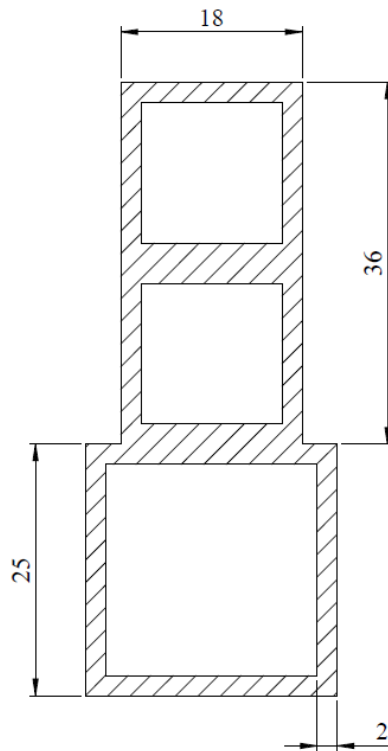
Elemento 7:

El elemento 7 representa la sección equivalente del sector que conforma el tubo base, tubo codo y el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas, según la concepción del modelo simplificado, el sector es representado por el elemento 7 y el valor de su sección tendrá la característica de cambiar dependiendo del usuario, por lo tanto para su cálculo se procederá como se detalla en la Tabla IV.19:

$$A_7 = 440\text{mm}^2 \quad (\text{IV.49})$$

**Tabla IV.19:** Descripción de sección de elemento 7.

| Descripción   | Área   |
|---|--|
| Equivalencia de area realizada mediante solidworks  |  |
| <p style="text-align: center;"><math>\text{Área} = 440\text{mm}^2</math></p>  | <p style="text-align: center;"><math>\text{Área} = 440\text{mm}^2</math></p>  |
| Obtención   |  |



$$A_7 = a_1 + a_2 + a_3$$

$$A_7 = (L_1^2 - l_1^2) + (L_2^2 - l_2^2) + (L_3^2 - l_3^2)$$

$$A_7 = (L_1^2 - (L_1 - 2e_1)^2) + (L_2^2 - (L_2 - 2e_2)^2) + (L_3^2 - (L_3 - 2e_3)^2)$$

En este caso las secciones 2 y 3 son iguales, cabe recalcar que el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas no variara en valor únicamente los demás parámetros, por lo tanto:

$$A_7 = a_1 + 2a_2$$

$$A_7 = (L_1^2 - l_1^2) + 2 \times (L_2^2 - l_2^2)$$

$$A_7 = (L_1^2 - (L_1 - 2e_1)^2) + 2 \times (L_2^2 - (L_2 - 2e_2)^2)$$

$$A_7 = (25^2 - 21^2) + 2 \times (18^2 - 14^2)$$

$$A_7 = 440 \text{ mm}^2$$

[Autor]

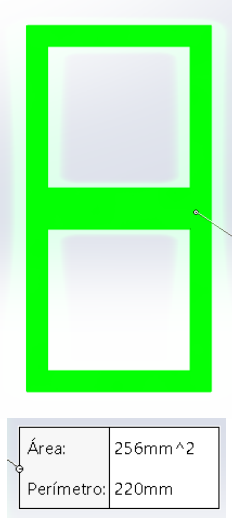
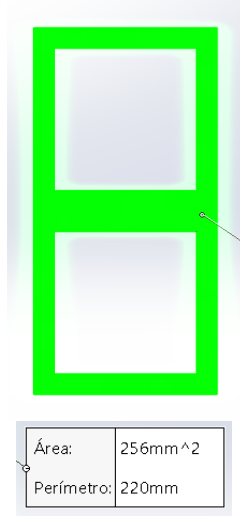
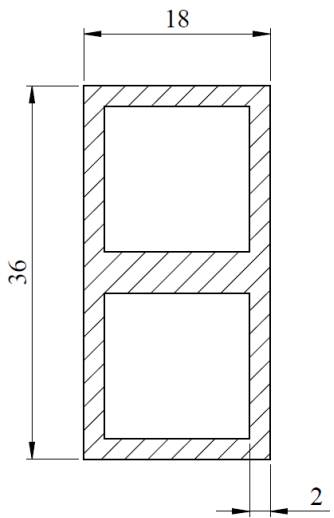
Elementos 8 y 9:

Los elementos 8 y 9 representan la sección equivalente del sector que en conjunto forma el tubo codo y el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas, según la concepción del metamodelo se dividió dicho sector en los dos elementos 8 y 9, el valor de su sección del tubo codo tendrá la característica de cambiar dependiendo del usuario, se demuestra el cálculo en la Tabla IV.20:

$$A_8 = A_9 = 256mm^2$$

( IV.50)

**Tabla IV.20:** Descripción de sección de elemento 8 y 9.

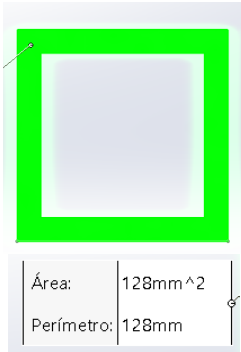
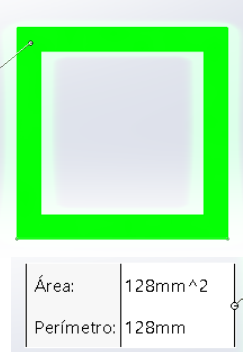
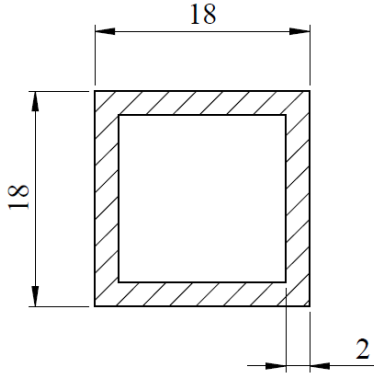
| Descripción  | Área   |
|--|--|
| Equivalencia de área realizada mediante solidworks   |  |
|  <p style="text-align: center;"><math>\text{Área} = 256mm^2</math></p>  |  <p style="text-align: center;"><math>\text{Área} = 256mm^2</math></p> |
| Obtención  |  |
|  <p style="text-align: center;"> <math>A_8 = A_9 = a_1 + a_2</math><br/> <math>A_8 = A_9 = (L_1^2 - (L_1 - 2e_1)^2) + (L_2^2 - (L_2 - 2e_2)^2)</math> </p> <p>Para este caso en particular <math>a_1</math> y <math>a_2</math> son iguales, cabe recalcar que el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas no variara en valor únicamente los demás parámetros, entonces:</p> <p style="text-align: center;"> <math>A_8 = A_9 = 2a_1</math><br/> <math>A_8 = A_9 = 2 \times (L_1^2 - (L_1 - 2e_1)^2)</math><br/> <math>A_8 = A_9 = 2 \times (18^2 - 14^2)</math><br/> <math>A_8 = A_9 = 256mm^2</math> </p> <p style="text-align: center;">[Autor]</p> |  |

Elementos 10 y 11:

Los elementos 10 y 11 representan la sección equivalente del sector que forma únicamente el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas, según la concepción del metamodelo se dividió dicho sector en los dos elementos 10 y 11, el valor de su sección no tendrá la característica de cambiar debido a que son elementos que se colocan con la finalidad de representar la interacción de la fuerza ubicada a la altura H1, el cálculo de su valor se detalla en la Tabla IV.21:

$$A_{10} = A_{11} = 128mm^2 \quad (IV.51)$$

**Tabla IV.21:** Descripción de sección de elemento 10 y 11.

| Descripción   | Área  |
|---|---|
| Equivalencia de área realizada mediante solidworks  |   |
|  <p style="text-align: center;"><math>\text{Área} = 128mm^2</math></p>  |  <p style="text-align: center;"><math>\text{Área} = 128mm^2</math></p> |
| Obtención   |   |
|  $A_{10} = A_{11} = (L \times L) - (l \times l)$ $A_{10} = A_{11} = (L \times L) - ((l - 2e) \times (l - 2e))$ $A_{10} = A_{11} = (L^2 - (l - 2e)^2)$ $A_{10} = A_{11} = 128mm^2$ |   |

[Autor]

**4.1.8.6.4. Inercia equivalente  $I_i$  de cada uno de los elementos del metamodelo planteado en la presente investigación.**

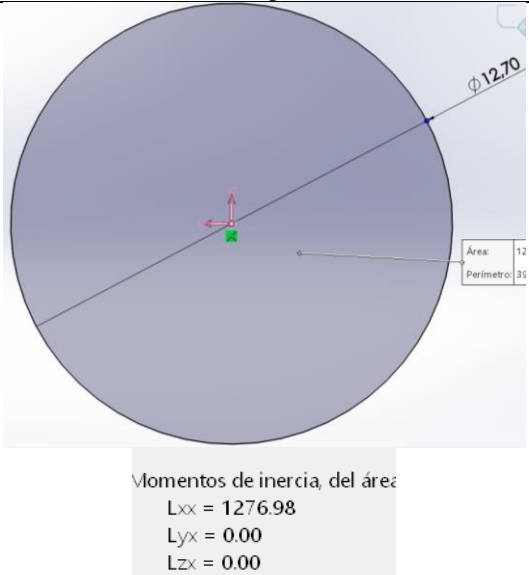
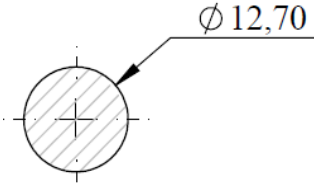
Las partes que se variará el área o sección durante el análisis serán: el tubo pata, el tubo codo y tubo base, los demás elementos no variarán su sección por lo tanto las inercias correspondientes de estos elementos también son sujetos de variación.

Elemento 1 y 2:

Los elementos 1 y 2 siendo que representan un perno se asume un diámetro de  $\frac{1}{2}$ ", según la concepción del metamodelo son iguales en sección por lo tanto su inercia también será igual de estos elementos y su valor no variará, el cálculo de la inercia de estos elementos se detalla en la Tabla IV.22:

$$I_1 = I_2 = 1296,982mm^4 \quad (IV.52)$$

**Tabla IV.22:** Detalle del cálculo de inercia de elemento 1 y 2.

| Descripción  | Área  |
|--|---|
|  <p>Momentos de inercia, del área:<br/> <math>L_{xx} = 1276.98</math><br/> <math>L_{yx} = 0.00</math><br/> <math>L_{zx} = 0.00</math></p> |  $I_1 = I_2 = \frac{\pi \times r^4}{4}$ $I_1 = I_2 = \frac{\pi \times \left(\frac{12,7}{2}\right)^4}{4}$ $I_1 = I_2 = 1296,982mm^4$ |

[Autor]

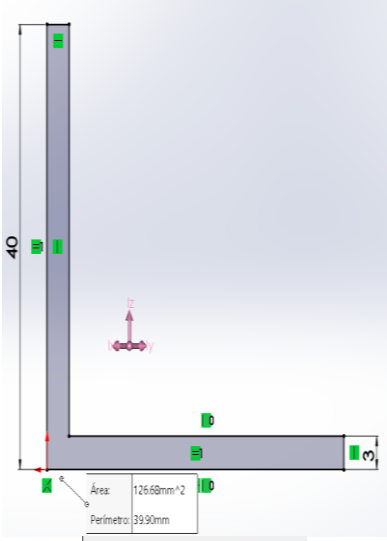
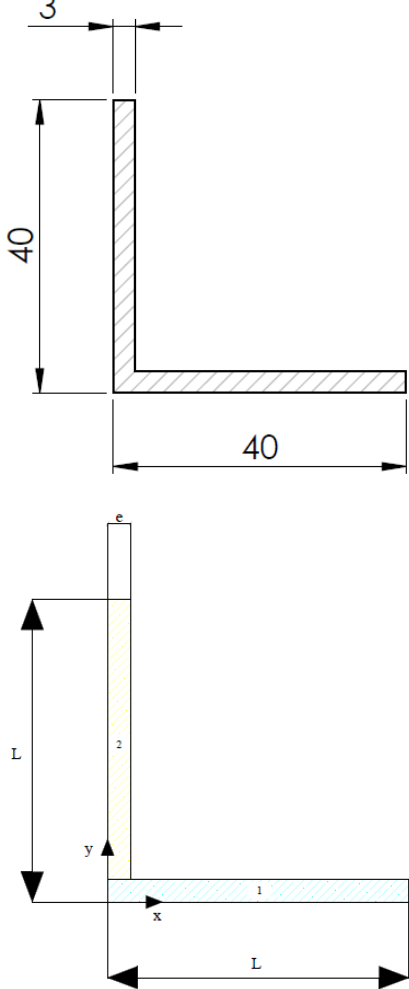
Elemento 3 y 4:

Los elementos 3 y 4 representan la platina que unen el tubo pata con el piso, según la concepción del metamodelo se dividió dicha platina en los elementos 3 y 4 y el procedimiento del cálculo de su inercia se puede observar en la Tabla IV.23:



$$I_3 = I_4 = I_{xT} = 35565,93mm^4 \quad (IV.53)$$

**Tabla IV.23:** Detalle del cálculo de inercia de elemento 3 y 4.

| Descripción   | Área   |
|---|--|
|  <p>Momentos de inercia, del<br/> <math>L_{xx} = 35818.19</math><br/> <math>L_{yx} = 0.00</math><br/> <math>L_{zx} = 21335.06</math></p>  | <p>Obtención</p>  |
| <p>Calculo de <math>\bar{Y}</math> del centroide de la sección:</p> $\bar{Y} = \frac{(a_1 \times dy_1) + (a_2 \times dy_2)}{a_1 + a_2}$ $\bar{Y} = \frac{(L \times e) \times \left(\frac{e}{2}\right) + ((L - e) \times e) \times \left(\frac{(L - e)}{2} + e\right)}{(L \times e) + ((L - e) \times e)}$ $\bar{Y} = \frac{(40 \times 3) \times \left(\frac{3}{2}\right) + ((40 - 3) \times 3) \times \left(\frac{(40 - 3)}{2} + 3\right)}{(40 \times 3) + ((40 - 3) \times 3)}$ $\bar{Y} = \frac{(120) \times \left(\frac{3}{2}\right) + ((37) \times 3) \times \left(\frac{(37)}{2} + 3\right)}{(120) + ((37) \times 3)}$ |  |

$$\bar{Y} = \frac{180 + 2386,5}{(120) + (111)}$$

$$\bar{Y} = 11,11mm$$

Calculo la inercia de la sección:

$$I_{xT} = \sum (I_{xi} + a_i d_{yi}^2)$$

$$I_{xT} = (I_{x1} + a_1 d_{y1}^2) + (I_{x2} + a_2 d_{y2}^2)$$

$$I_{xT} = \left( \left( \frac{L \times e^3}{12} \right) + (L \times e) \times \left( \bar{Y} - \frac{e}{2} \right)^2 \right)$$

$$+ \left( \left( \frac{e \times (L - e)^3}{12} \right) + ((L - e) \times e) \times \left( \left( \frac{(L - e)}{2} + e \right) - \bar{Y} \right)^2 \right)$$

$$I_{xT} = \left( \left( \frac{40 \times 3^3}{12} \right) + (40 \times 3) \times \left( 11,11 - \frac{3}{2} \right)^2 \right)$$

$$+ \left( \left( \frac{3 \times (40 - 3)^3}{12} \right) + ((40 - 3) \times 3) \times \left( \left( \frac{(40 - 3)}{2} + 3 \right) - 11,11 \right)^2 \right)$$

$$I_{xT} = \left( \left( \frac{40 \times 27}{12} \right) + (120) \times \left( 11,11 - \frac{3}{2} \right)^2 \right)$$

$$+ \left( \left( \frac{3 \times (37)^3}{12} \right) + ((37) \times 3) \times \left( \left( \frac{(37)}{2} + 3 \right) - 11,11 \right)^2 \right)$$

$$I_{xT} = 10920 + 24645,93$$

$$I_{xT} = 35565,93mm^4$$

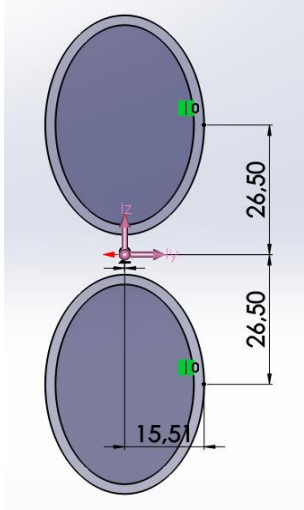
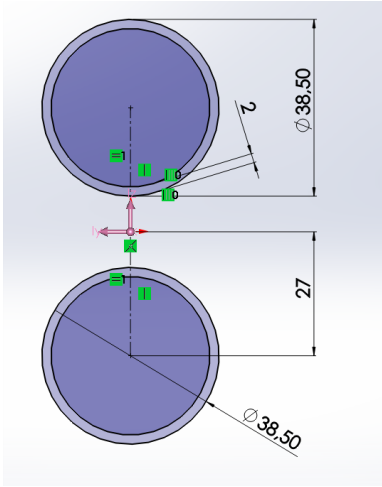
[Autor]

Elemento 5 y 6:

Estos elementos representan en conjunto el tubo pata, asumiendo que su sección no varía entre ambos elementos la inercia para 5 y 6 tampoco cambiara, dependiendo del usuario dicha inercia tendrá diferentes valores; el procedimiento del cálculo de se describe en la Tabla IV.24:

$$I_5 = I_6 = I_{xT} = 410984,91mm^4 \quad (\text{IV.54})$$

**Tabla IV.24:** Detalle del cálculo de inercia de elemento 5 y 6.

| Descripción  | Área  |
|--|---|
| Obtención  |   |
|  <div data-bbox="443 898 655 1021" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Momentos de inercia, de</p> <p><math>L_{xx} = 413990.87</math></p> <p><math>L_{yx} = 0.00</math></p> <p><math>L_{zx} = 133.68</math></p> </div> |  <div data-bbox="1007 887 1185 1003" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Momentos de inercia, de</p> <p><math>L_{xx} = 410984.92</math></p> <p><math>L_{yx} = 0.00</math></p> <p><math>L_{zx} = 0.00</math></p> </div> |

Calculo de  $\bar{Y}$  del centroide de la sección:

$$\bar{Y} = \frac{\pi(R^2 - r^2)(R) + \pi(R^2 - r^2)(R + 54)}{2\pi(R^2 - r^2)}$$

$$\bar{Y} = \frac{\pi\left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D-2e}{2}\right)^2\right)\left(\frac{D}{2}\right) + \pi\left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D-2e}{2}\right)^2\right)\left(\left(\frac{D}{2}\right) + 54\right)}{2\pi\left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D-2e}{2}\right)^2\right)}$$

$$\bar{Y} = \frac{\pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{38,5-4}{2}\right)^2\right)\left(\frac{38,5}{2}\right) + \pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{38,5-4}{2}\right)^2\right)\left(\left(\frac{38,5}{2}\right) + 54\right)}{2\pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{38,5-4}{2}\right)^2\right)}$$

$$\bar{Y} = \frac{\pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{34,5}{2}\right)^2\right)\left(\frac{38,5}{2}\right) + \pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{34,5}{2}\right)^2\right)\left(\left(\frac{38,5}{2}\right) + 54\right)}{2\pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{34,5}{2}\right)^2\right)}$$

$$\bar{Y} = \frac{\pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 - \left(\frac{34,5}{2}\right)^2\right)\left(\frac{38,5}{2}\right) + \pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{34,5}{2}\right)^2\right)\left(\left(\frac{38,5}{2}\right) + 54\right)}{2\pi\left(\left(\frac{38,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{34,5}{2}\right)^2\right)}$$

$$\bar{Y} = \frac{21213,60}{2(73\pi)}$$

$$\bar{Y} = 46,25mm$$

Calculo de la inercia de la sección:

$$I_{xT} = \sum (I_{xi} + a_i d_{yi}^2)$$

$$I_{xT} = (I_{x1} + a_1 d_{y1}^2) + (I_{x2} + a_2 d_{y2}^2)$$

$$I_{xT} = \left( \frac{\pi(R^2 - r^2)}{4} + \pi(R^2 - r^2)27^2 \right) + \left( \frac{\pi(R^2 - r^2)}{4} + \pi(R^2 - r^2)27^2 \right)$$

$$I_{xT} = 2 \times \left( \frac{\pi \left( \frac{D^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right)}{4} + \pi \left( \frac{D^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right) (27)^2 \right)$$

$$I_{xT} = 2 \times \left( \frac{\pi \left( \frac{D^2}{2} - \frac{(D - 2e)^2}{2} \right)}{4} + \pi \left( \frac{D^2}{2} - \frac{(D - 2e)^2}{2} \right) (27)^2 \right)$$

$$I_{xT} = 2 \times \left( \frac{\pi \left( \left( \frac{38,5}{2} \right)^4 - \left( \frac{(38,5 - 4)}{2} \right)^4 \right)}{4} + \pi \left( \left( \frac{38,5^2}{2} - \frac{(38,5 - 4)^2}{2} \right) \right) (27)^2 \right)$$

$$I_{xT} = 2 \times \left( \frac{\pi \left( \left( \frac{38,5}{2} \right)^4 - \left( \frac{(34,5)}{2} \right)^4 \right)}{4} + \pi \left( \left( \frac{38,5^2}{2} - \frac{(34,5)^2}{2} \right) \right) (27)^2 \right)$$

$$I_{xT} = 2 \times (38306,32 + 167186,14)$$

$$I_{xT} = 410984,91mm^4$$

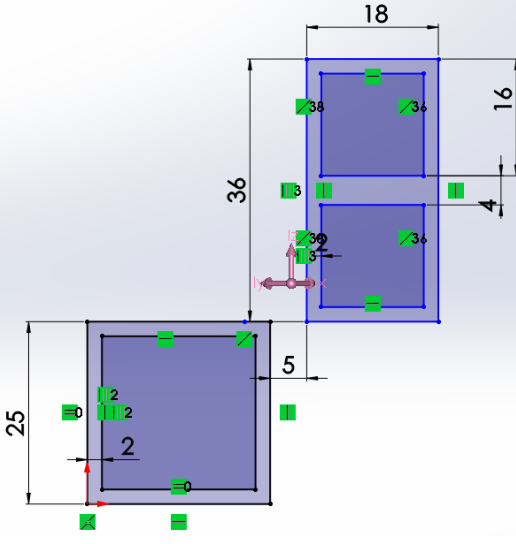
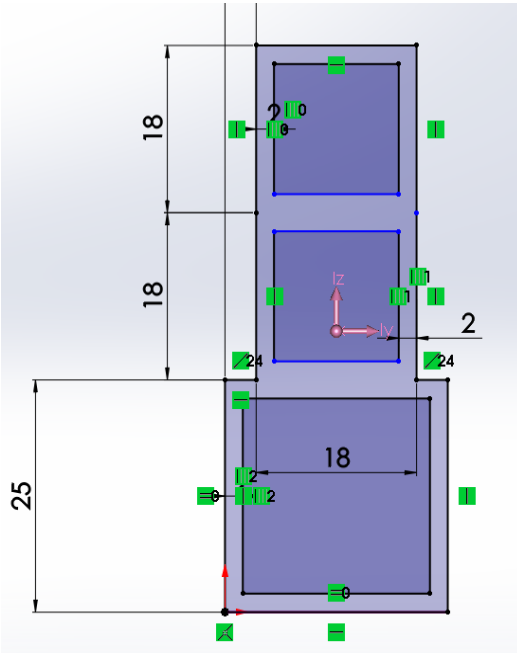
[Autor]

Elemento 7:

Según la concepción del modelo simplificado el elemento 7 representa la sección equivalente del sector que conforma el tubo base, tubo codo y el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas según normativa, el valor de su inercia tendrá la característica de cambiar dependiendo del usuario, en la Tabla IV.25 se detalla el proceso de cálculo:

$$I_7 = I_{xT} = 147762,1572mm^4 \quad (IV.55)$$

**Tabla IV.25:** Detalle del cálculo de inercia de elemento 7.

| Descripción  | Área  |
|--|---|
| Equivalencia de área realizada mediante solidworks   |   |
|  <p data-bbox="462 1008 686 1131">Momentos de inercia, de<br/> <math>L_{xx} = 147762.16</math><br/> <math>L_{yx} = 0.00</math><br/> <math>L_{zx} = 86526.84</math></p>  |  <p data-bbox="997 1075 1252 1198">Momentos de inercia, del<br/> <math>L_{xx} = 147762.16</math><br/> <math>L_{yx} = 0.00</math><br/> <math>L_{zx} = 0.00</math></p> |
| Obtención  |   |
| <p data-bbox="316 1321 750 1355">Cálculo de <math>\bar{Y}</math> del centroide de la sección:</p> $\bar{y} = \frac{(a_1 \times dy_1) + (a_2 \times dy_2) + (a_3 \times dy_3)}{a_1 + a_2 + a_3}$ <p data-bbox="590 1478 1101 1512">Como se trata de secciones cuadradas entonces:</p> $\bar{y} = \frac{(L_1^2 - l_1^2) \times \left(\frac{L_1}{2}\right) + (L_2^2 - l_2^2) \times \left(\frac{L_2}{2} + L_1\right) + (L_3^2 - l_3^2) \times \left(\frac{L_3}{2} + L_1 + L_2\right)}{(L_1^2 - l_1^2) + (L_2^2 - l_2^2) + (L_3^2 - l_3^2)}$ $\bar{y} = \frac{(25^2 - 21^2) \times \left(\frac{25}{2}\right) + (18^2 - 14^2) \times \left(\frac{18}{2} + 25\right) + (18^2 - 14^2) \times \left(\frac{18}{2} + 25 + 18\right)}{(25^2 - 21^2) + (18^2 - 14^2) + (18^2 - 14^2)}$ $\bar{y} = \frac{(184) \times (12,5) + (128) \times (34) + (128) \times (52)}{(184) + 2(128)}$ $\bar{y} = \frac{2300 + 4352 + 6656}{440}$ $\bar{y} = 30,2454mm$ |   |

Cálculo de la inercia de la sección:

$$\begin{aligned}
 I_{xT} &= \sum (I_{xi} + a_i d_{yi}^2) \\
 I_{xT} &= (I_{x1} + a_1 d_{y1}^2) + (I_{x2} + a_2 d_{y2}^2) + (I_{x3} + a_3 d_{y3}^2) \\
 I_{xT} &= \left( \left( \frac{L_1^4 - l_1^4}{12} \right) + (L_1^2 - l_1^2) \times \left( \bar{Y} - \frac{L_1}{2} \right)^2 \right) + \left( \left( \frac{L_2^4 - l_2^4}{12} \right) + (L_2^2 - l_2^2) \times \left( -\bar{Y} + \frac{L_2}{2} + L_1 \right)^2 \right) \\
 &\quad + \left( \left( \frac{L_3^4 - l_3^4}{12} \right) + (L_3^2 - l_3^2) \times \left( -\bar{Y} + \frac{L_3}{2} + L_1 + L_2 \right)^2 \right) \\
 I_{xT} &= \left( \left( \frac{25^4 - 21^4}{12} \right) + (25^2 - 21^2) \times \left( 30,2454 - \frac{25}{2} \right)^2 \right) \\
 &\quad + \left( \left( \frac{18^4 - 14^4}{12} \right) + (18^2 - 14^2) \times \left( -30,2454 + \frac{18}{2} + 25 \right)^2 \right) \\
 &\quad + \left( \left( \frac{18^4 - 14^4}{12} \right) + (18^2 - 14^2) \times \left( -30,24 + \frac{18}{2} + 25 + 18 \right)^2 \right) \\
 I_{xT} &= \left( \left( \frac{196144}{12} \right) + (184) \times (17,7454)^2 \right) + \left( \left( \frac{66560}{12} \right) + (128) \times (3,7546)^2 \right) \\
 &\quad + \left( \left( \frac{66560}{12} \right) + (128) \times (21,7546)^2 \right) \\
 I_{xT} &= 74286,79 + 7351,085 + 66124,28 \\
 I_{xT} &= 147762,1572mm^4
 \end{aligned}$$

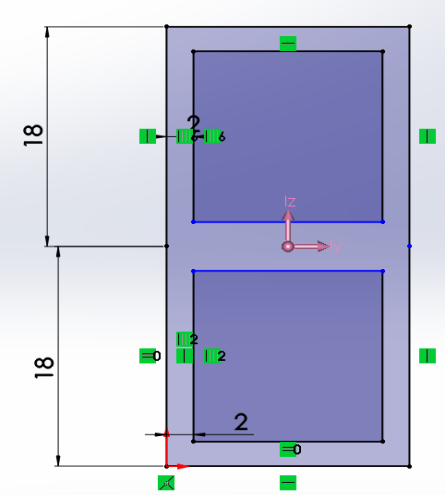
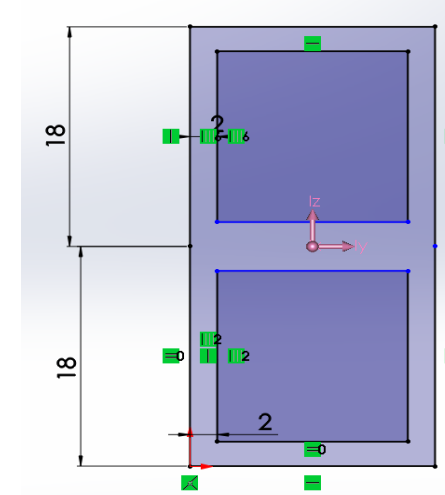
[Autor]

Elementos 8 y 9:

El sector que en conjunto el tubo codo y el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas forman, según la concepción del metamodelo se dividió dicho sector en los dos elementos 8 y 9, el valor de su inercia tendrá la característica de variar según el usuario y el procedimiento de cálculo se detalla en la Tabla IV.26:

$$I_8 = I_9 = I_{xT} = 31829,33mm^4 \quad (\text{IV.56})$$

**Tabla IV.26:** Detalle del cálculo de inercia de elemento 8 y 9.

| Descripción  | Área   |
|--|--|
| Equivalencia de área realizada mediante solidworks   |  |
|  <p data-bbox="462 840 654 940">Momentos de inercia<br/> <math>L_{xx} = 31829.33</math><br/> <math>L_{yx} = 0.00</math><br/> <math>L_{zx} = 0.00</math></p>   |  <p data-bbox="989 840 1181 940">Momentos de inercia<br/> <math>L_{xx} = 31829.33</math><br/> <math>L_{yx} = 0.00</math><br/> <math>L_{zx} = 0.00</math></p> |
| Obtención  |  |
| <p data-bbox="311 985 750 1019">Cálculo de <math>\bar{Y}</math> del centroide de la sección:</p> $\bar{Y} = \frac{(a_1 \times dy_1) + (a_2 \times dy_2)}{a_1 + a_2 + a_2}$ <p data-bbox="590 1086 1101 1120">Como se trata de secciones cuadradas entonces:</p> $\bar{Y} = \frac{(L_1^2 - l_1^2) \times \left(\frac{L_1}{2}\right) + (L_2^2 - l_2^2) \times \left(\frac{L_2}{2} + L_1\right)}{(L_1^2 - l_1^2) + (L_2^2 - l_2^2)}$ $\bar{Y} = \frac{(18^2 - 14^2) \times \left(\frac{18}{2}\right) + (18^2 - 14^2) \times \left(\frac{18}{2} + 18\right)}{(18^2 - 14^2) + (18^2 - 14^2)}$ $\bar{Y} = \frac{(128) \times (9) + (128) \times (27)}{2(128)}$ $\bar{Y} = 18mm$ <p data-bbox="311 1388 686 1422">Cálculo de la inercia de la sección:</p> $I_{xT} = \sum (I_{xi} + a_i d_{yi}^2)$ $I_{xT} = (I_{x1} + a_1 d_{y1}^2) + (I_{x2} + a_2 d_{y2}^2)$ $I_{xT} = \left( \left( \frac{L_1^4 - l_1^4}{12} \right) + (L_1^2 - l_1^2) \times \left( \bar{Y} - \frac{L_1}{2} \right)^2 \right) + \left( \left( \frac{L_2^4 - l_2^4}{12} \right) + (L_2^2 - l_2^2) \times \left( -\bar{Y} + \frac{L_2}{2} + L_1 \right)^2 \right)$ $I_{xT} = \left( \left( \frac{18^4 - 14^4}{12} \right) + (18^2 - 14^2) \times (18 - 9)^2 \right) + \left( \left( \frac{18^4 - 14^4}{12} \right) + (18^2 - 14^2) \times (-18 + 9 + 18)^2 \right)$ $I_{xT} = \left( \left( \frac{66560}{12} \right) + (128) \times (9)^2 \right) + \left( \left( \frac{66560}{12} \right) + (128) \times (9)^2 \right)$ $I_{xT} = 2 \times (15914,666)$ $I_{xT} = 31829,33mm^4$ |  |

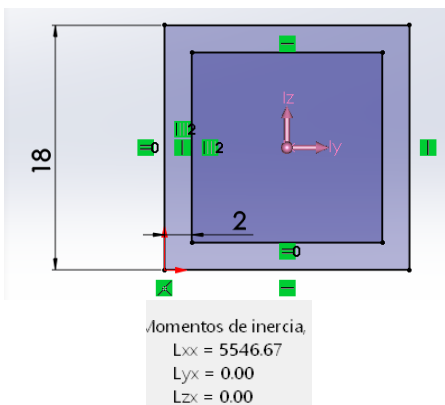
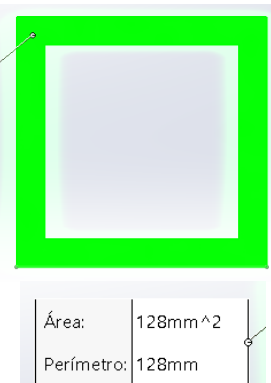
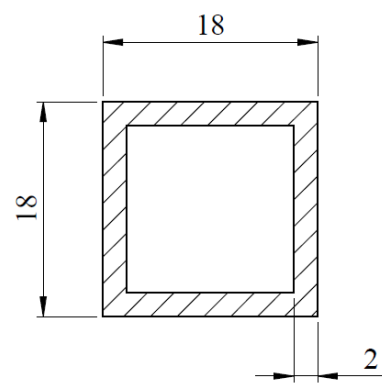
[Autor]

Elementos 10 y 11:

Los elementos 10 y 11 representan únicamente el complemento de acero que permite conectar las fuerzas aplicadas, según la concepción del metamodelo se compone dicho sector por los elementos 10 y 11, su inercia no tendrá la característica de cambiar debido a que es un elemento colocado únicamente como enlace de la fuerza ubicada a la altura H1, el cálculo del valor se describe en la Tabla IV.27:

$$I_{10} = I_{11} = I_{xT} = 5546,66mm^4 \quad (\text{IV.57})$$

**Tabla IV.27:** Detalle del cálculo de inercia de elemento 10 y 11.

| Descripción  | Área   |
|--|--|
| Equivalencia de área realizada mediante solidworks   |  |
|  <p>Momentos de inercia,<br/> <math>L_{xx} = 5546.67</math><br/> <math>L_{yx} = 0.00</math><br/> <math>L_{zx} = 0.00</math></p>      |  <p>Área: 128mm<sup>2</sup><br/>         Perímetro: 128mm</p> |
| Obtención  |  |
|  $I_{xT} = \frac{L_1^4 - (L_1 - 2e)^4}{12}$ $I_{xT} = \frac{18^4 - (14)^4}{12}$ $I_{xT} = \frac{66560}{12}$ $I_{xT} = 5546,66mm^4$ |  |

[Autor]



#### **4.1.9. Recolección de resultados de simulaciones obtenidas mediante software de elementos finitos, pruebas físicas y metamodelo de simulación.**

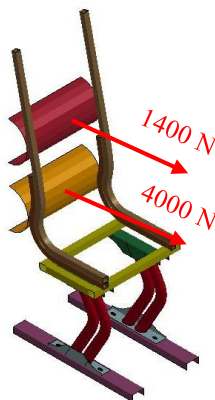
Tanto las simulaciones como las pruebas físicas se las hicieron aplicando los parámetros, disposición de las cargas F1 y F2 a alturas H1 y H2 respectivamente, aparato de ensayo, tiempo de aplicación de la carga, como se indica en los apartados 12.2.2.1, 12.2.2.1.2, 12.2.2.2, 12.2.1.1, 12.2.2.6 y 12.2.1.1.1 de la normativa [1].

Los criterios de aceptabilidad de un asiento se los realizó mediante lo estipulado en los apartados 12.1 y 12.1.2 de la normativa [1].

Cabe recalcar que para el modelo simplificado el tiempo se lo desprecia, una vez claro la normativa que se usara para realizar las respectivas simulaciones, pruebas físicas y metamodelo se procede a presentar los resultados obtenidos, para posteriormente evaluarlos y contrastarlos.

##### **4.1.9.1. Simulaciones mediante software de elementos finitos.**



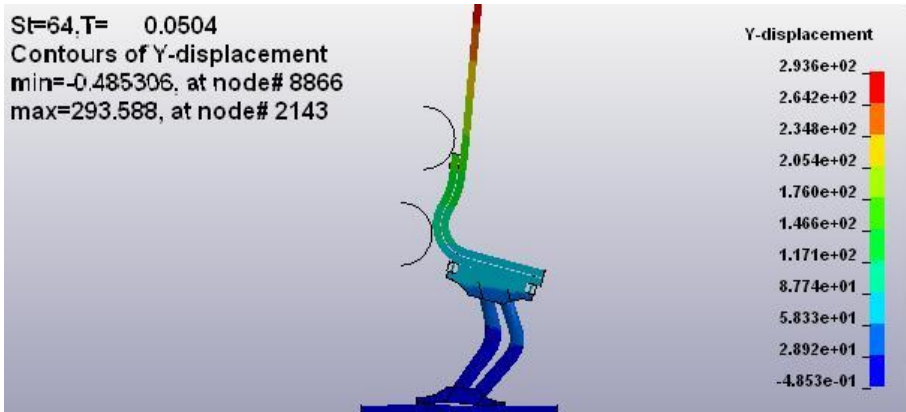
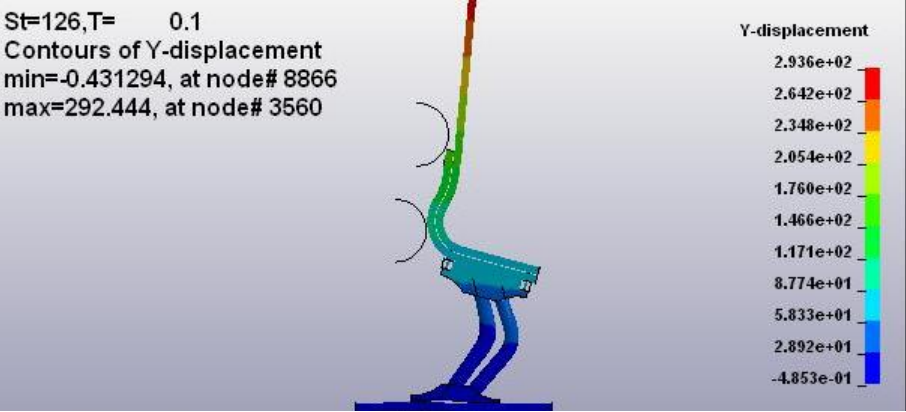
Una vez obtenidos los resultados aplicando las cargas correspondientes en los nodos 389 y 2964 donde tuvieron lugar las fuerzas en dirección horizontal, obteniendo graficas de desplazamiento de los mismos, posteriormente se verificará los desplazamientos nodales máximos en los puntos estrategicos previamente seleccionados en la Tabla IV.3 finalmente los datos seran presentados en una tabla para cada una de las simulaciones.

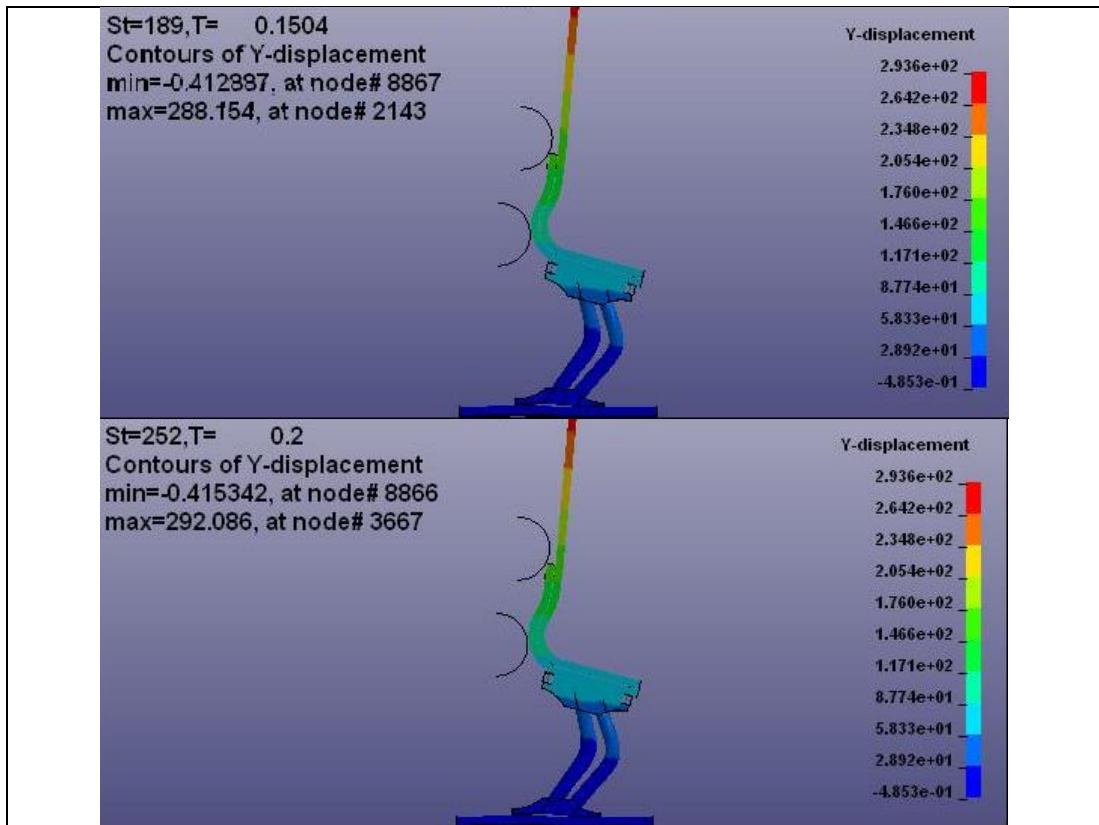


**Fig. IV.17:** Disposición de cargas en asiento de autobús urbano.  
[Autor]

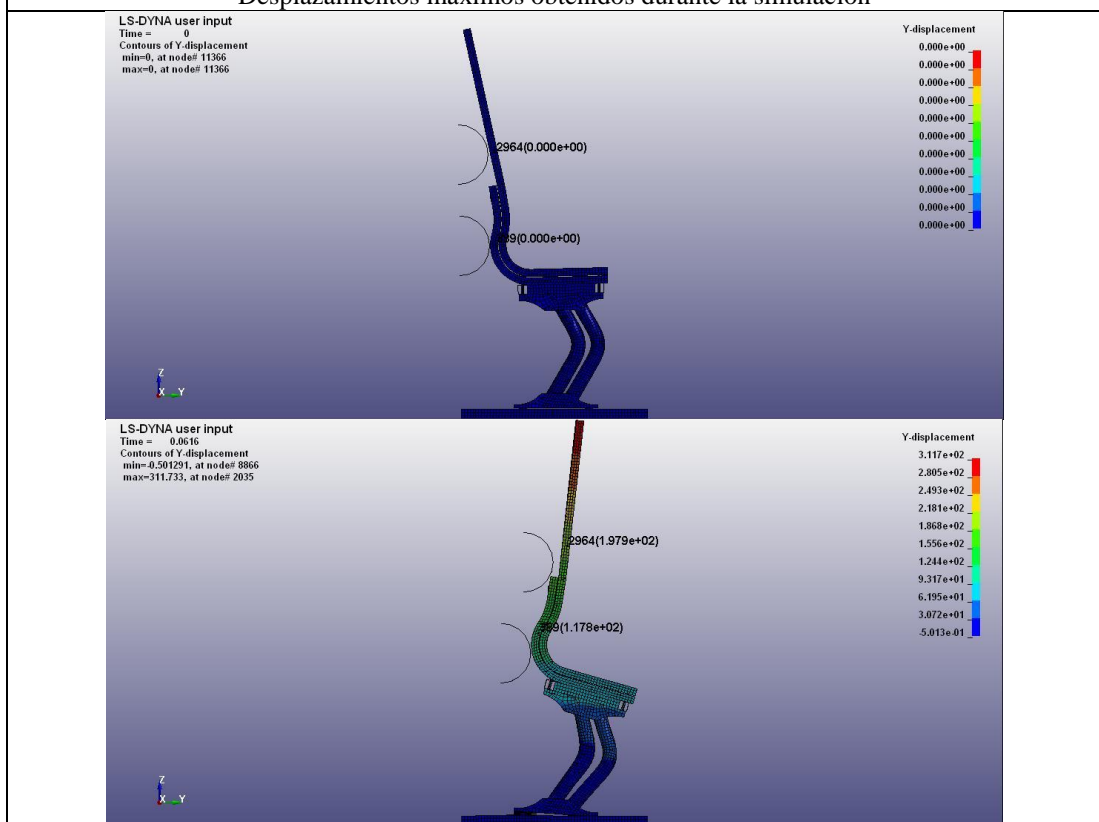
### 4.1.9.1.1. Simulación 1

**Tabla IV.28:** Análisis de resultados de simulación 1, asiento con 1mm de espesor en tubo pata.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |                                |  |                  |       |                    |       |
|--|--------------------------------|---|------------------|-------|--------------------|-------|
| Nº de simulación:  | 1                              | Asiento:  | Urbano una plaza |       |                    |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                  |       |                    |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1    | F2                 | H2    |
|  |                                |   | 1400 N           | 750mm | 4000 N             | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base        |       | Tubo codo          |       |
|  | Espesor = 1mm                  |   | Espesor = 2mm    |       | Espesor = 2mm      |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                  |       |                    |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   | LS-DYNA          |       |                    |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16GB Ram         |       | 4 nucleos          |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :          |       | 5 de Julio de 2018 |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                |   | 8h y15min        |       |                    |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                  |       |                    |       |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.485306, at node# 8866<br/>           max=293.588, at node# 2143</p>  |                                |   |                  |       |                    |       |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.431294, at node# 8866<br/>           max=292.444, at node# 3560</p>   |                                |   |                  |       |                    |       |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

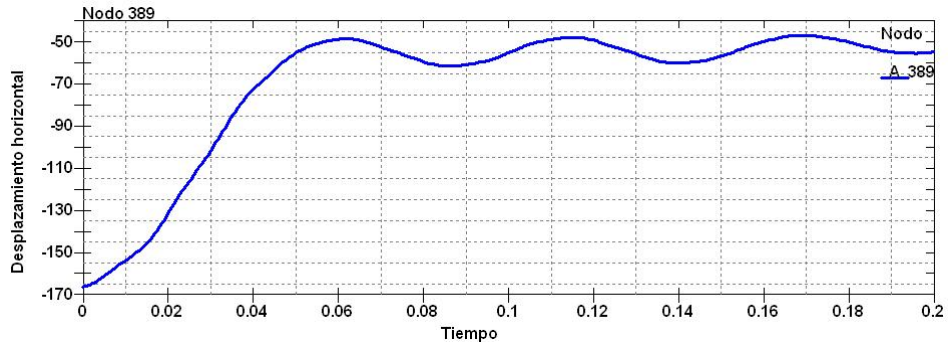


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

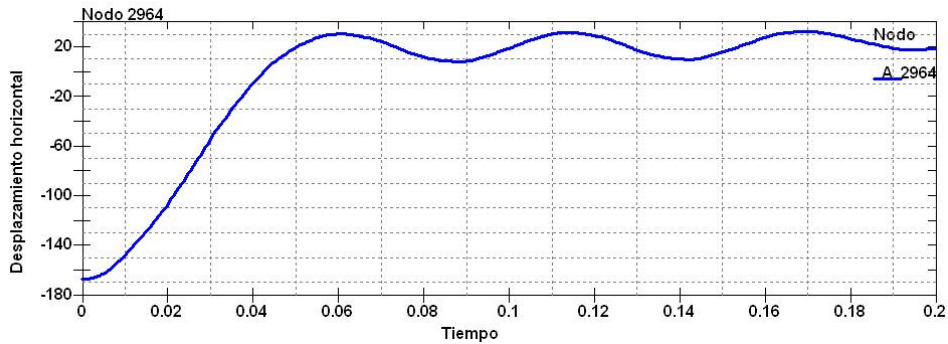
Cumple

[Autor]

## Resultados



**Fig. IV.18:** Curva deslocamiento nodo 389.  
[Autor]



**Fig. IV.19:** Curva desplazamiento nodo 2964.  
[Autor]

## Valores nodales máximos



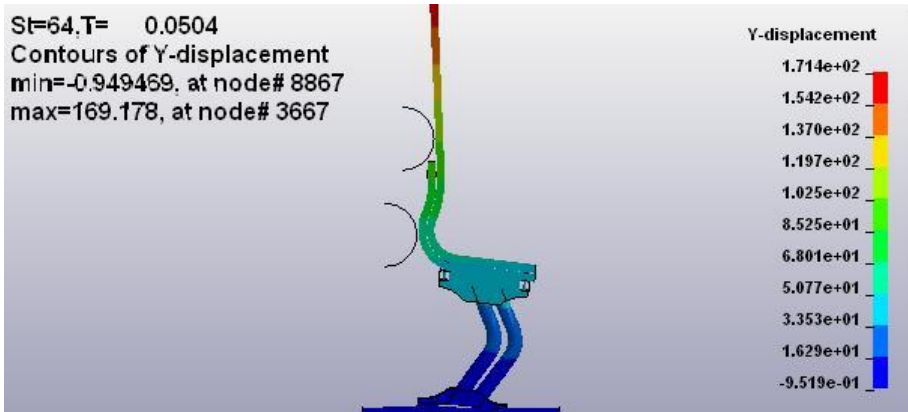
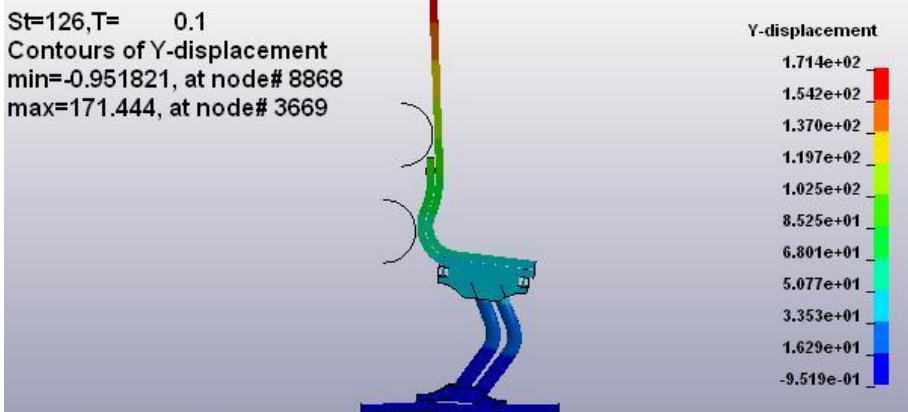
**Tabla IV.29:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 1.

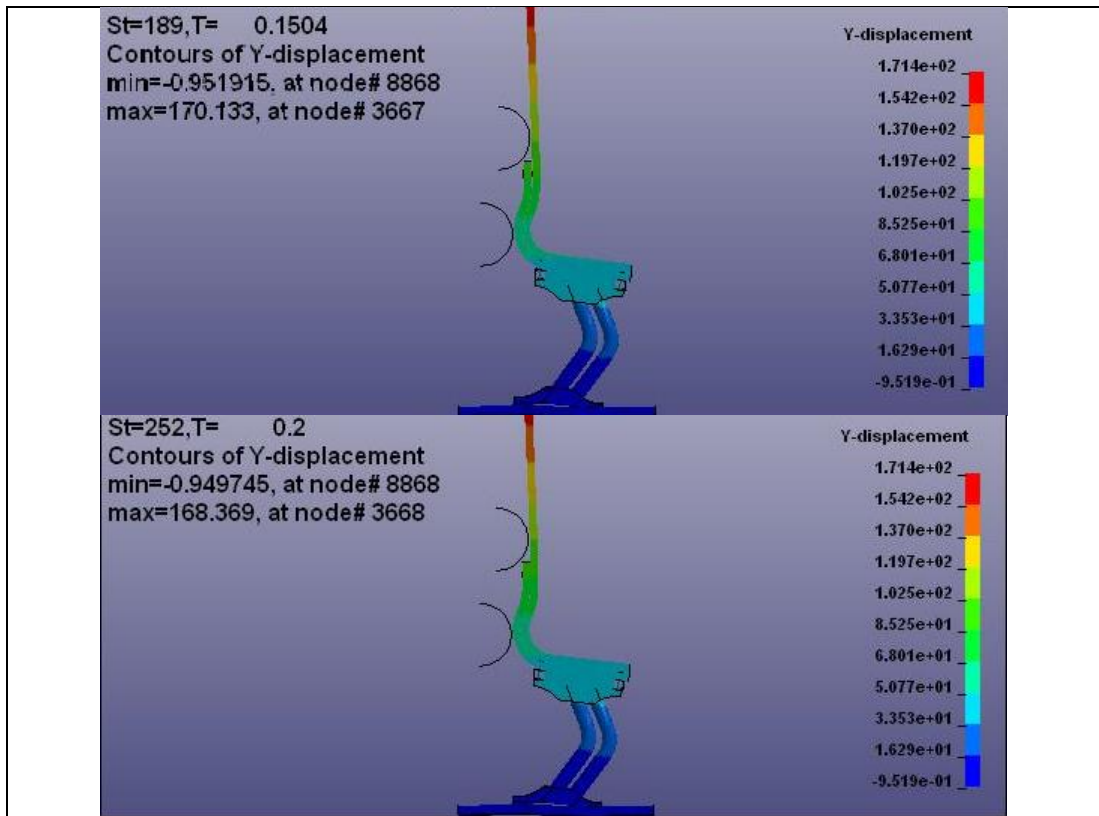
| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,0646    | 2,563    |
| 11324                   | 0,276      | 9,59     |
| 8879                    | -0,084     | -1,482   |
| 8758                    | -0,057     | -2,103   |
| 11266                   | -0,0477    | 3,469    |
| 11899                   | 33,6       | -16,13   |
| 297                     | 78,84      | 1,779    |
| 352                     | 82,57      | 28,7     |
| 389                     | 117,8      | 51,5     |
| 228                     | 169,6      | 44,45    |
| 2964                    | 197,9      | 38,49    |
| 3667                    | 309,6      | 42,08    |

[Autor]

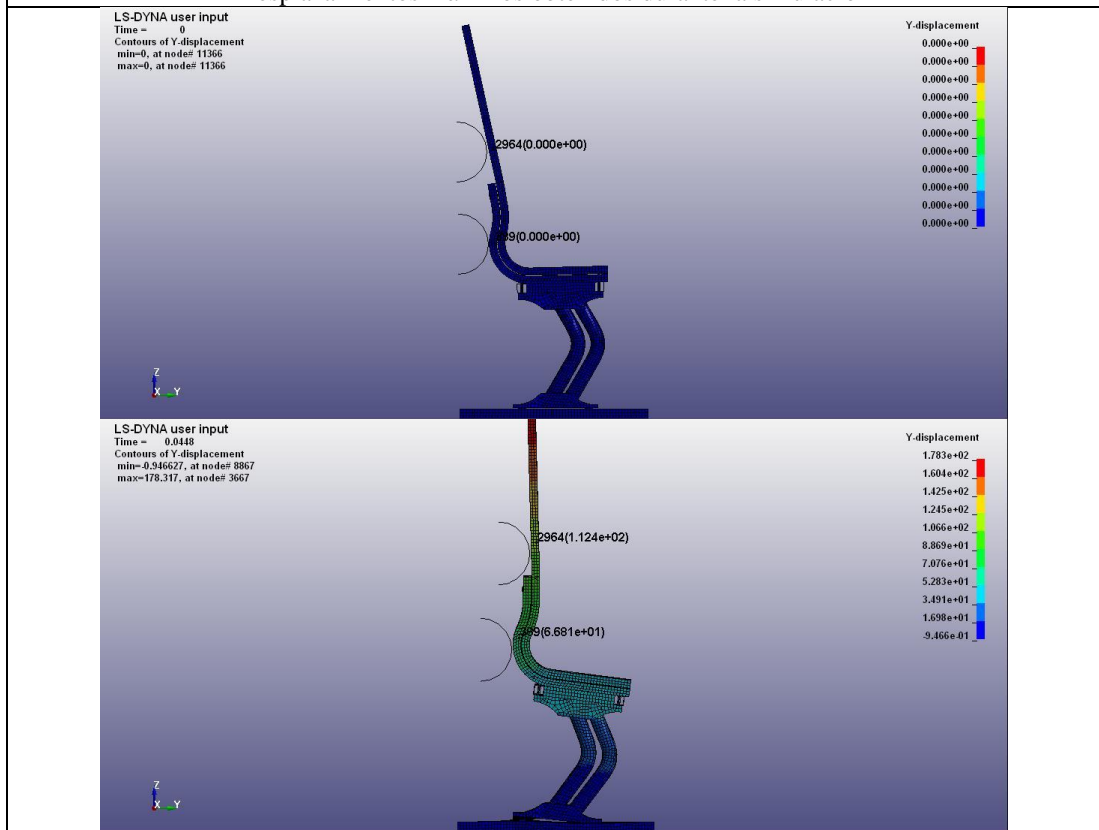
### 4.1.9.1.2. Simulación 2

**Tabla IV.30:** Análisis de resultados de simulación 2, asiento con 2mm de espesor en tubo pata.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |                                |  |                  |                    |               |       |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------------|---------------|-------|
| Nº de simulación:  | 2                              | Asiento:  | Urbano una plaza |                    |               |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                  |                    |               |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1                 | F2            | H2    |
|  |                                |   | 1400 N           | 750mm              | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base        |                    | Tubo codo     |       |
|  | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm    |                    | Espesor = 2mm |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                  |                    |               |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   |                  | LS-DYNA            |               |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   |                  | 4 nucleos          |               |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   |                  | 5 de Julio de 2018 |               |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                | 8h y 18min  |                  |                    |               |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.949469, at node# 8867<br/>           max=169.178, at node# 3667</p>  |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.951821, at node# 8868<br/>           max=171.444, at node# 3669</p>   |                                |   |                  |                    |               |       |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

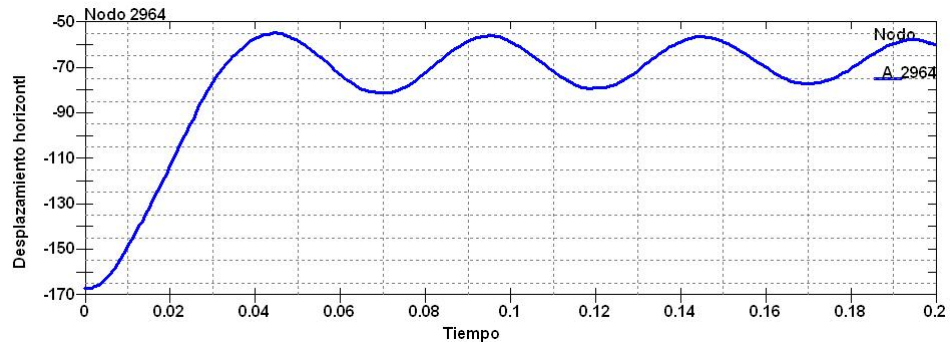
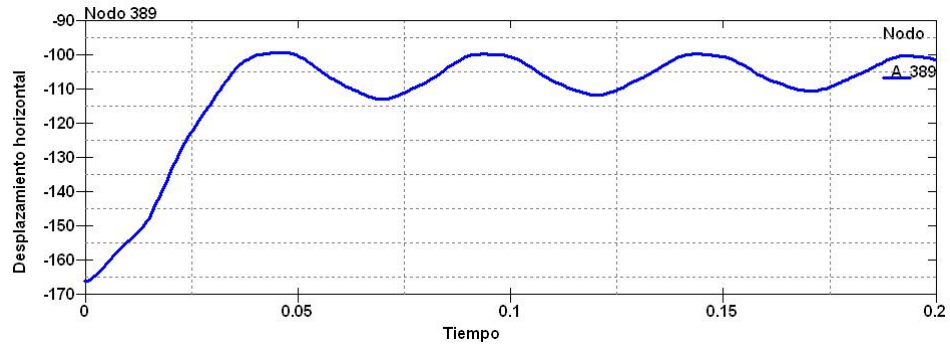


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

Cumple

[Autor]

## Resultados



## Obtencion valores nodales maximos



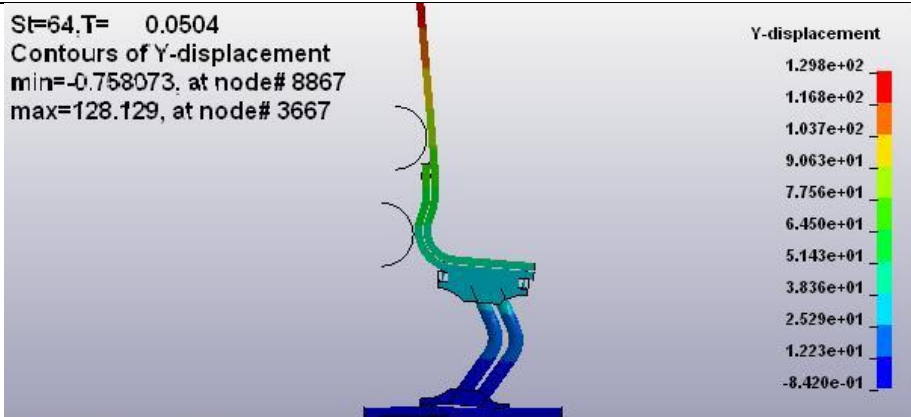
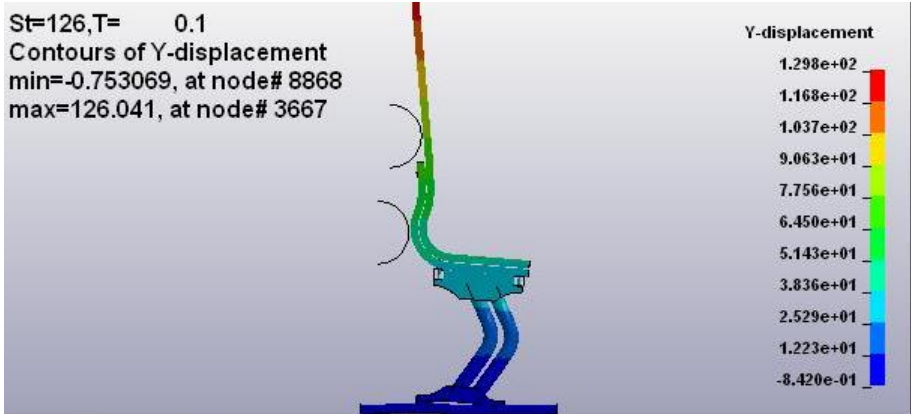
Tabla IV.31: Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 2.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,363     | 2,805    |
| 11324                   | 0,486      | 11,25    |
| 8879                    | 0,182      | -4,607   |
| 8758                    | -0,145     | -5,156   |
| 11266                   | -0,077     | 2,577    |
| 11899                   | 22,74      | -11,19   |
| 297                     | 47,78      | 0,626    |
| 352                     | 48,63      | 13,19    |
| 389                     | 66,81      | 26,72    |
| 228                     | 96,03      | 24,9     |
| 2964                    | 112,4      | 22,64    |
| 3667                    | 178,3      | 31,95    |

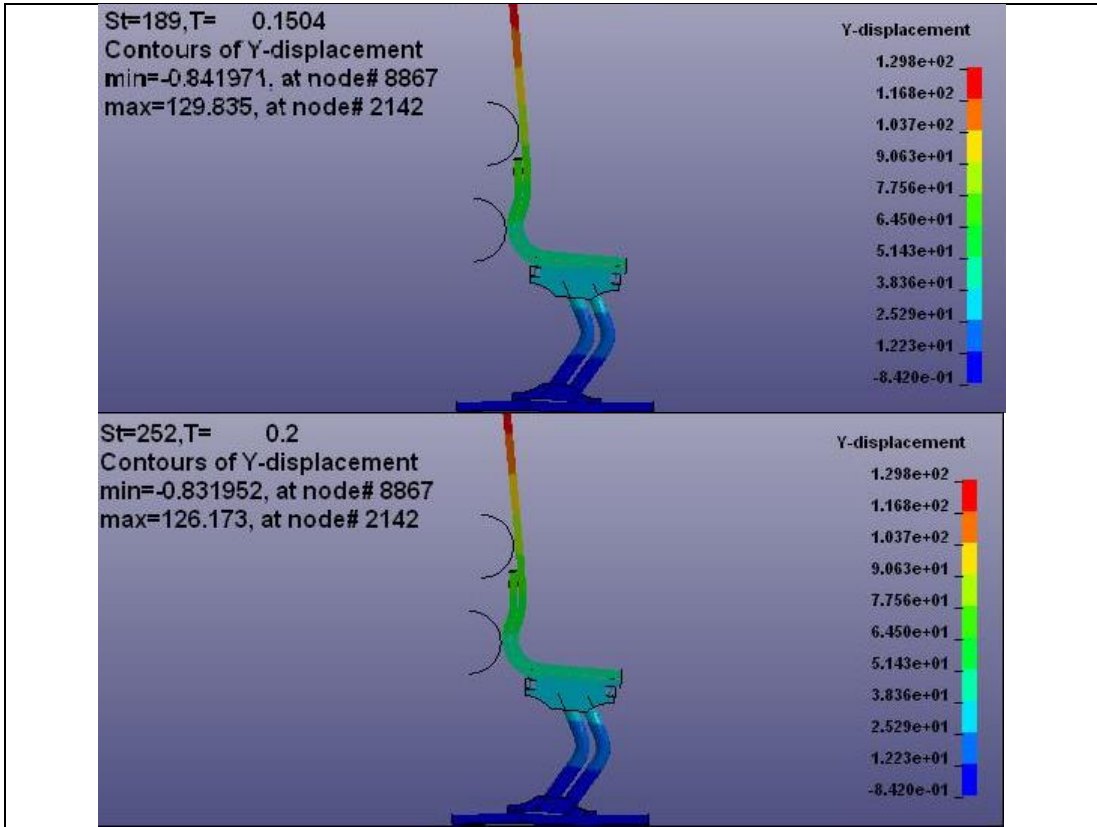
[Autor]

### 4.1.9.1.3. Simulación 3

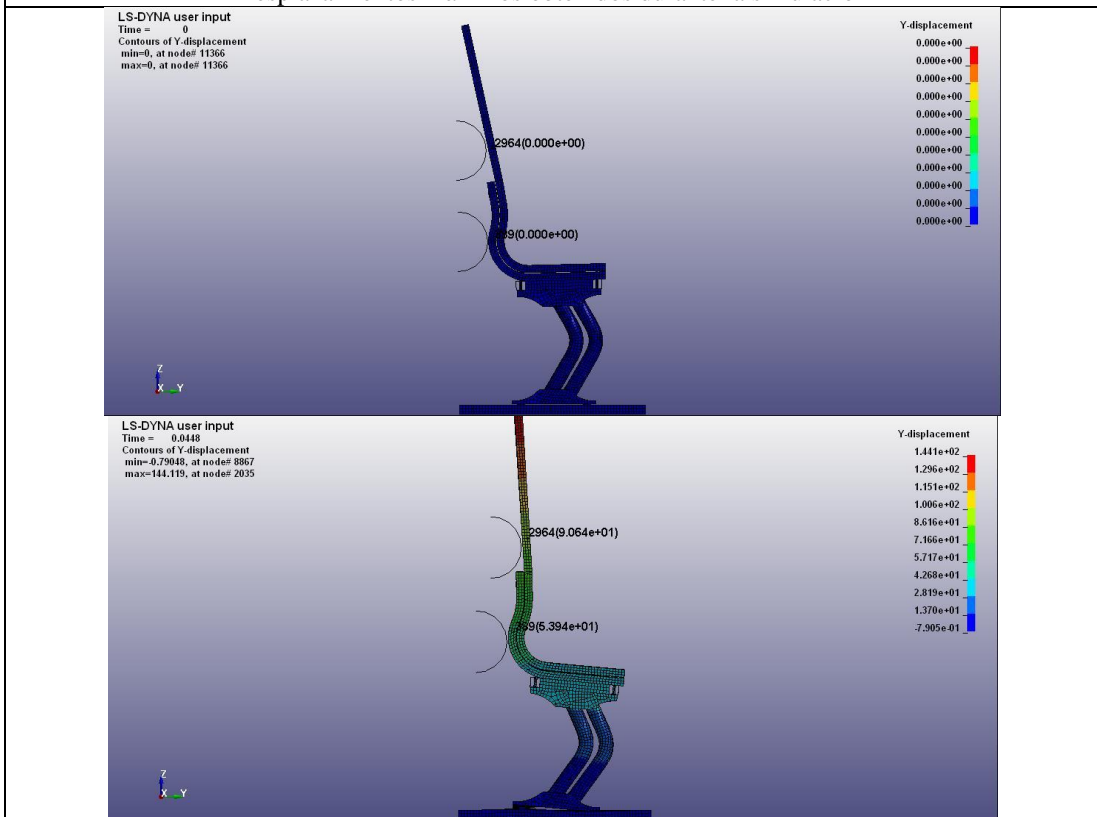
**Tabla IV.32:** Análisis de resultados de simulación 3, asiento con 3mm de espesor en tubo pata.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |                                |  |                  |                    |               |       |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------------|---------------|-------|
| Nº de simulación:  | 3                              | Asiento:  | Urbano una plaza |                    |               |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                  |                    |               |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1                 | F2            | H2    |
|  |                                |   | 1400 N           | 750mm              | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base        |                    | Tubo codo     |       |
|  | Espesor = 3mm                  |   | Espesor = 2mm    |                    | Espesor = 2mm |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                  |                    |               |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   |                  | LS-DYNA            |               |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   |                  | 4 nucleos          |               |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   |                  | 5 de Julio de 2018 |               |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                | 8h y 24min  |                  |                    |               |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.758073, at node# 8867<br/>           max=128.129, at node# 3667</p>  |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.753069, at node# 8868<br/>           max=126.041, at node# 3667</p>   |                                |   |                  |                    |               |       |





Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

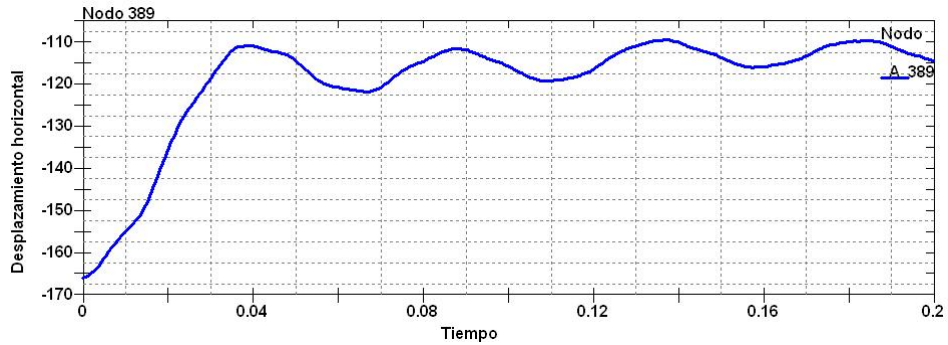


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

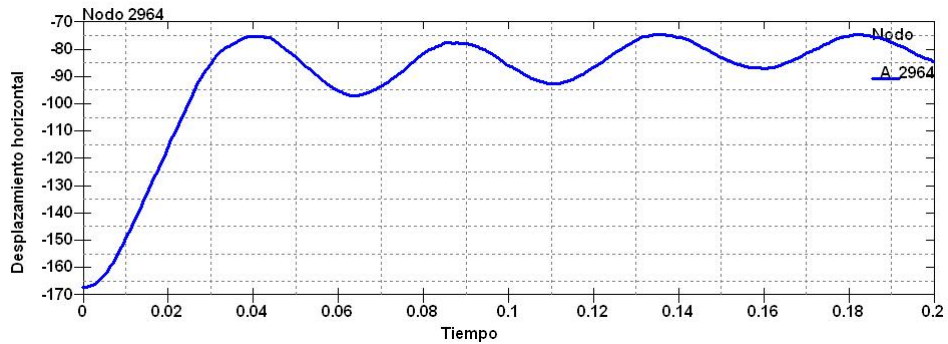
Cumple

[Autor]

## Resultados



**Fig. IV.22:** Curva deslocamiento nodo 389.  
[Autor]



**Fig. IV.23:** Curva desplazamiento nodo 2964.  
[Autor]

## Obtencion valores nodales máximos



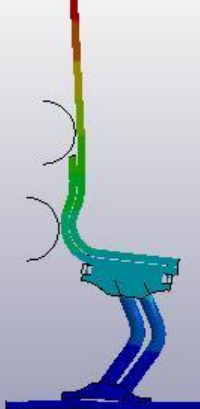
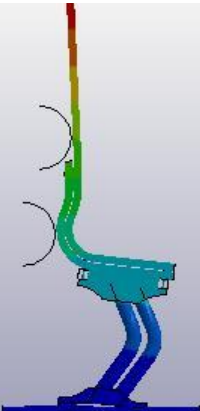
**Tabla IV.33:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 3.

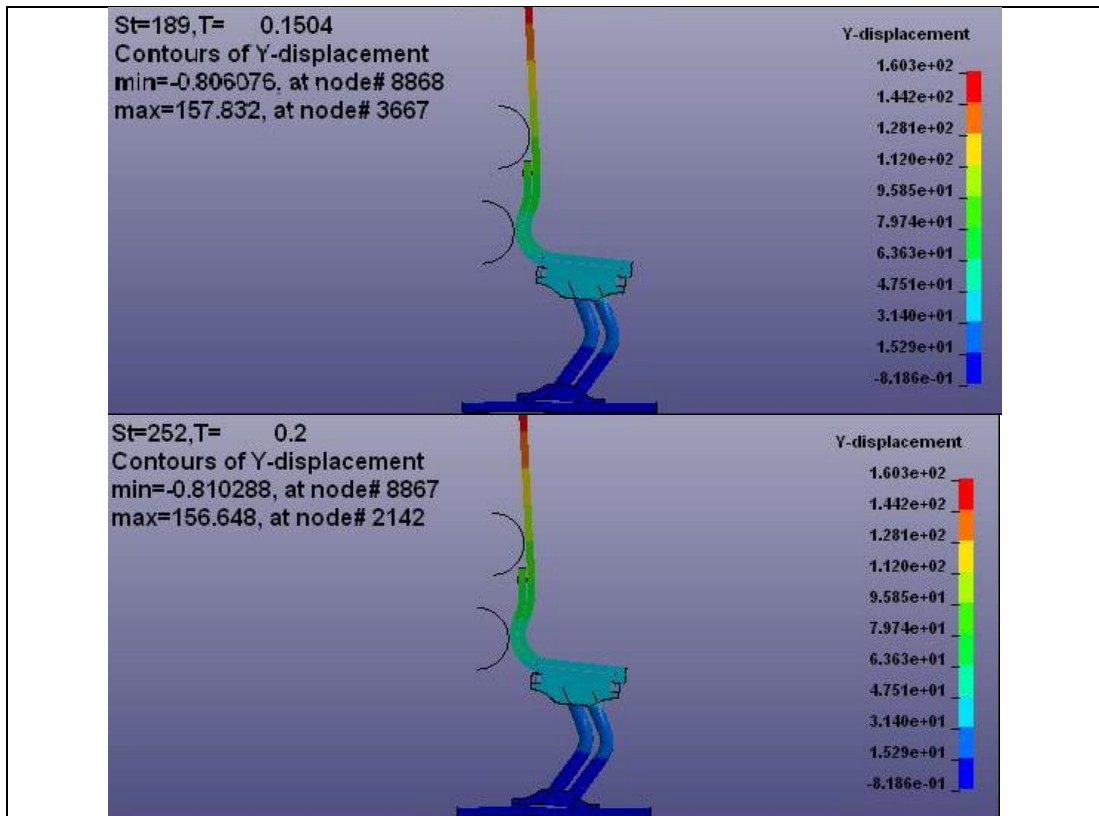
| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,287     | 2,613    |
| 11324                   | 0,394      | 10,68    |
| 8879                    | 0,067      | -3,668   |
| 8758                    | -0,11      | -4,203   |
| 11266                   | -0,066     | 2,834    |
| 11899                   | 19,05      | -8,672   |
| 297                     | 38,09      | 0,011    |
| 352                     | 39,57      | 10,83    |
| 389                     | 53,94      | 21,83    |
| 228                     | 77,59      | 20,78    |
| 2964                    | 90,64      | 19,17    |
| 3667                    | 142,3      | 26,26    |

[Autor]

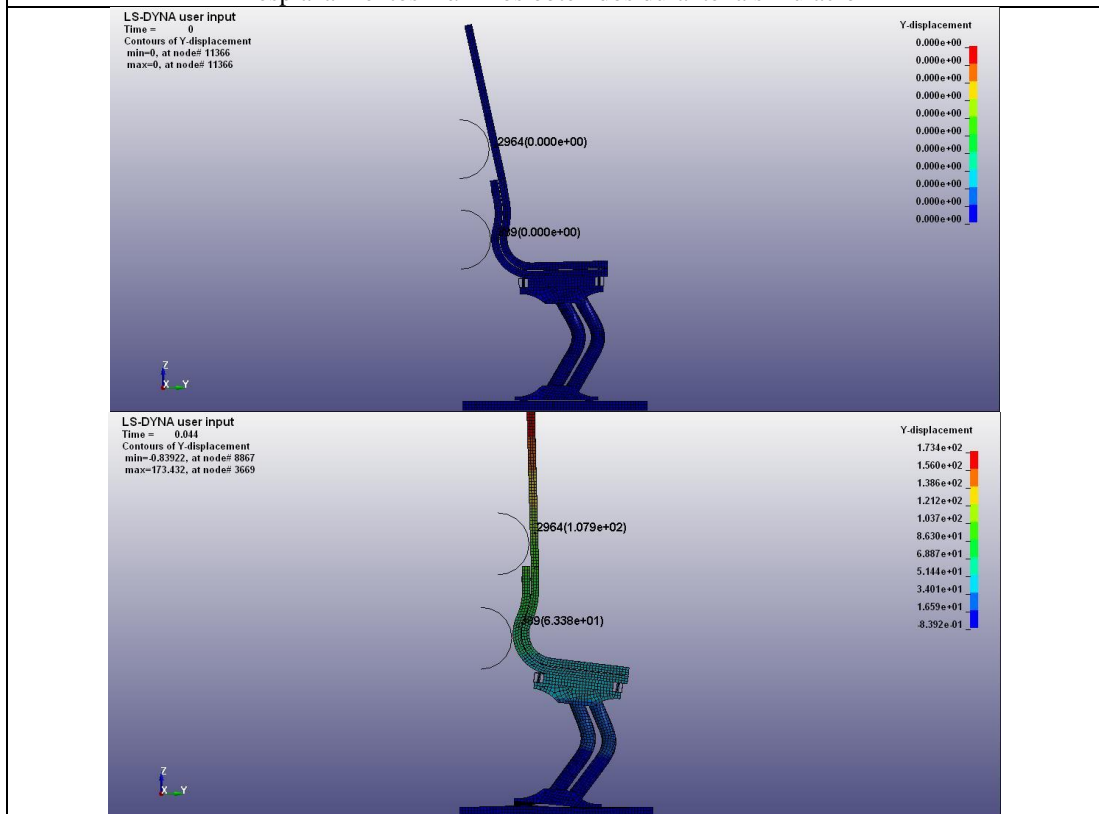
#### 4.1.9.1.4. Simulación 4

**Tabla IV.34:** Análisis de resultados de simulación 4, asiento con 1mm de espesor en tubo base.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>  |                                |  |                  |                    |               |       |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------------|---------------|-------|
| Nº de simulación:  | 4                              | Asiento:  | Urbano una plaza |                    |               |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                  |                    |               |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1                 | F2            | H2    |
|  |                                |   | 1400 N           | 750mm              | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base        |                    | Tubo codo     |       |
|  | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 1mm    |                    | Espesor = 2mm |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                  |                    |               |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   |                  | LS-DYNA            |               |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   |                  | 4 nucleos          |               |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   |                  | 5 de Julio de 2018 |               |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                | 8h y 12min  |                  |                    |               |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                  |                    |               |       |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>St=64,T= 0.0504<br/>Contours of Y-displacement<br/>min=-0.818618, at node# 8867<br/>max=158.684, at node# 2142</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 25%;"> <p>Y-displacement</p> <p>1.603e+02</p> <p>1.442e+02</p> <p>1.281e+02</p> <p>1.120e+02</p> <p>9.585e+01</p> <p>7.974e+01</p> <p>6.363e+01</p> <p>4.751e+01</p> <p>3.140e+01</p> <p>1.529e+01</p> <p>-8.186e-01</p> </div> </div><br><div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>St=126,T= 0.1<br/>Contours of Y-displacement<br/>min=-0.814795, at node# 8867<br/>max=160.291, at node# 2142</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 25%;"> <p>Y-displacement</p> <p>1.603e+02</p> <p>1.442e+02</p> <p>1.281e+02</p> <p>1.120e+02</p> <p>9.585e+01</p> <p>7.974e+01</p> <p>6.363e+01</p> <p>4.751e+01</p> <p>3.140e+01</p> <p>1.529e+01</p> <p>-8.186e-01</p> </div> </div> |                                |   |                  |                    |               |       |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

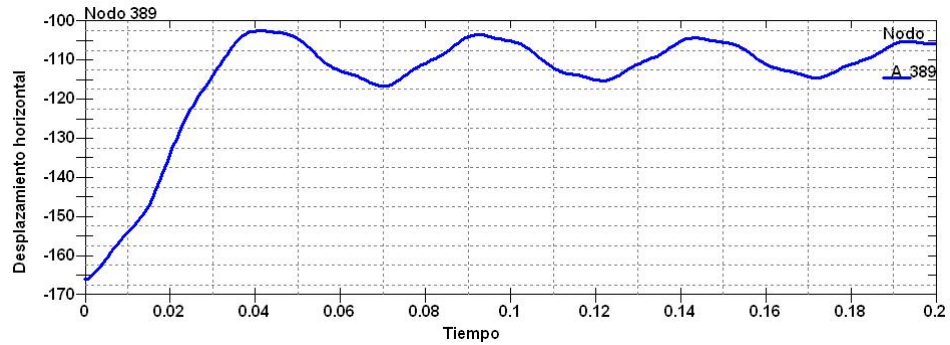


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

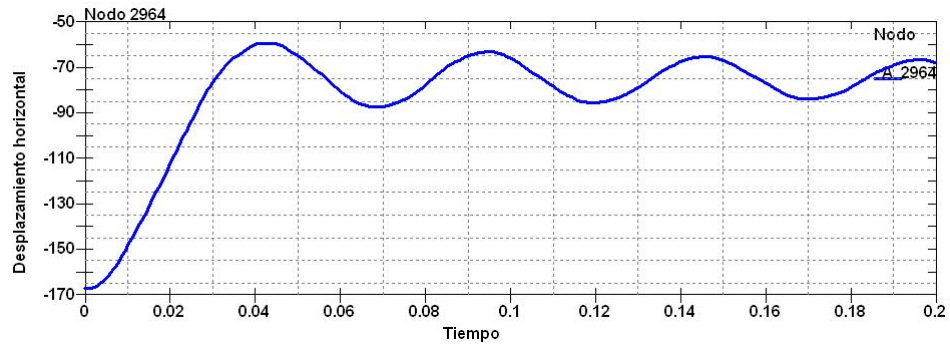
Cumple

[Autor]

## Resultados



**Fig. IV.24:** Curva deslocamiento nodo 389.  
[Autor]



**Fig. IV.25:** Curva desplazamiento nodo 2964.  
[Autor]

## Obtencion valores nodales máximos



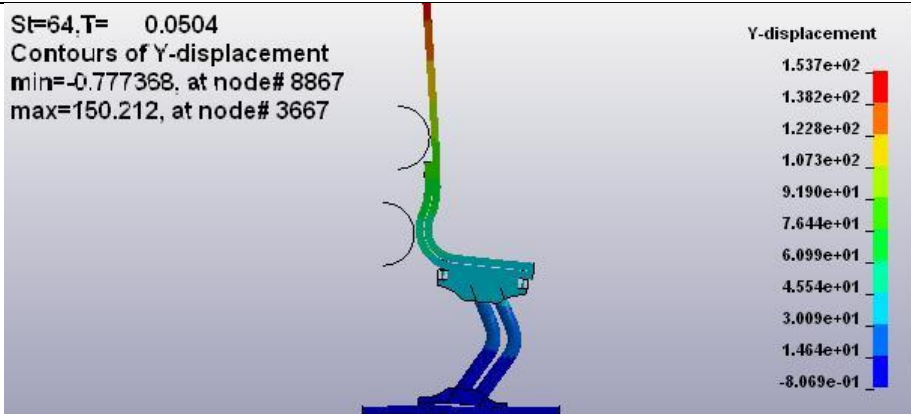
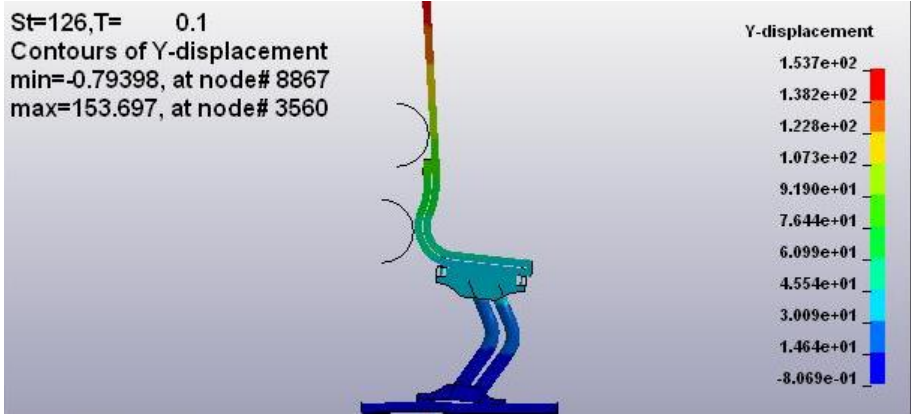
**Tabla IV.35:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 4

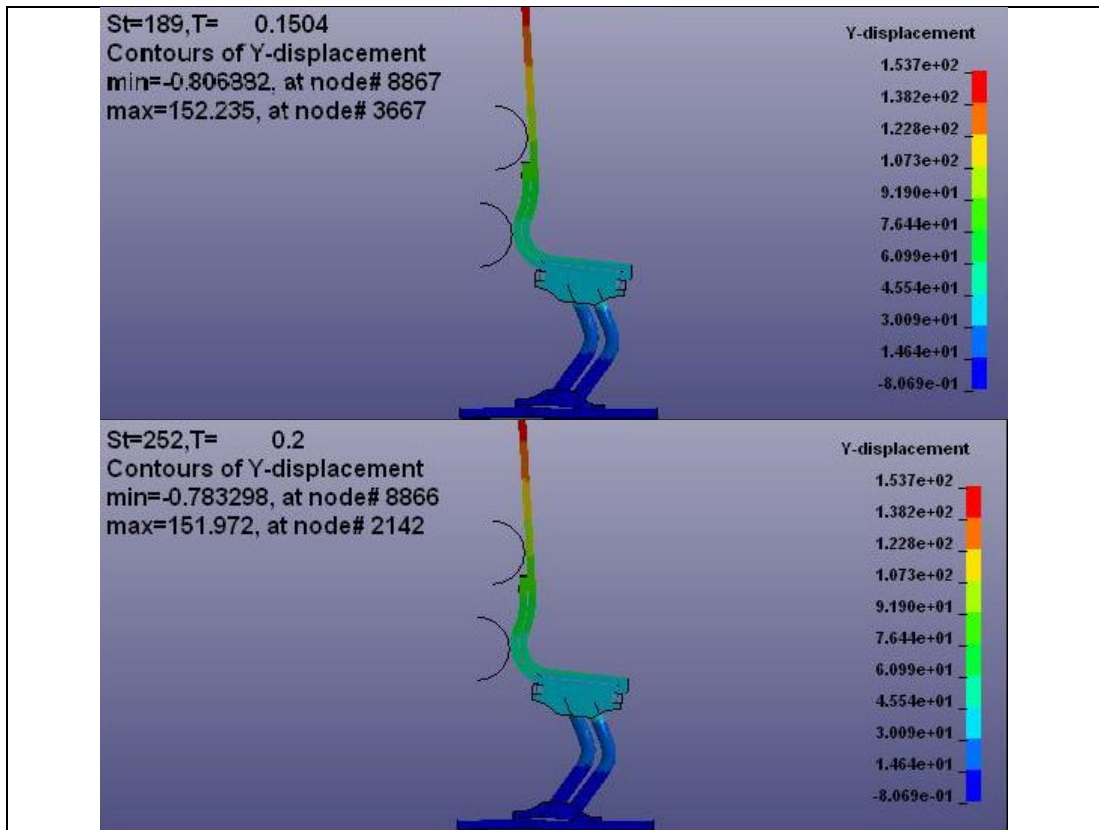
| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,027     | 3,193    |
| 11324                   | 0,438      | 11,54    |
| 8879                    | 0,02       | -3,444   |
| 8758                    | -0,126     | -3,988   |
| 11266                   | -0,074     | 3,394    |
| 11899                   | 21,52      | -9,596   |
| 297                     | 45,48      | 0,614    |
| 352                     | 46,25      | 13,73    |
| 389                     | 63,38      | 26,65    |
| 228                     | 90,58      | 25,13    |
| 2964                    | 107,9      | 23,11    |
| 3667                    | 173,4      | 29,83    |

[Autor]

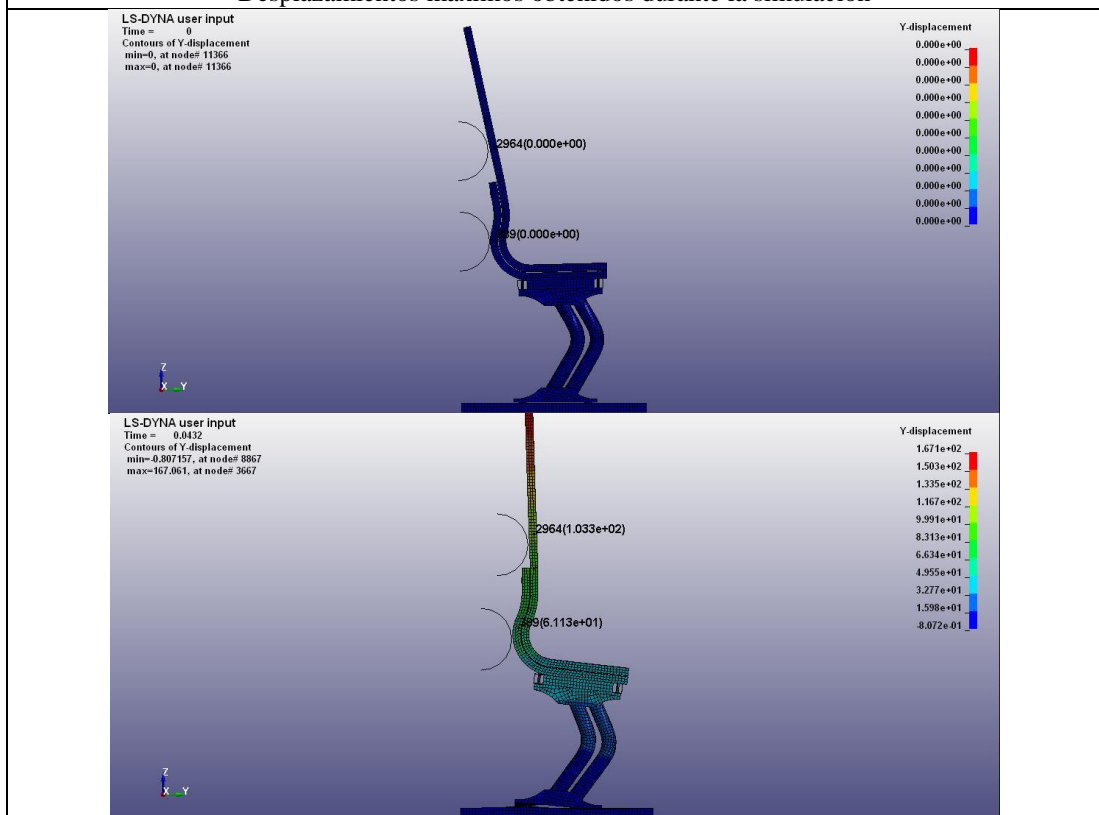
#### 4.1.9.1.5. Simulación 5

**Tabla IV.36:** Análisis de resultados de simulación 5, asiento con 2mm de espesor en tubo base.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |                                |  |                    |       |               |       |
|--|--------------------------------|---|--------------------|-------|---------------|-------|
| Nº de simulación:  | 5                              | Asiento:  | Urbano una plaza   |       |               |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                    |       |               |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1                 | H1    | F2            | H2    |
|  |                                |   | 1400 N             | 750mm | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base          |       | Tubo codo     |       |
|  | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm      |       | Espesor = 2mm |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                    |       |               |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   | LS-DYNA            |       |               |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   | 4 núcleos          |       |               |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   | 5 de Julio de 2018 |       |               |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                | 8h y 23min  |                    |       |               |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                    |       |               |       |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.777368, at node# 8867<br/>           max=150.212, at node# 3667</p>  |                                |   |                    |       |               |       |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.79398, at node# 8867<br/>           max=153.697, at node# 3560</p>    |                                |   |                    |       |               |       |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

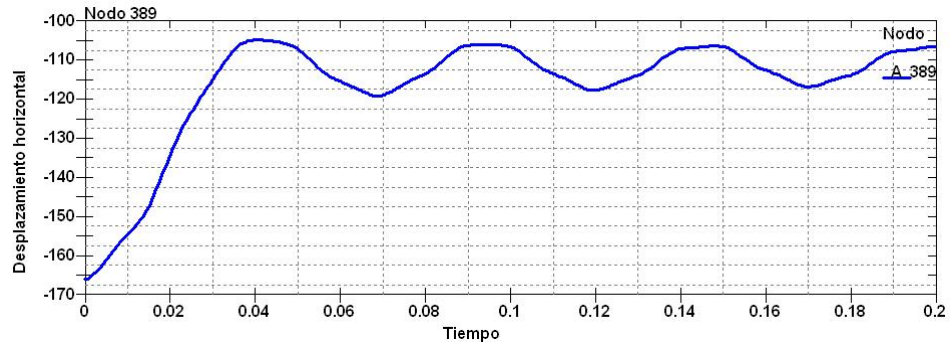


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

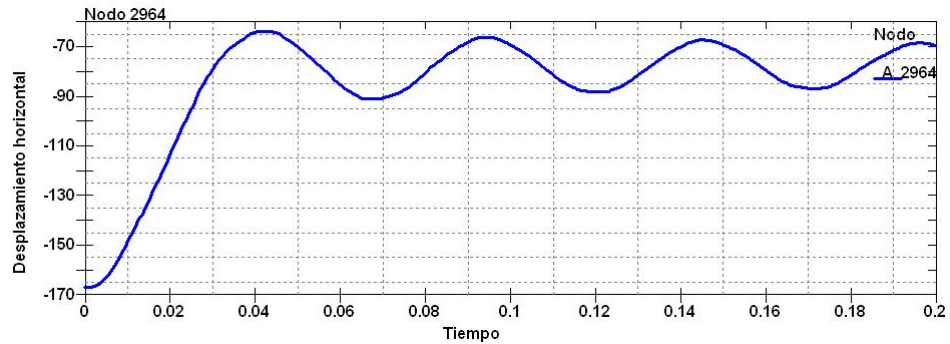
Cumple

[Autor]

## Resultados



**Fig. IV.26:** Curva deslocamiento nodo 389.  
[Autor]



**Fig. IV.27:** Curva desplazamiento nodo 2964.  
[Autor]

## Obtencion valores nodales máximos

**Tabla IV.37:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 5.



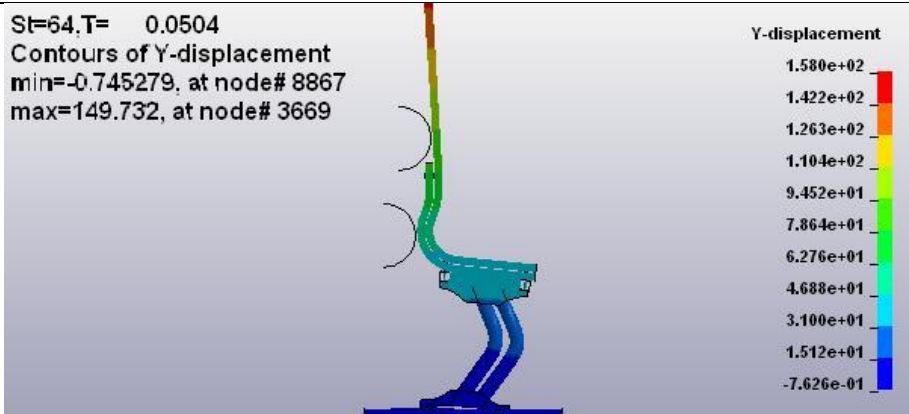
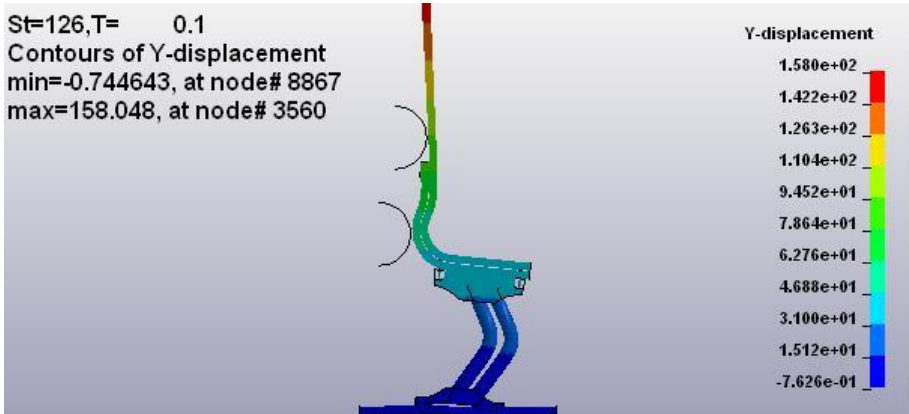
| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,263     | 3,005    |
| 11324                   | 0,413      | 11,17    |
| 8879                    | 0,024      | -3,413   |
| 8758                    | -0,113     | -3,956   |
| 11266                   | -0,068     | 3,232    |
| 11899                   | 20,92      | -9,341   |
| 297                     | 43,82      | 0,595    |
| 352                     | 44,52      | 13,24    |
| 389                     | 61,13      | 25,77    |
| 228                     | 88,07      | 24,28    |
| 2964                    | 103,3      | 22,29    |
| 3667                    | 167,1      | 29,5     |

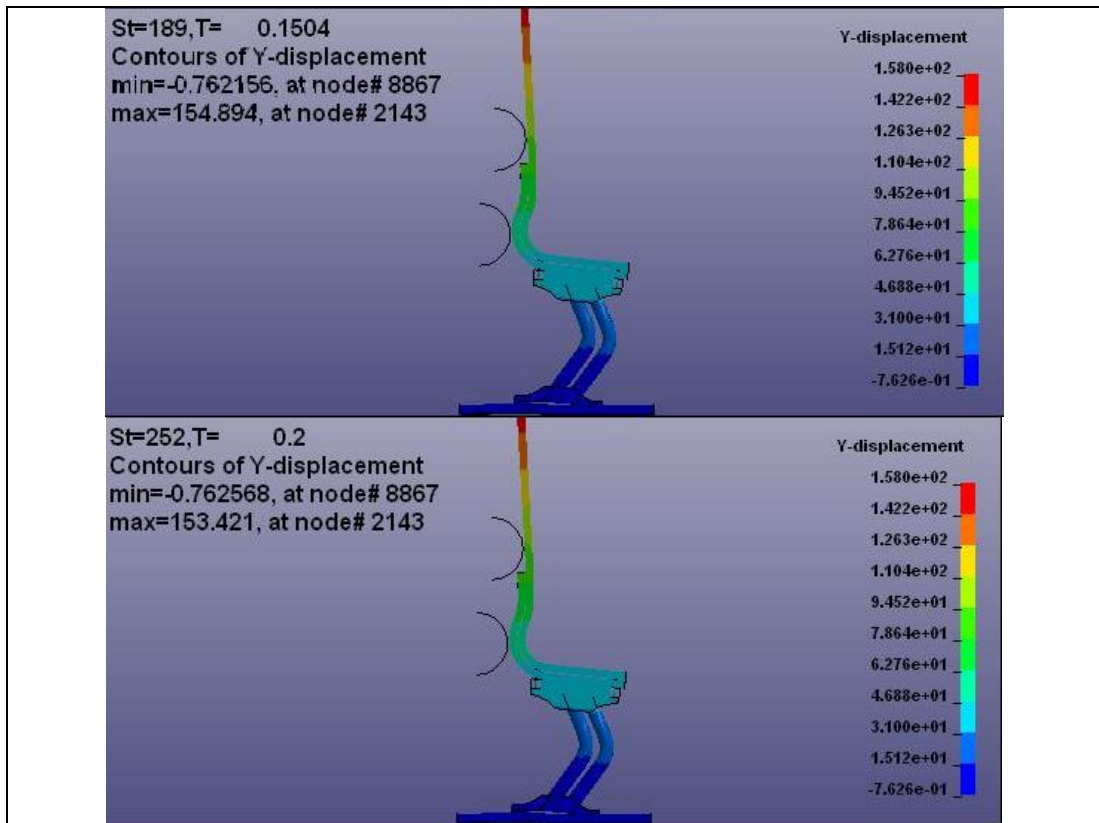
[Autor]



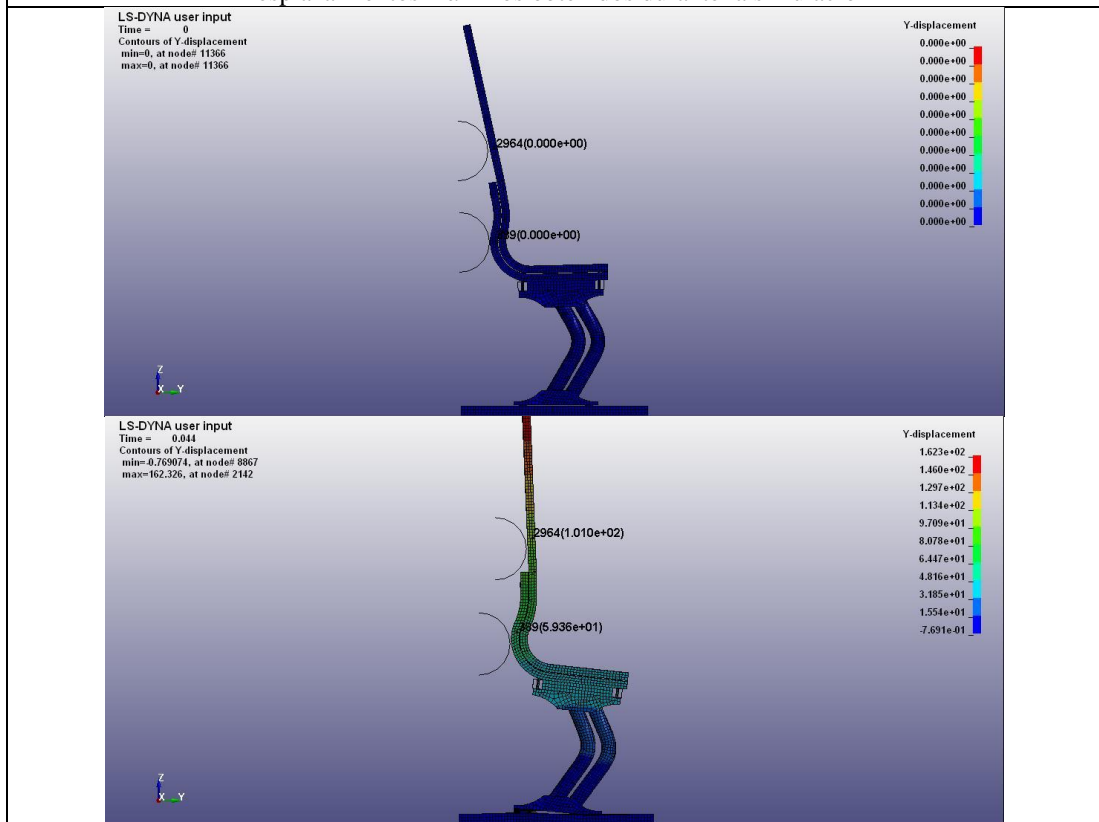
#### 4.1.9.1.6. Simulación 6

**Tabla IV.38:** Análisis de resultados de simulación 6, asiento con 3mm de espesor en tubo base.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |                                |  |                  |                    |               |       |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------------|---------------|-------|
| Nº de simulación:  | 6                              | Asiento:  | Urbano una plaza |                    |               |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                  |                    |               |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1                 | F2            | H2    |
|  |                                |   | 1400 N           | 750mm              | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base        |                    | Tubo codo     |       |
|  | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 3mm    |                    | Espesor = 2mm |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                  |                    |               |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   |                  | LS-DYNA            |               |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   |                  | 4 nucleos          |               |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   |                  | 5 de Julio de 2018 |               |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                | 8h y 15min  |                  |                    |               |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.745279, at node# 8867<br/>           max=149.732, at node# 3669</p>  |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.744643, at node# 8867<br/>           max=158.048, at node# 3560</p>   |                                |   |                  |                    |               |       |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

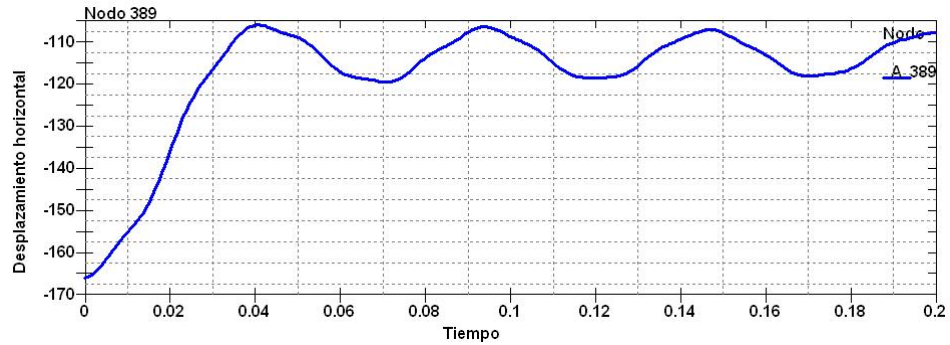


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

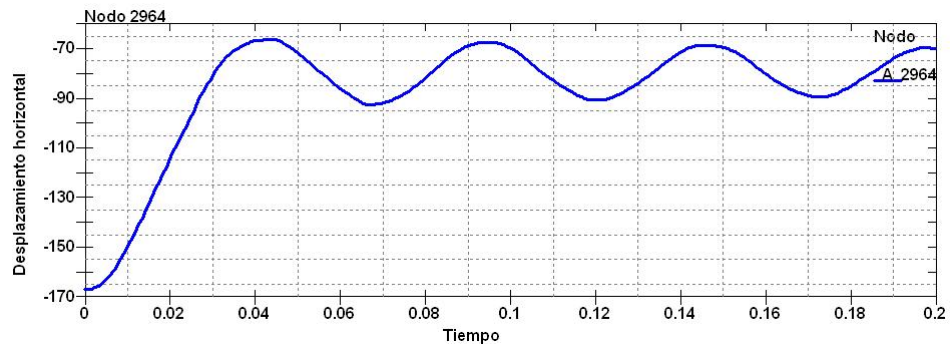
Cumple

[Autor]

## Resultados



**Fig. IV.28:** Curva deslocamiento nodo 389.  
[Autor]



**Fig. IV.29:** Curva desplazamiento nodo 2964.  
[Autor]

## Obtencion valores nodales máximos



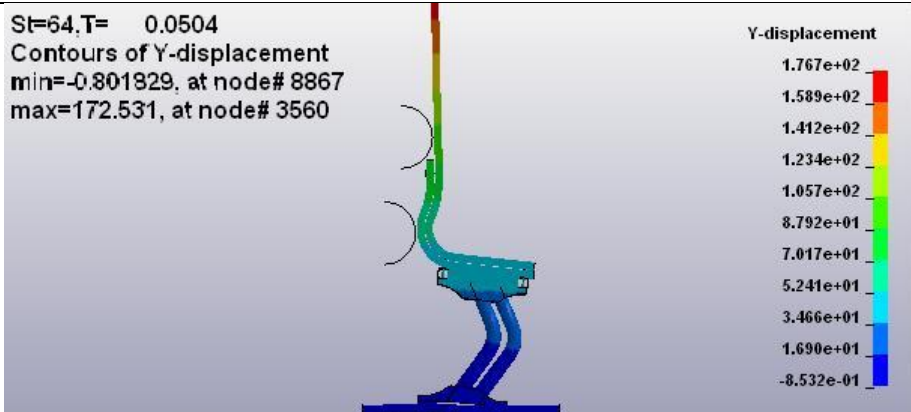
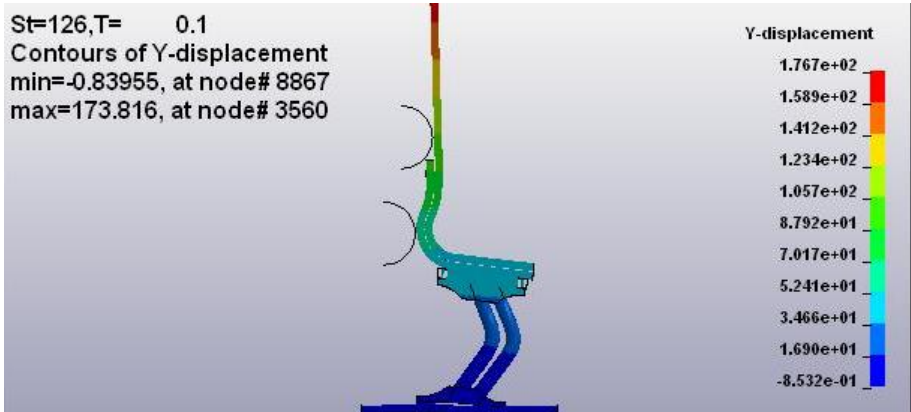
**Tabla IV.39:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 6.

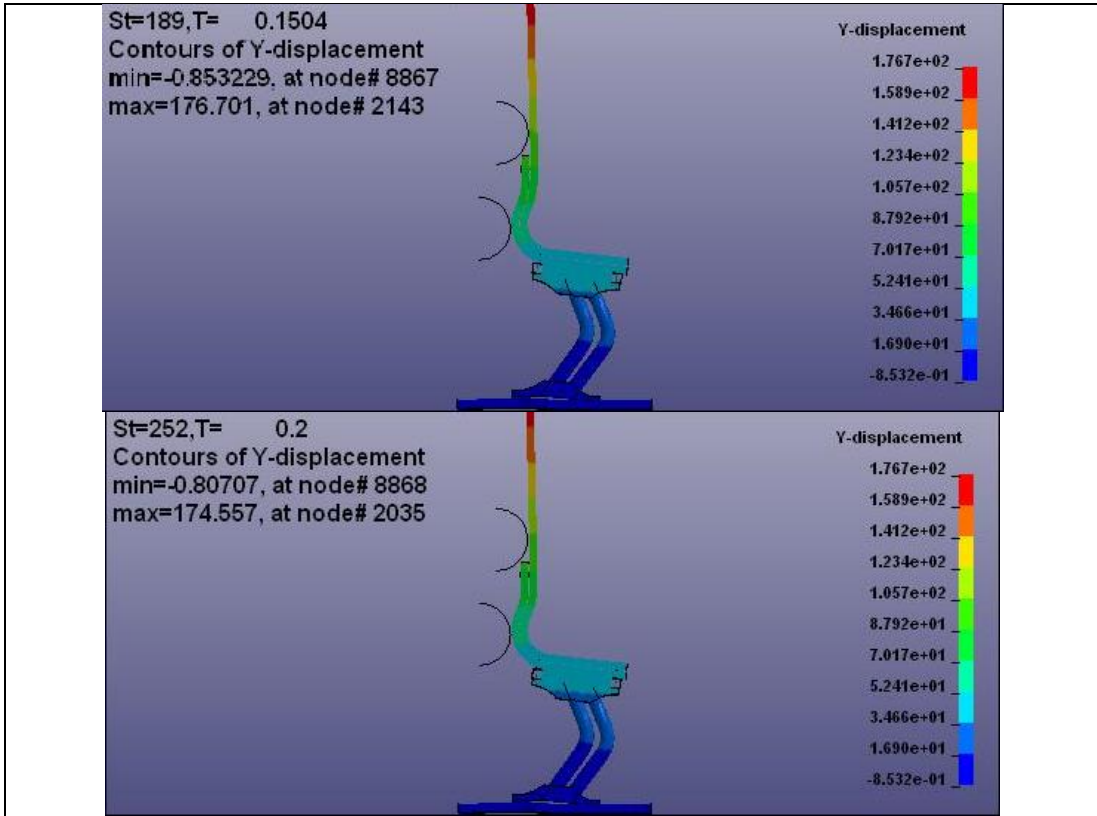
| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,257     | 2,813    |
| 11324                   | 0,391      | 10,89    |
| 8879                    | 0,029      | -3,305   |
| 8758                    | -0,112     | -3,846   |
| 11266                   | -0,07      | 3,152    |
| 11899                   | 20,34      | -9,039   |
| 297                     | 42,28      | 0,637    |
| 352                     | 42,94      | 12,98    |
| 389                     | 59,36      | 25,39    |
| 228                     | 86         | 23,94    |
| 2964                    | 101        | 21,96    |
| 3667                    | 161,1      | 28,92    |

[Autor]

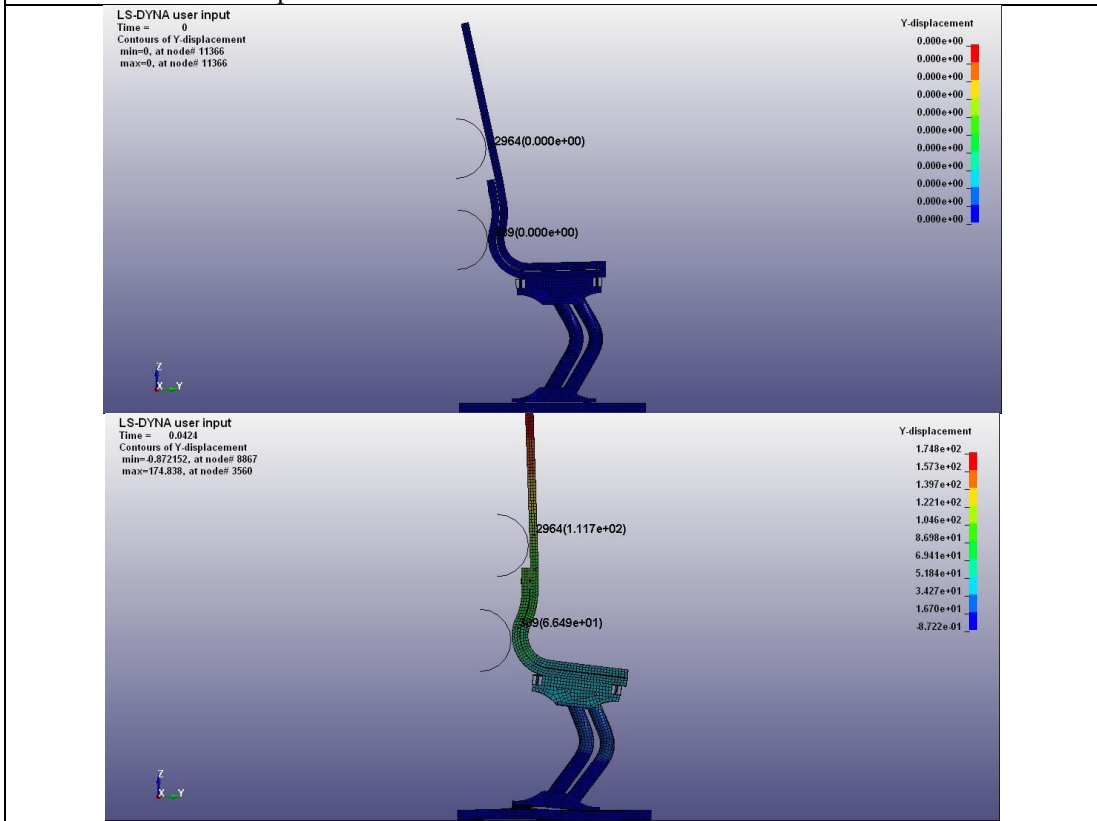
#### 4.1.9.1.7. Simulación 7

**Tabla IV.40:** Análisis de resultados de simulación 7, asiento con 1mm de espesor en tubo codo.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |   |  |                    |
|--|---|---|--------------------|
| Nº de simulación:  | 7   | Asiento:  | Urbano una plaza   |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                             |   |                    |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga:<br>0,2 seg | F1  | H1                 |
|  |   | 1400 N  | 750mm              |
| Variación en geometría   | Tubo pata                                 | Tubo base   | Tubo codo          |
|  | Espesor = 2mm                             | Espesor = 2mm   | Espesor = 1mm      |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita                        |   |                    |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                                | LS-DYNA   |                    |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz                     | 16 GB Ram   | 4 nucleos          |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores                       | Fecha :   | 5 de Julio de 2018 |
| Tiempo de procesamiento  |   | 8h y 22min  |                    |
| Resultados de simulación   |   |   |                    |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.801829, at node# 8867<br/>           max=172.531, at node# 3560</p>  |   |   |                    |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.83955, at node# 8867<br/>           max=173.816, at node# 3560</p>    |   |   |                    |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

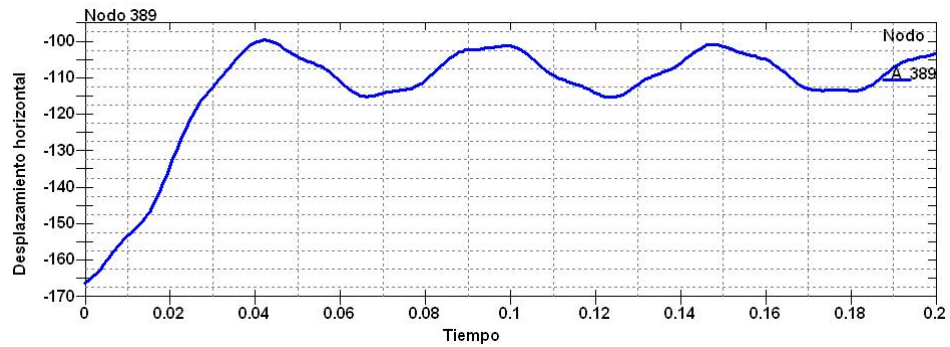


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

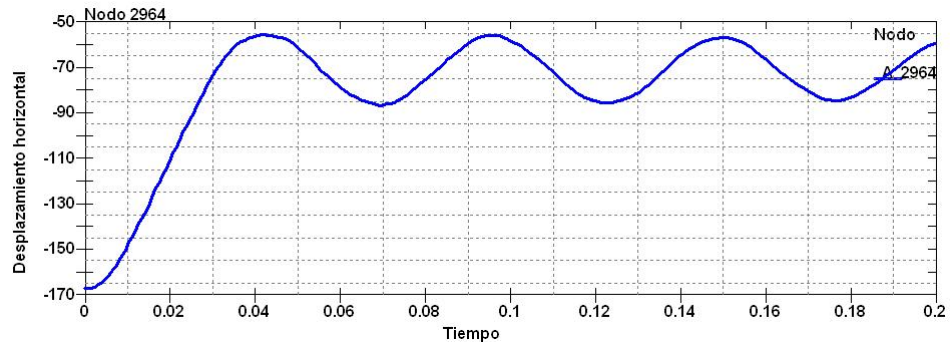
Cumple

[Autor]

## Resultados



**Fig. IV.30:** Curva desplazamiento nodo 389.  
[Autor]



**Fig. IV.31:** Curva desplazamiento nodo 2964.  
[Autor]

## Obtencion valores nodales máximos



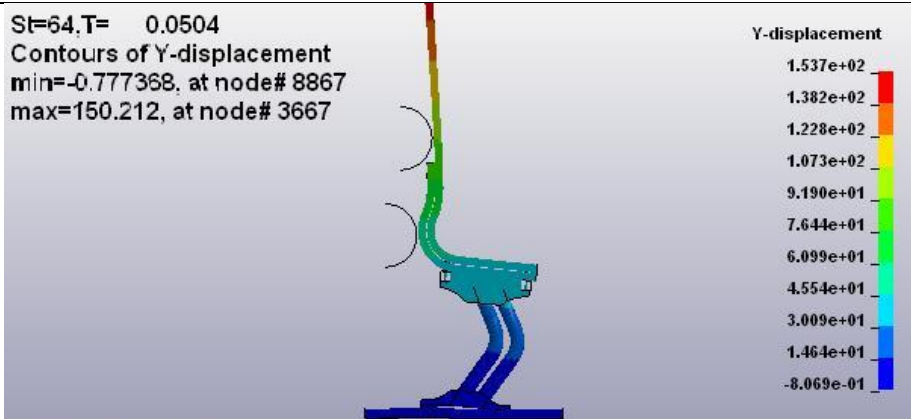
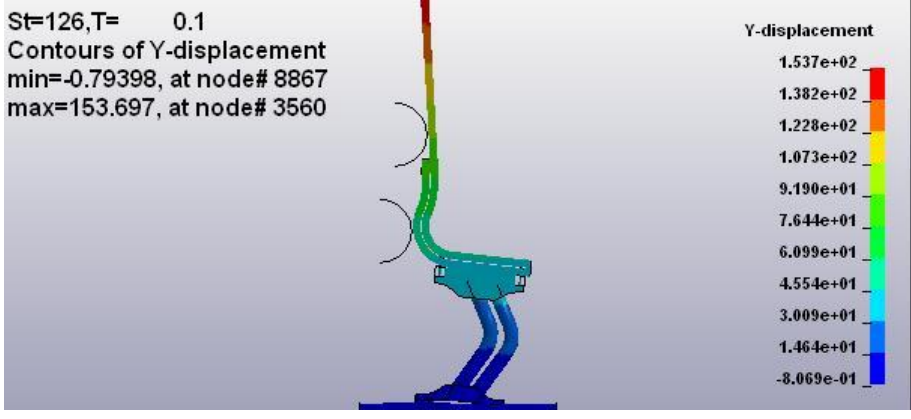
**Tabla IV.41:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 7.

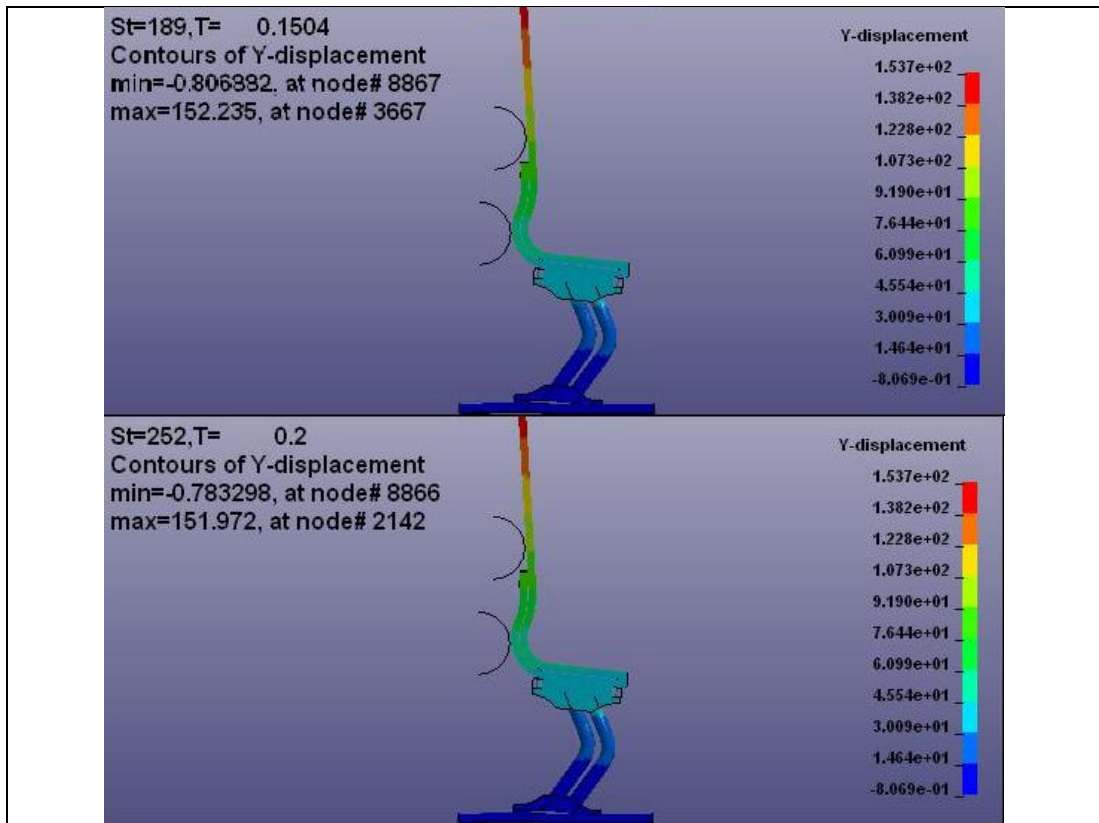
| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,249     | 3,68     |
| 11324                   | 0,469      | 12,18    |
| 8879                    | -0,024     | -3,25    |
| 8758                    | -0,132     | -3,8     |
| 11266                   | -0,065     | 3,815    |
| 11899                   | 22,25      | -9,676   |
| 297                     | 47,9       | 0,995    |
| 352                     | 48,65      | 14,61    |
| 389                     | 66,49      | 27,85    |
| 228                     | 95,02      | 26,12    |
| 2964                    | 111,7      | 23,77    |
| 3667                    | 174,8      | 29,37    |

[Autor]

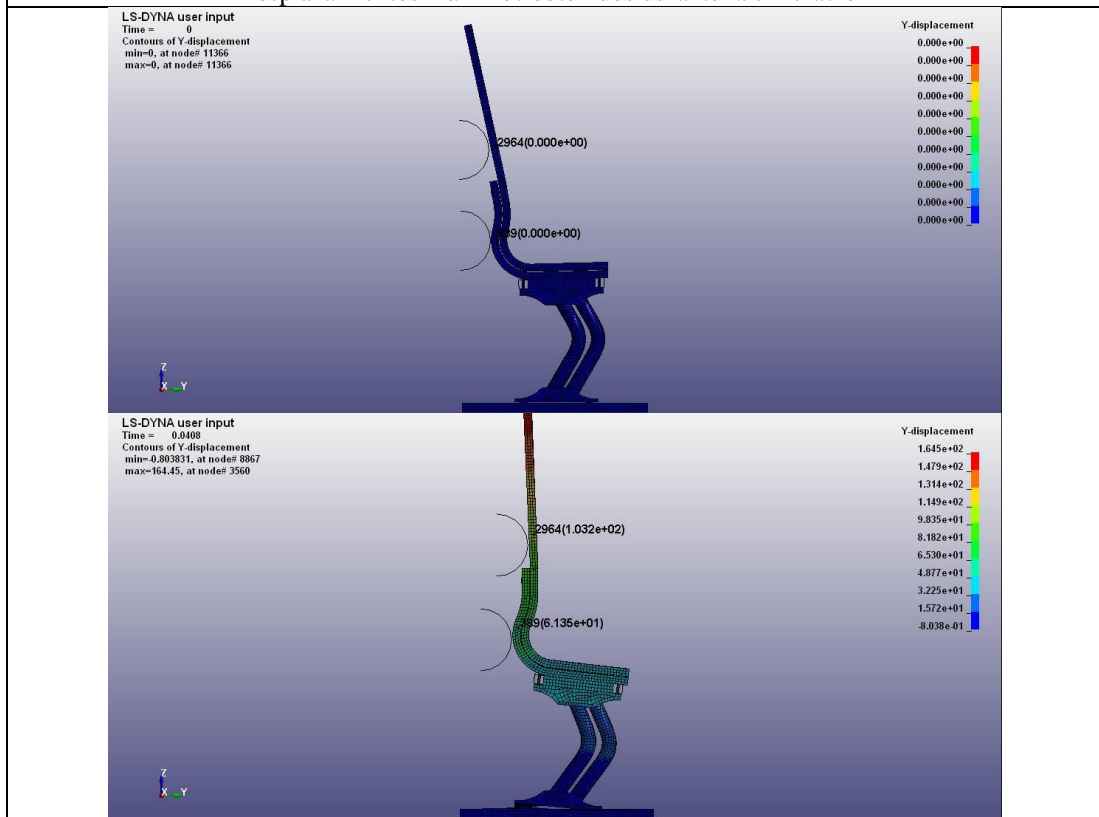
### 4.1.9.1.8. Simulación 8

**Tabla IV.42:** Análisis de resultados de simulación 8, asiento con 2mm de espesor en tubo codo.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |                                |  |                  |                    |               |       |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------------|---------------|-------|
| Nº de simulación:  | 8                              | Asiento:  | Urbano una plaza |                    |               |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                  |                    |               |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1                 | F2            | H2    |
|  |                                |   | 1400 N           | 750mm              | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base        |                    | Tubo codo     |       |
|  | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm    |                    | Espesor = 2mm |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                  |                    |               |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   |                  | LS-DYNA            |               |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   |                  | 4 nucleos          |               |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   |                  | 5 de Julio de 2018 |               |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                | 8h y 12min  |                  |                    |               |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.777368, at node# 8867<br/>           max=150.212, at node# 3667</p>  |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.79398, at node# 8867<br/>           max=153.697, at node# 3560</p>    |                                |   |                  |                    |               |       |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación



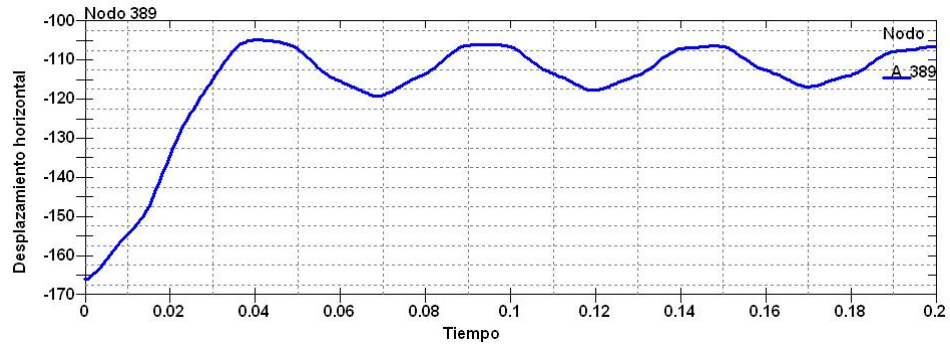
Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

Cumple

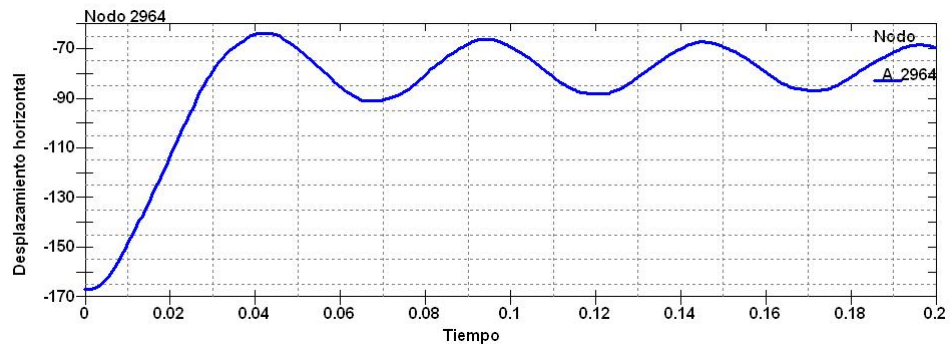
[Autor]



## Resultados



**Fig. IV.32:** Curva deslocamiento nodo 389.  
[Autor]



**Fig. IV.33:** Curva desplazamiento nodo 2964.  
[Autor]

## Obtencion valores nodales máximos



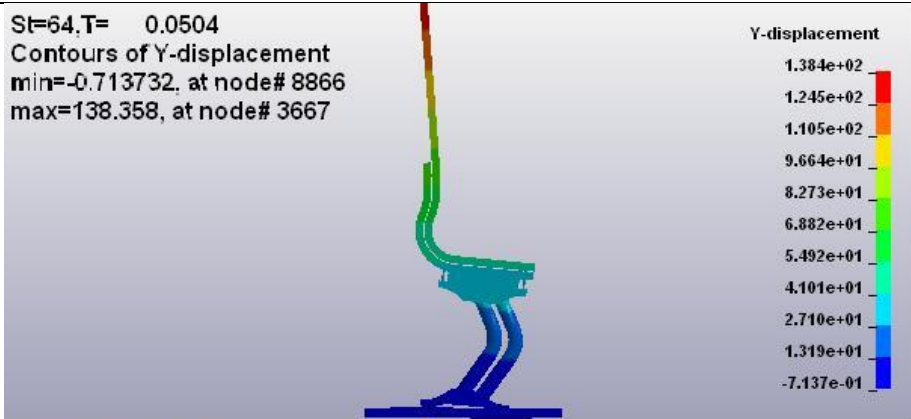
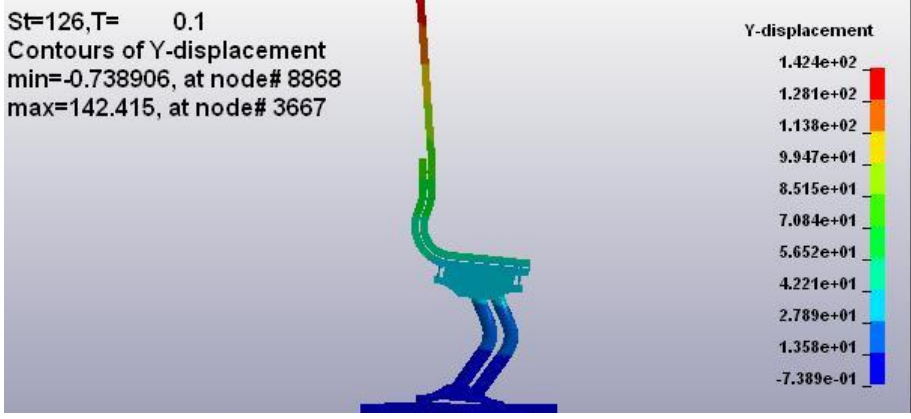
**Tabla IV.43:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 8.

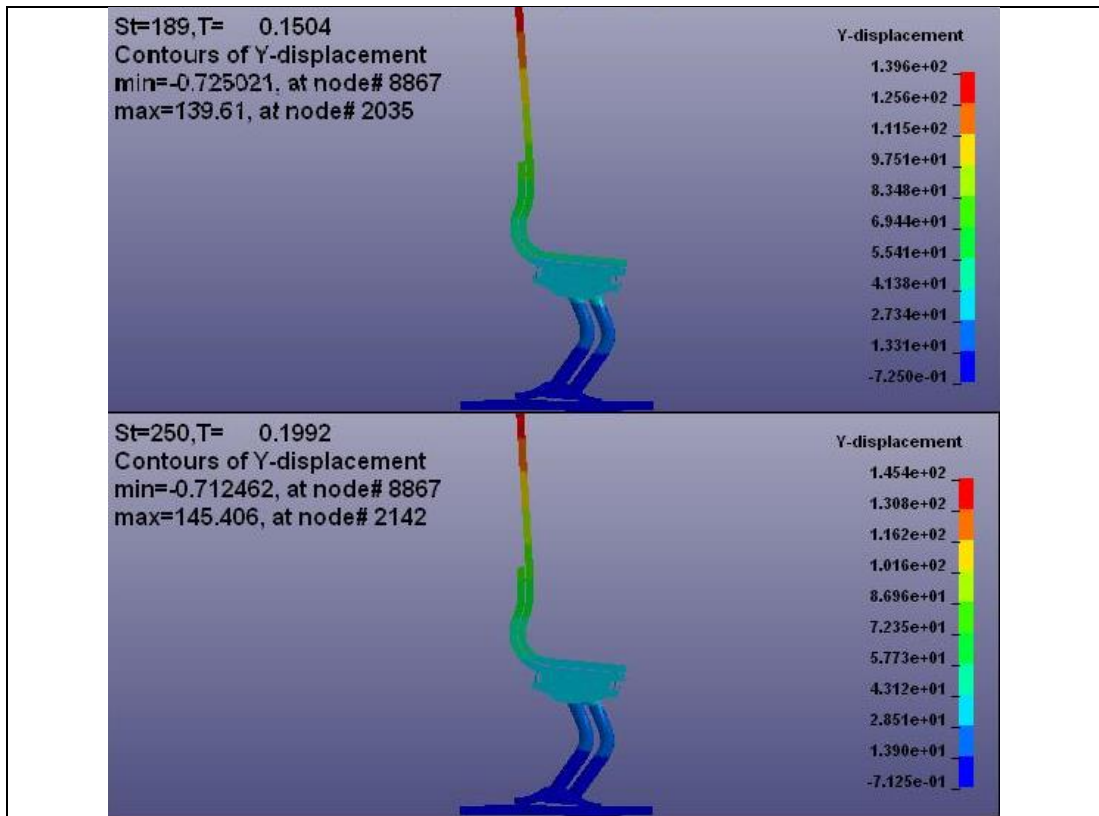
| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,273     | 2,887    |
| 11324                   | 0,411      | 11,07    |
| 8879                    | 0,032      | -3,492   |
| 8758                    | -0,123     | -4,032   |
| 11266                   | -0,074     | 3,142    |
| 11899                   | 20,97      | -9,463   |
| 297                     | 44         | 0,513    |
| 352                     | 44,7       | 13,21    |
| 389                     | 61,35      | 25,77    |
| 228                     | 88,24      | 24,28    |
| 2964                    | 103,2      | 22,29    |
| 3667                    | 164,4      | 29,44    |

[Autor]

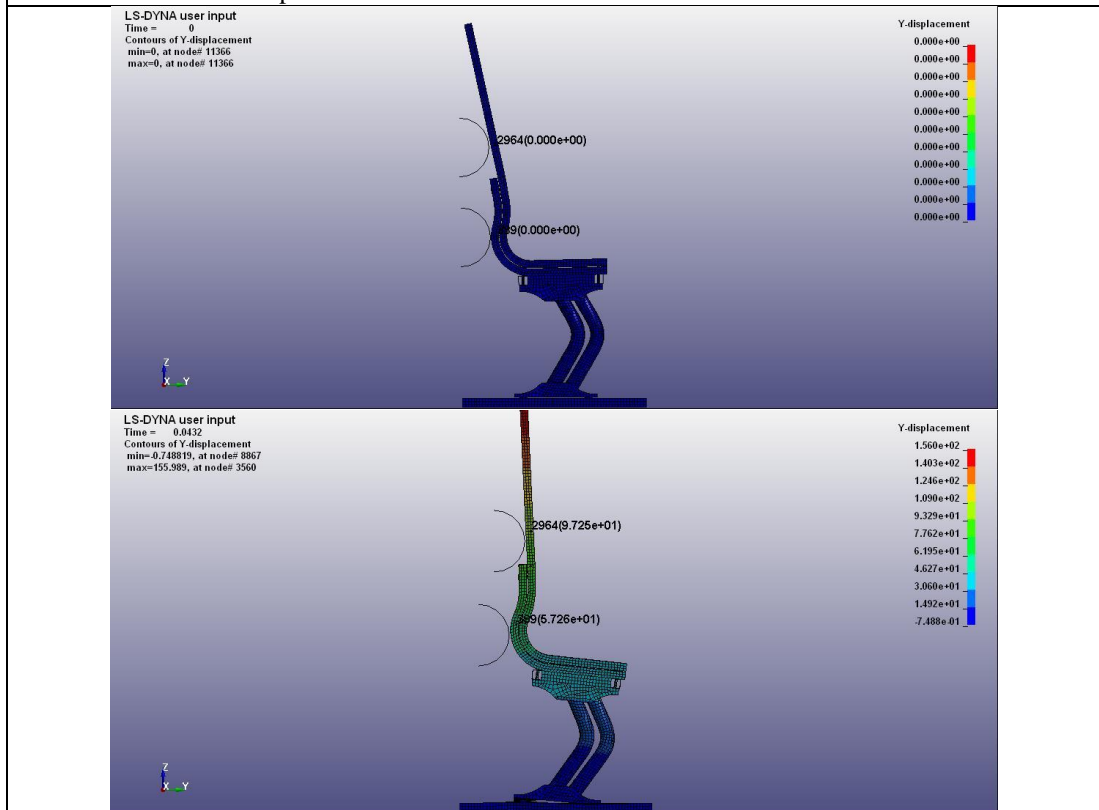
### 4.1.9.1.9. Simulación 9

**Tabla IV.44:** Análisis de resultados de simulación 9, asiento con 3mm de espesor en tubo codo.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>                          |                                |  |                  |                    |               |       |
|--|--------------------------------|---|------------------|--------------------|---------------|-------|
| Nº de simulación:  | 9                              | Asiento:  | Urbano una plaza |                    |               |       |
| Normativa:   | NTE INEN 2708                  |   |                  |                    |               |       |
| Características de la simulación   | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1               | H1                 | F2            | H2    |
|  |                                |   | 1400 N           | 750mm              | 4000 N        | 500mm |
| Variación en geometría   | Tubo pata                      |   | Tubo base        |                    | Tubo codo     |       |
|  | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm    |                    | Espesor = 3mm |       |
| Tipo de análisis:  | Dinámica explícita             |   |                  |                    |               |       |
| Software utilizado   | ANSYS V.19                     |   |                  | LS-DYNA            |               |       |
| Ordenador  | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   |                  | 4 nucleos          |               |       |
| Elaborado por:   | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   |                  | 5 de Julio de 2018 |               |       |
| Tiempo de procesamiento  |                                | 8h y 21 min   |                  |                    |               |       |
| Resultados de simulación   |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=64,T= 0.0504<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.713732, at node# 8866<br/>           max=138.358, at node# 3667</p>  |                                |   |                  |                    |               |       |
| <p>St=126,T= 0.1<br/>           Contours of Y-displacement<br/>           min=-0.738906, at node# 8868<br/>           max=142.415, at node# 3667</p>   |                                |   |                  |                    |               |       |



Desplazamientos máximos obtenidos durante la simulación

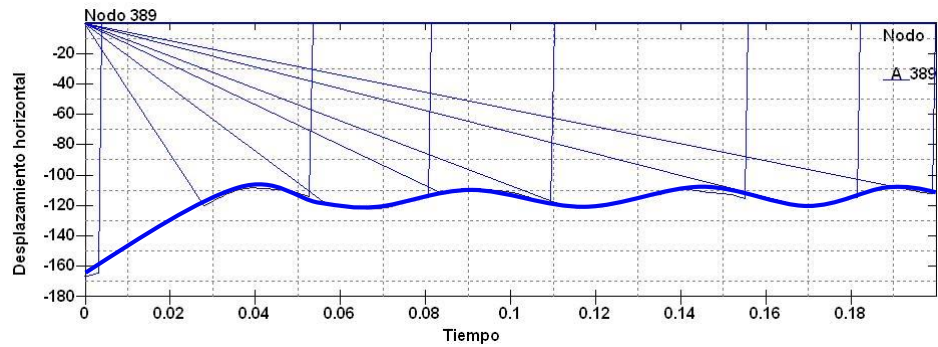


Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1].

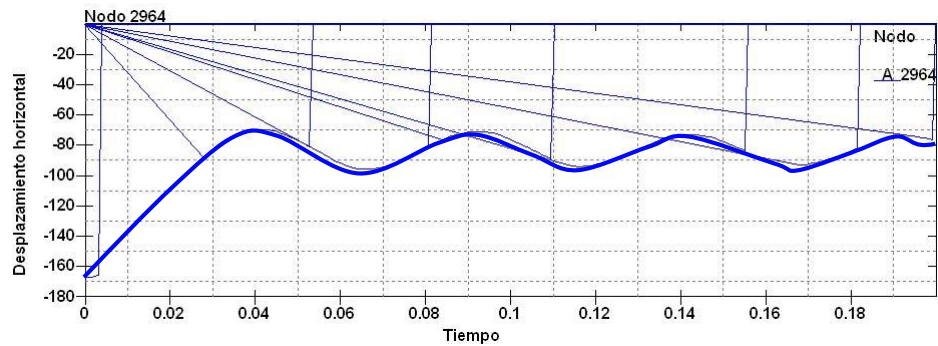
Cumple

[Autor]

## Resultados



**Fig. IV.34:** Curva deslocamento nó 389.  
[Autor]



**Fig. IV.35:** Curva deslocamento nó 2964.  
[Autor]

## Obtencion valores nodales máximos

**Tabla IV.45:** Resumen desplazamientos horizontales y verticales de simulación 9.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| # Nodo                  | Horizontal | Vertical |
| 8856                    | -0,2501    | 2,684    |
| 11324                   | 0,3763     | 10,54    |
| 8879                    | 0,0164     | -3,276   |
| 8758                    | -0,1073    | -3,816   |
| 11266                   | -0,0694    | 3,015    |
| 11899                   | 19,88      | -8,838   |
| 297                     | 41,24      | 0,622    |
| 352                     | 41,86      | 12,53    |
| 389                     | 57,26      | 24,33    |
| 228                     | 81,95      | 23,13    |
| 2964                    | 97,25      | 21,46    |
| 3667                    | 156        | 28,68    |

[Autor]

#### 4.1.9.2. Resultados obtenidos mediante Metamodelo de simulación.

A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos mediante el modelo simplificado, su cálculo se lo realizó mediante la herramienta computacional software de procesamiento matricial.

Una vez obtenidos los resultados aplicando las cargas correspondientes se verificará los desplazamientos de los nodos 9 y 11 donde tuvieron lugar las fuerzas en dirección horizontal, finalmente los datos serán presentados en una tabla para cada uno de los casos.

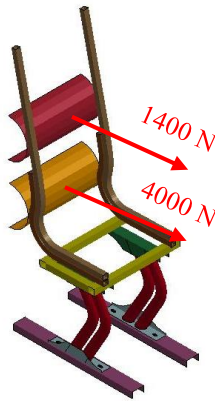


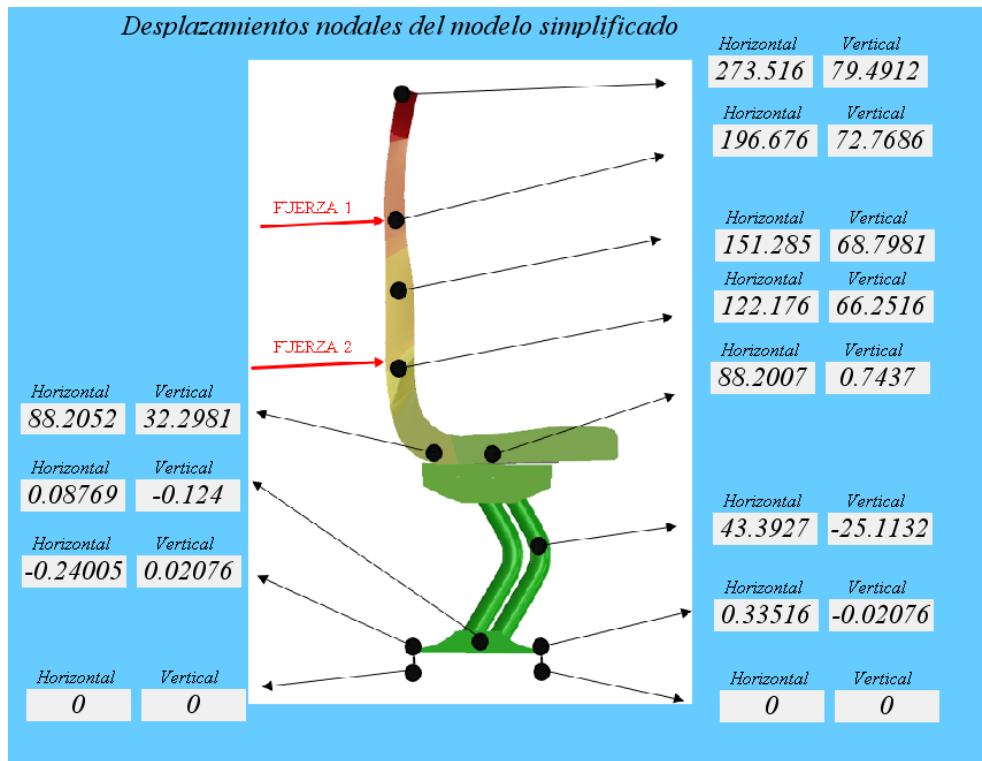
Fig. IV.36: Disposición de cargas en asiento de autobús urbano.  
[Autor]

#### 4.1.9.2.1. Resultados metamodelo de simulación 1

Tabla IV.46: Análisis de metamodelo de simulación 1, asiento con 1mm de espesor en tubo pata.

|  |                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |               |          |                    |  |  |
|---|--------------------------------|---|---------------|----------|--------------------|---|--|
| N° de simulación por metamodelo:  |                                | 1   |               | Asiento: |                    | Urbano una plaza  |  |
| Normativa:  |                                | NTE INEN 2708   |               |          |                    |   |  |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1            | H1       | F2                 | H2  |  |
|   |                                |   | 1400 N        | 750mm    | 4000 N             | 500mm   |  |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base     |          | Tubo codo          |   |  |
|   | Espesor = 1mm                  |   | Espesor = 2mm |          | Espesor = 2mm      |   |  |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16 GB Ram     |          | 4 nucleos          |   |  |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :       |          | 5 de Julio de 2018 |   |  |
| Tiempo de procesamiento   |                                |   | 3 seg         |          |                    |   |  |

[Autor]



**Fig. IV.37:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo pata 1mm.  
[Autor]

### Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.47:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo pata 1mm.

| Desplazamientos maximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodo                   | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,24      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,34       | -0,02    |
| 5                       | 0,09       | -0,12    |
| 6                       | 43,39      | -25,11   |
| 7                       | 88,20      | 0,74     |
| 8                       | 88,21      | 32,30    |
| 9                       | 122,18     | 66,25    |
| 10                      | 151,29     | 68,80    |
| 11                      | 196,68     | 72,77    |
| 12                      | 273,52     | 79,49    |

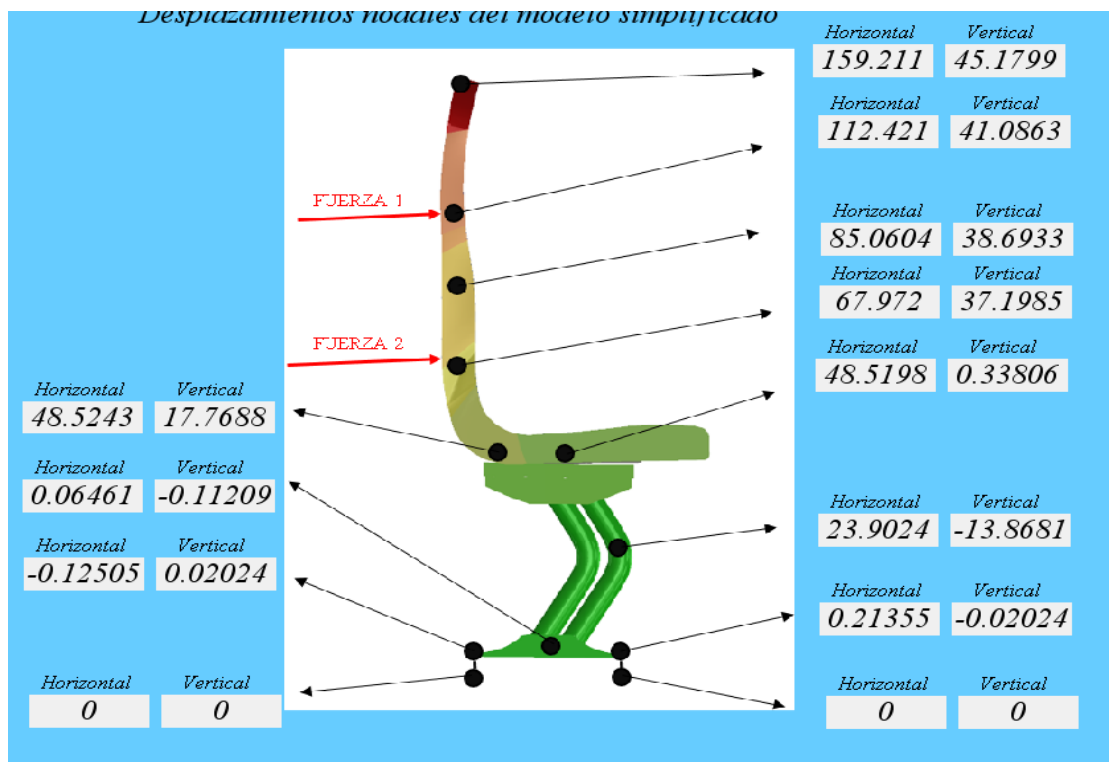
[Autor]

#### 4.1.9.2.2. Resultados metamodelo de simulación 2

**Tabla IV.48:** Análisis de metamodelo de simulación 2, asiento con 2mm de espesor en tubo pata.

|   |                                |   |               |          |                    |   |  |
|---|--------------------------------|---|---------------|----------|--------------------|---|--|
|  |                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |               |          |                    |  |  |
| N° de simulación por metamodelo:  |                                | 2   |               | Asiento: |                    | Urbano una plaza  |  |
| Normativa:  |                                | NTE INEN 2708   |               |          |                    |   |  |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1            | H1       | F2                 | H2  |  |
|   |                                |   | 1400 N        | 750mm    | 4000 N             | 500mm   |  |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base     |          | Tubo codo          |   |  |
|   | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm |          | Espesor = 2mm      |   |  |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16 GB Ram     |          | 4 nucleos          |   |  |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :       |          | 5 de Julio de 2018 |   |  |
| Tiempo de procesamiento   |                                |   |               | 3 seg    |                    |   |  |

[Autor]



**Fig. IV.38:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo pata 2mm.

[Autor]

## Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.49:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo pata 3mm.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,13      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,21       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 23,90      | -13,87   |
| 7                       | 48,52      | 0,34     |
| 8                       | 48,52      | 17,77    |
| 9                       | 67,97      | 37,20    |
| 10                      | 85,06      | 38,69    |
| 11                      | 112,42     | 41,09    |
| 12                      | 159,21     | 45,18    |

[Autor]

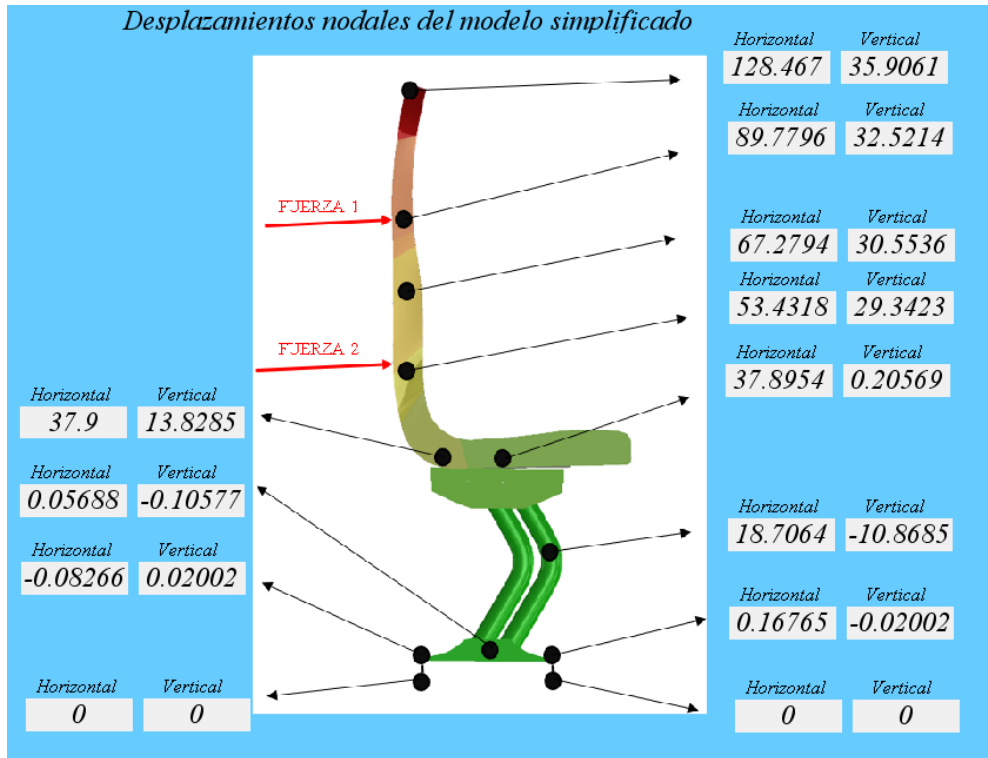
### 4.1.9.2.3. Resultados metamodelo de simulación 3

**Tabla IV.50:** Análisis de metamodelo de simulación 3, asiento con 3mm de espesor en tubo pata.

|  |                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |               |          |                    |  |  |
|---|--------------------------------|---|---------------|----------|--------------------|---|--|
| Nº de simulación por metamodelo:  |                                | 3   |               | Asiento: |                    | Urbano una plaza  |  |
| Normativa:  |                                | NTE INEN 2708   |               |          |                    |   |  |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1            | H1       | F2                 | H2  |  |
|   |                                |   | 1400 N        | 750mm    | 4000 N             | 500mm   |  |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base     |          | Tubo codo          |   |  |
|   | Espesor = 3mm                  |   | Espesor = 2mm |          | Espesor = 2mm      |   |  |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16 GB Ram     |          | 4 nucleos          |   |  |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :       |          | 5 de Julio de 2018 |   |  |
| Tiempo de procesamiento   |                                |   | 3 seg         |          |                    |   |  |

[Autor]





**Fig. IV.39:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo pata 3mm.  
[Autor]

### Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.51:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo pata 3mm.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,08      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,17       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 18,71      | -10,87   |
| 7                       | 37,90      | 0,21     |
| 8                       | 37,90      | 13,83    |
| 9                       | 53,43      | 29,34    |
| 10                      | 67,28      | 30,55    |
| 11                      | 89,78      | 32,52    |
| 12                      | 128,47     | 35,91    |

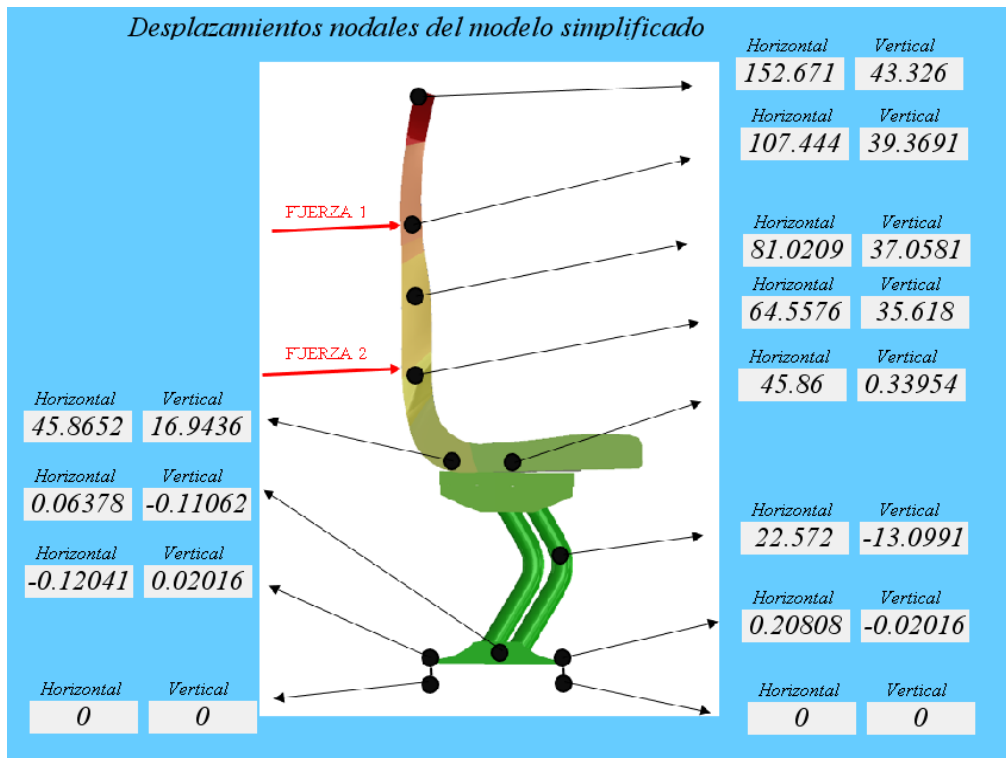
[Autor]

#### 4.1.9.2.4. Resultados metamodelo de simulación 4

**Tabla IV.52:** Análisis de metamodelo de simulación 4, asiento con 1mm de espesor en tubo base.

|   |                                |   |               |          |                    |   |  |
|---|--------------------------------|---|---------------|----------|--------------------|---|--|
|  |                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |               |          |                    |  |  |
| N° de simulación por metamodelo:  |                                | 4   |               | Asiento: |                    | Urbano una plaza  |  |
| Normativa:  |                                | NTE INEN 2708   |               |          |                    |   |  |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1            | H1       | F2                 | H2  |  |
|   |                                |   | 1400 N        | 750mm    | 4000 N             | 500mm   |  |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base     |          | Tubo codo          |   |  |
|   | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 1mm |          | Espesor = 2mm      |   |  |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16 GB Ram     |          | 4 nucleos          |   |  |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :       |          | 5 de Julio de 2018 |   |  |
| Tiempo de procesamiento   |                                |   |               | 3 seg    |                    |   |  |

[Autor]



**Fig. IV.40:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo base 1mm.

[Autor]

## Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.53:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo base 1mm.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,12      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,21       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 22,57      | -13,10   |
| 7                       | 45,86      | 0,34     |
| 8                       | 45,87      | 16,94    |
| 9                       | 64,56      | 33,62    |
| 10                      | 81,02      | 37,06    |
| 11                      | 107,44     | 39,37    |
| 12                      | 152,67     | 43,33    |

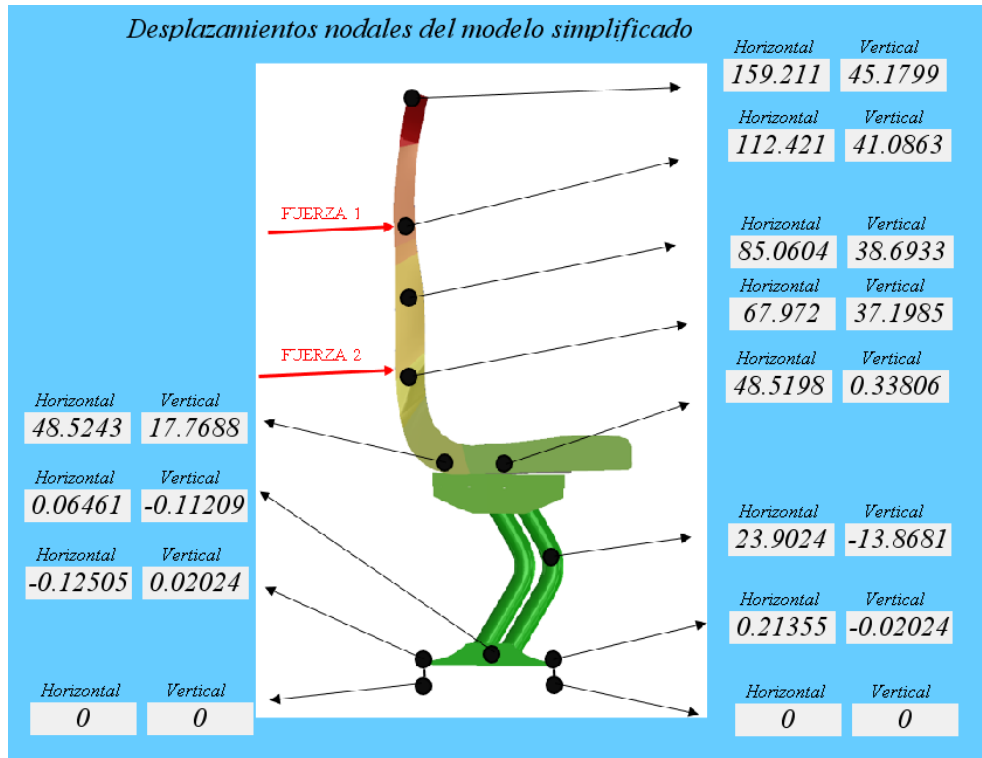
[Autor]

### 4.1.9.2.5. Resultados metamodelo de simulación 5

**Tabla IV.54:** Análisis de metamodelo de simulación 5, asiento con 2mm de espesor en tubo base.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |                                |  |                    |       |        |       |
|---|--------------------------------|---|--------------------|-------|--------|-------|
| Nº de simulación por metamodelo:  | 5                              | Asiento:  | Urbano una plaza   |       |        |       |
| Normativa:  | NTE INEN 2708                  |   |                    |       |        |       |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1                 | H1    | F2     | H2    |
|   |                                |   | 1400 N             | 750mm | 4000 N | 500mm |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      | Tubo base   | Tubo codo          |       |        |       |
|   | Espesor = 2mm                  | Espesor = 2mm   | Espesor = 2mm      |       |        |       |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   | 4 nucleos          |       |        |       |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   | 5 de Julio de 2018 |       |        |       |
| Tiempo de procesamiento   |                                | 3 seg   |                    |       |        |       |

[Autor]



**Fig. IV.41:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo base 2mm.  
[Autor]

**Obtencion desplazamientos máximos.**

**Tabla IV.55:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo base 2mm.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,13      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,21       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 23,90      | -13,87   |
| 7                       | 48,52      | 0,34     |
| 8                       | 48,52      | 17,77    |
| 9                       | 67,97      | 37,20    |
| 10                      | 85,06      | 38,69    |
| 11                      | 112,42     | 41,09    |
| 12                      | 159,21     | 45,18    |

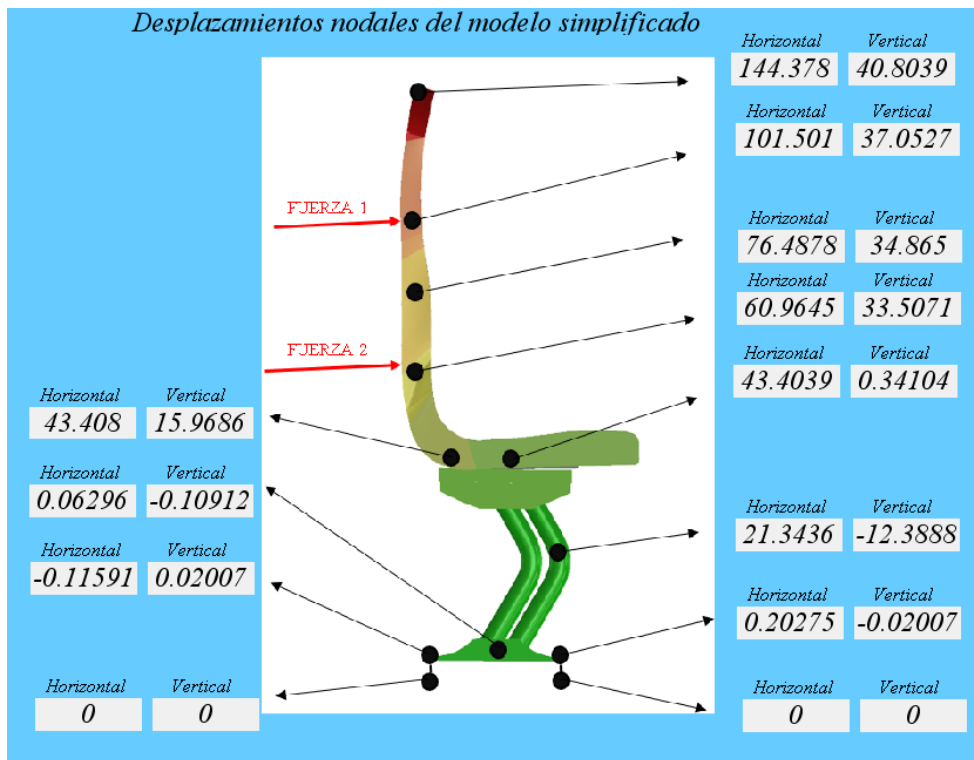
[Autor]

#### 4.1.9.2.6. Resultados metamodelo de simulación 6

**Tabla IV.56:** Análisis de metamodelo de simulación 6, asiento con 3mm de espesor en tubo base.

|  |                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |                  |       |                    |  |  |
|---|--------------------------------|---|------------------|-------|--------------------|---|--|
| N° de simulación por metamodelo:  | 6                              | Asiento:  | Urbano una plaza |       |                    |   |  |
| Normativa:  | NTE INEN 2708                  |   |                  |       |                    |   |  |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1               | H1    | F2                 | H2  |  |
|   |                                |   | 1400 N           | 750mm | 4000 N             | 500mm   |  |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base        |       | Tubo codo          |   |  |
|   | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 3mm    |       | Espesor = 2mm      |   |  |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16 GB Ram        |       | 4 núcleos          |   |  |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :          |       | 5 de Julio de 2018 |   |  |
| Tiempo de procesamiento   |                                |   | 3 seg            |       |                    |   |  |

[Autor]



**Fig. IV.42:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo base 3mm.

[Autor]

## Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.57:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo base 3mm.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,12      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,20       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 21,34      | -12,39   |
| 7                       | 43,40      | 0,34     |
| 8                       | 43,41      | 15,97    |
| 9                       | 60,96      | 33,51    |
| 10                      | 76,49      | 34,87    |
| 11                      | 101,50     | 37,05    |
| 12                      | 144,38     | 40,80    |

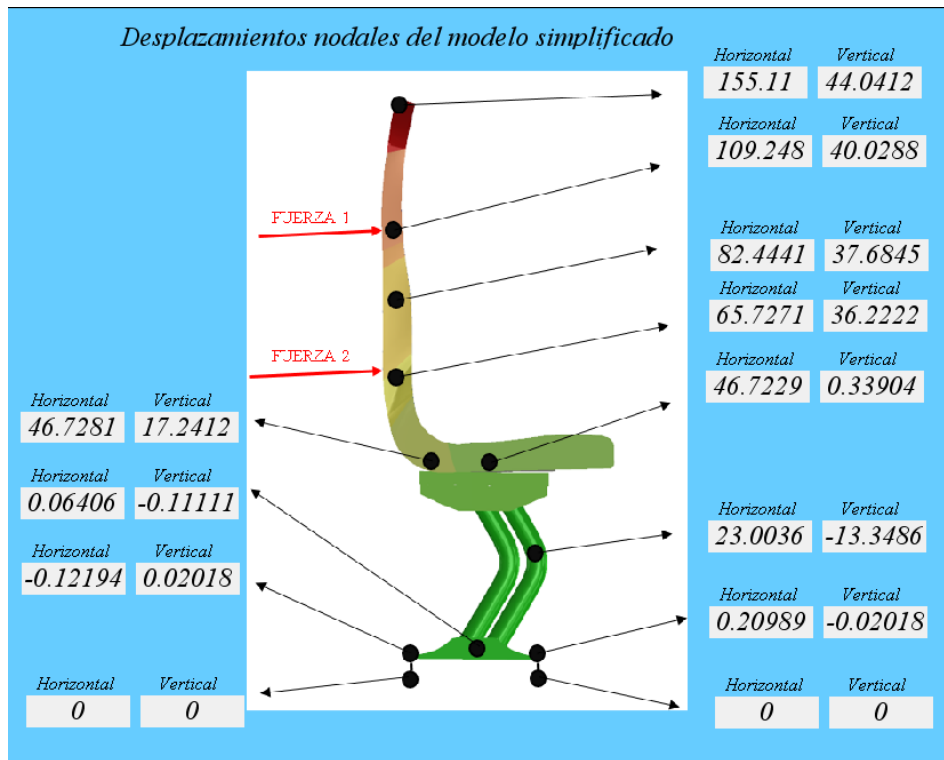
[Autor]

### 4.1.9.2.7. Resultados metamodelo de simulación 7

**Tabla IV.58:** Análisis de metamodelo de simulación 7, asiento con 1mm de espesor en tubo codo.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |                                |  |                  |       |                    |       |
|---|--------------------------------|---|------------------|-------|--------------------|-------|
| Nº de simulación por metamodelo:  | 7                              | Asiento:  | Urbano una plaza |       |                    |       |
| Normativa:  | NTE INEN 2708                  |   |                  |       |                    |       |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1               | H1    | F2                 | H2    |
|   |                                |   | 1400 N           | 750mm | 4000 N             | 500mm |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base        |       | Tubo codo          |       |
|   | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm    |       | Espesor = 1mm      |       |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16 GB Ram        |       | 4 nucleos          |       |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :          |       | 5 de Julio de 2018 |       |
| Tiempo de procesamiento   |                                |   | 3 seg            |       |                    |       |

[Autor]



**Fig. IV.43:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo codo 1mm.  
[Autor]

### Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.59:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo codo 1mm.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,12      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,21       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 23,00      | -13,35   |
| 7                       | 46,72      | 0,34     |
| 8                       | 46,73      | 17,24    |
| 9                       | 65,73      | 36,22    |
| 10                      | 82,44      | 37,68    |
| 11                      | 109,25     | 40,03    |
| 12                      | 155,11     | 44,04    |

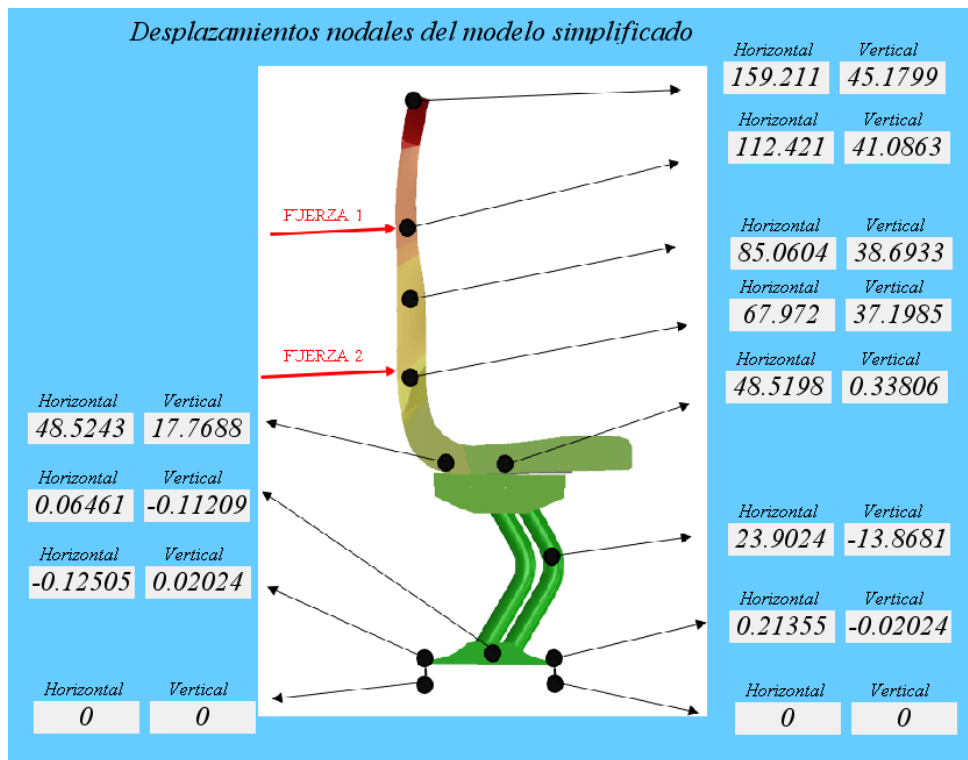
[Autor]

#### 4.1.9.2.8. Resultados metamodelo de simulación 8

**Tabla IV.60:** Análisis de metamodelo de simulación 8, asiento con 2mm de espesor en tubo codo.

|   |                                |   |               |          |                    |   |  |
|---|--------------------------------|---|---------------|----------|--------------------|---|--|
|  |                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |               |          |                    |  |  |
| N° de simulación por metamodelo:  |                                | 8   |               | Asiento: |                    | Urbano una plaza  |  |
| Normativa:  |                                | NTE INEN 2708   |               |          |                    |   |  |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1            | H1       | F2                 | H2  |  |
|   |                                |   | 1400 N        | 750mm    | 4000 N             | 500mm   |  |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base     |          | Tubo codo          |   |  |
|   | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm |          | Espesor = 2mm      |   |  |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          |   | 16 GB Ram     |          | 4 núcleos          |   |  |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :       |          | 5 de Julio de 2018 |   |  |
| Tiempo de procesamiento   |                                |   |               | 3 seg    |                    |   |  |

[Autor]



**Fig. IV.44:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo codo 2mm.

[Autor]



## Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.61:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación para Tubo codo 2mm.

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,13      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,21       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 23,90      | -13,87   |
| 7                       | 48,52      | 0,34     |
| 8                       | 48,52      | 17,77    |
| 9                       | 67,97      | 37,20    |
| 10,00                   | 85,06      | 38,69    |
| 11,00                   | 112,42     | 41,09    |
| 12,00                   | 159,21     | 45,18    |

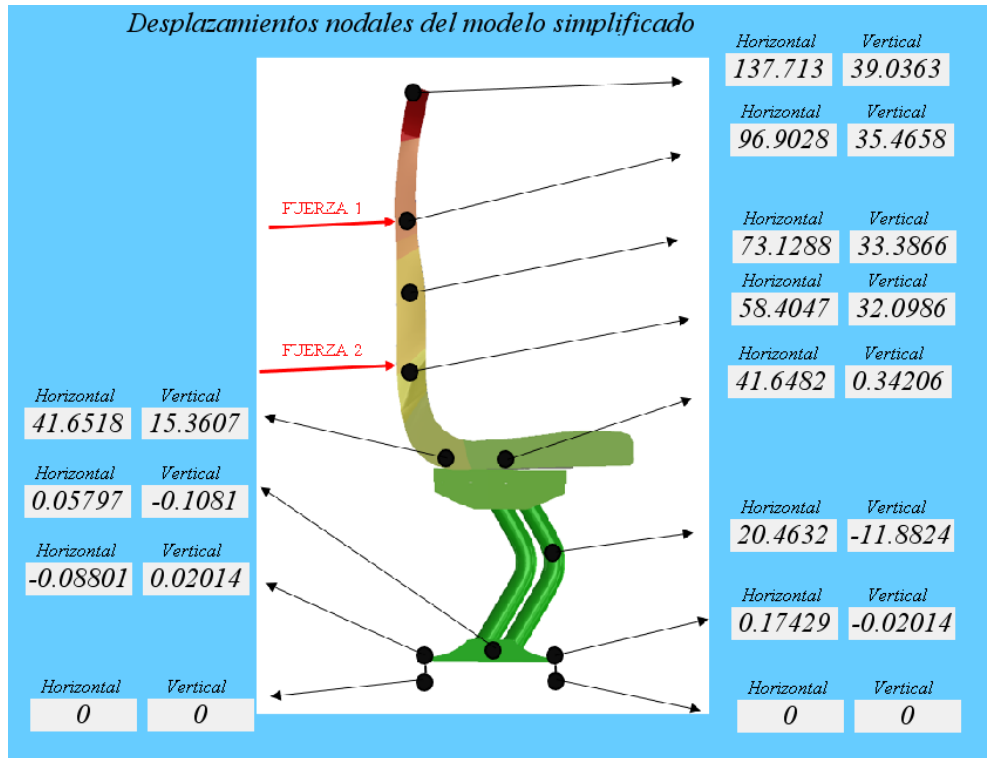
[Autor]

### 4.1.9.2.9. Resultados metamodelo de simulación 9

**Tabla IV.62:** Análisis de metamodelo de simulación 9, asiento con 3mm de espesor en tubo codo.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |                                |  |                    |       |        |       |
|---|--------------------------------|---|--------------------|-------|--------|-------|
| Nº de simulación por metamodelo:  | 9                              | Asiento:  | Urbano una plaza   |       |        |       |
| Normativa:  | NTE INEN 2708                  |   |                    |       |        |       |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | Estático  | F1                 | H1    | F2     | H2    |
|   |                                |   | 1400 N             | 750mm | 4000 N | 500mm |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      | Tubo base   | Tubo codo          |       |        |       |
|   | Esesor = 2mm                   | Esesor = 2mm  | Esesor = 3mm       |       |        |       |
| Ordenador   | Lenovo i7 6500 2.6GHz          | 16 GB Ram   | 4 nucleos          |       |        |       |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            | Fecha :   | 5 de Julio de 2018 |       |        |       |
| Tiempo de procesamiento   |                                | 3 seg   |                    |       |        |       |

[Autor]



**Fig. IV.45:** Resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación tubo codo 3mm.  
[Autor]

### Obtencion desplazamientos máximos.

**Tabla IV.63:** Resultados obtenidos mediante metamodelo de simulación, espesor tubo codo 3 mm

| Desplazamientos máximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1                       | 0,00       | 0,00     |
| 2                       | -0,09      | 0,02     |
| 3                       | 0,00       | 0,00     |
| 4                       | 0,17       | -0,02    |
| 5                       | 0,06       | -0,11    |
| 6                       | 20,46      | -11,88   |
| 7                       | 41,65      | 0,34     |
| 8                       | 41,65      | 15,36    |
| 9                       | 58,40      | 32,10    |
| 10                      | 73,13      | 33,39    |
| 11                      | 96,90      | 35,47    |
| 12                      | 137,71     | 39,04    |

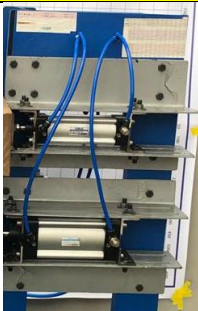



[Autor]

### 4.1.9.3. Resultados mediante ensayo físico

La obtención de los resultados se llevo a cabo empleando un banco de pruebas que se desarrollo en conjunto con alumnos pertenecientes a la Facultad de ingeniería civil y mecánica la misma que cumple con las especificaciones del ensayo estático estipuladas en la normativa [1].

El banco de pruebas cuenta con los elementos necesarios para llevar a cabo el ensayo estático según la normativa [1], los mismos que se los detalla a continuación en la Tabla IV.64.

**Tabla IV.64:** Elementos constitutivos de el banco de ensayos.

| Elemento | Gráfica   | Material  |
|----------|---|---|
| 1        |   | Cilindros<br>neumaticos                             |
| 2        |  | Impactadores<br>diseñados según<br>especificaciones |
| 3        |  | Unidad de<br>mantenimiento                          |
| 4        |  | Electrovalvula                                      |

[Autor]

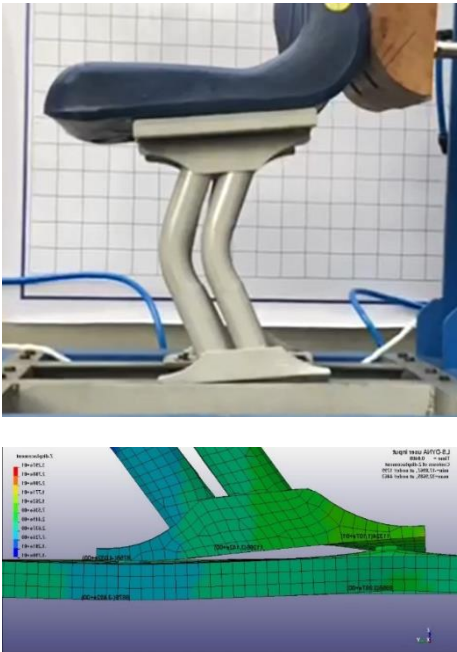
**Tabla IV.65:** Ensayo físico de asiento de bus urbano.

|    |                                | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> |               |       |                    |  |  |
|---|--------------------------------|---|---------------|-------|--------------------|---|--|
| Nº de ensayo físico   | 1                              |   | Asiento:      |       | Urbano una plaza   |   |  |
| Normativa:  | NTE INEN 2708                  |   |               |       |                    |   |  |
| Características de la simulación  | Tiempo de aplicación de carga: | 0,2 seg   | F1            | H1    | F2                 | H2  |  |
|   |                                |   | 1400 N        | 750mm | 4000 N             | 500mm   |  |
| Variación en geometría  | Tubo pata                      |   | Tubo base     |       | Tubo codo          |   |  |
|   | Espesor = 2mm                  |   | Espesor = 2mm |       | Espesor = 2mm      |   |  |
| Tipo de análisis:   | Ensayo físico                  |   |               |       |                    |   |  |
| Máquina   | Banco de ensayos estáticos     |   |               |       |                    |   |  |
| Elaborado por:  | Gabriel Ruiz Amores            |   | Fecha :       |       | 5 de Julio de 2018 |   |  |
| Medición de desplazamientos   |                                |   |               |       |                    |   |  |
| <br> |                                |   |               |       |                    |   |  |



Deformación producida en la base



|  |        |
|--|--------|
|                  |        |
| Aceptación de del asiento mediante el criterio establecido en el apartado 12.1 de la normativa[1]. | Cumple |

[Autor]

A continuación, se presentan los resultados obtenidos después de haber realizado el ensayo físico en los mismos puntos que en el análisis realizado por el método de elementos finitos para poder contrastar los resultados, ver Tabla IV.66.

**Tabla IV.66:** Resultados de desplazamientos máximos en ensayo estático.

| Desplazamientos maximos |            |          |
|-------------------------|------------|----------|
| #Nodos                  | Horizontal | Vertical |
| 1,00                    | 0,00       | 2,89     |
| 2,00                    | 1,00       | 12,3     |
| 3,00                    | 0,00       | 0,00     |
| 4,00                    | 0,00       | 0,00     |
| 5,00                    | 1,00       | 5,00     |
| 6,00                    | 22,00      | -9,00    |
| 7,00                    | 45,00      | 2,00     |
| 8,00                    | 44,5       | 14,00    |
| 9,00                    | 70,00      | 20,00    |
| 10,00                   | 94,00      | 28,00    |
| 11,00                   | 99,50      | 34,00    |
| 12,00                   | 159,00     | 29,44    |

[Autor]

## 4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo pata 1mm

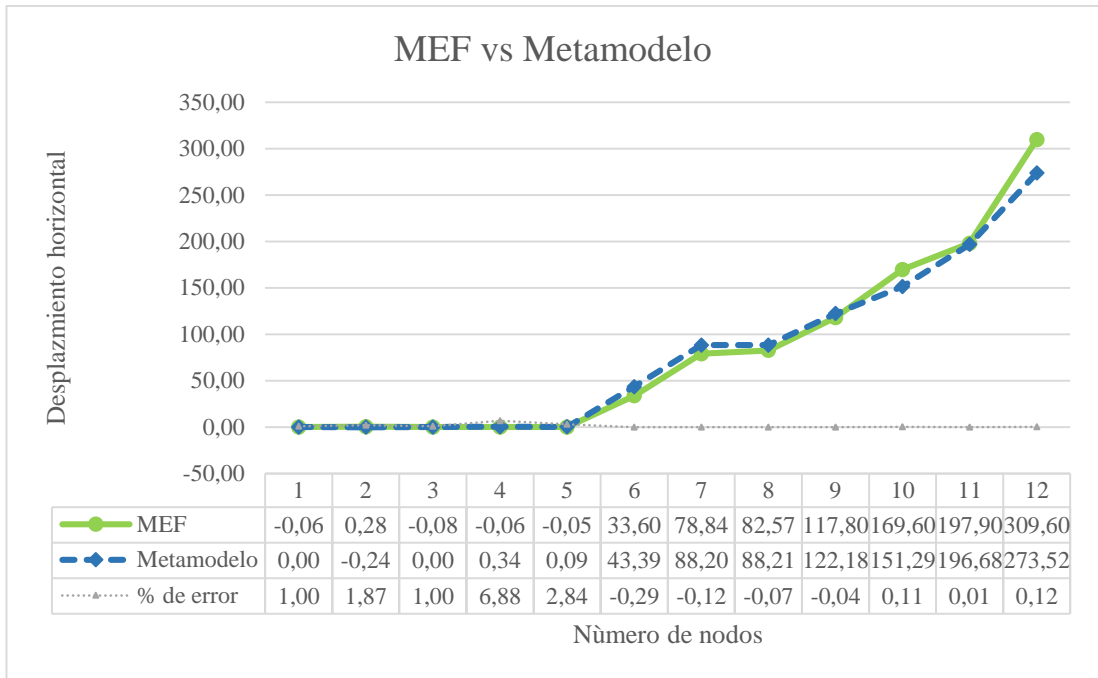
A continuación, en la Tabla IV.67 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

**Tabla IV.67:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo pata 1mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,06             | 2,56     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,28              | 9,59     | -0,24      | 0,02     | 1,87       | 1,00     |
| 3   | 8879   | -0,08             | -1,48    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,06             | -2,10    | 0,34       | -0,02    | 6,88       | 0,99     |
| 5   | 11266  | -0,05             | 3,47     | 0,09       | -0,12    | 2,84       | 1,04     |
| 6   | 11899  | 33,60             | -16,13   | 43,39      | -25,11   | -0,29      | -0,56    |
| 7   | 297    | 78,84             | 1,78     | 88,20      | 0,74     | -0,12      | 0,58     |
| 8   | 352    | 82,57             | 28,70    | 88,21      | 32,30    | -0,07      | -0,13    |
| 9   | 389    | 117,80            | 51,50    | 122,18     | 66,25    | -0,04      | -0,29    |
| 10  | 228    | 169,60            | 44,45    | 151,29     | 68,80    | 0,11       | -0,55    |
| 11  | 2964   | 197,90            | 38,49    | 196,68     | 72,77    | 0,01       | -0,89    |
| 12  | 3667   | 309,60            | 42,08    | 273,52     | 79,49    | 0,12       | -0,89    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.46 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 4%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.46:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo pata 1mm.  
[Autor]

#### **4.2.2. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo pata 2mm**

A continuación, en la Tabla IV.68 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

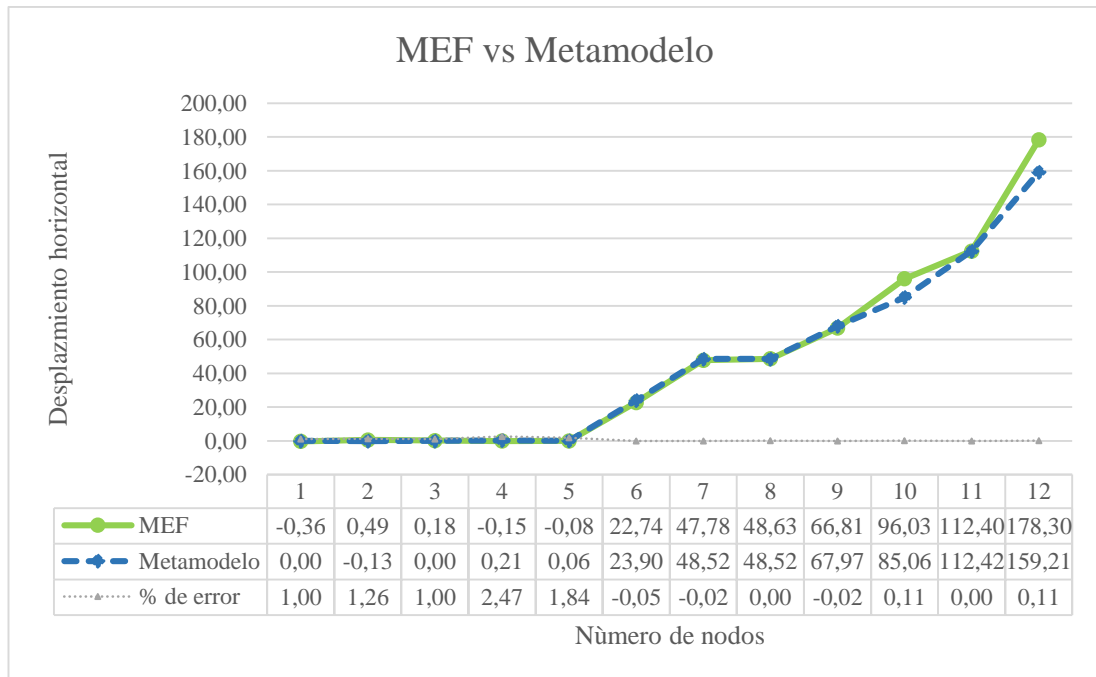


**Tabla IV.68:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo pata 2mm.

| Desplazamientos máximos comparación y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,36             | 2,81     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,49              | 11,25    | -0,13      | 0,02     | 1,26       | 1,00     |
| 3   | 8879   | 0,18              | -4,61    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,15             | -5,16    | 0,21       | -0,02    | 2,47       | 1,00     |
| 5   | 11266  | -0,08             | 2,58     | 0,06       | -0,11    | 1,84       | 1,04     |
| 6   | 11899  | 22,74             | -11,19   | 23,90      | -13,87   | -0,05      | -0,24    |
| 7   | 297    | 47,78             | 0,63     | 48,52      | 0,34     | -0,02      | 0,46     |
| 8   | 352    | 48,63             | 13,19    | 48,52      | 17,77    | 0,00       | -0,35    |
| 9   | 389    | 66,81             | 26,72    | 67,97      | 37,20    | -0,02      | -0,39    |
| 10  | 228    | 96,03             | 24,90    | 85,06      | 38,69    | 0,11       | -0,55    |
| 11  | 2964   | 112,40            | 22,64    | 112,42     | 41,09    | 0,00       | -0,81    |
| 12  | 3667   | 178,30            | 31,95    | 159,21     | 45,18    | 0,11       | -0,41    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.47 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.47:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo pata 2mm.

[Autor]

### 4.2.3. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo pata 3mm

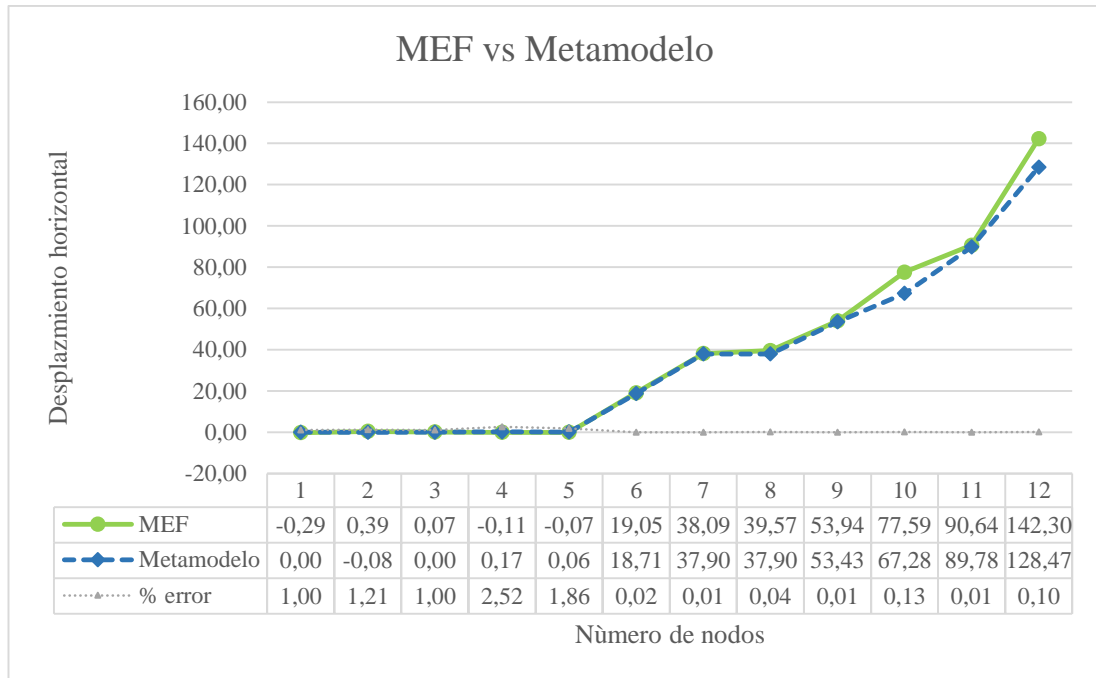
A continuación en la Tabla IV.69 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

**Tabla IV.69:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo pata 3mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,29             | 2,61     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,39              | 10,68    | -0,08      | 0,02     | 1,21       | 1,00     |
| 3   | 8879   | 0,07              | -3,67    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,11             | -4,20    | 0,17       | -0,02    | 2,52       | 1,00     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 2,83     | 0,06       | -0,11    | 1,86       | 1,04     |
| 6   | 11899  | 19,05             | -8,67    | 18,71      | -10,87   | 0,02       | -0,25    |
| 7   | 297    | 38,09             | 0,01     | 37,90      | 0,21     | 0,01       | -17,70   |
| 8   | 352    | 39,57             | 10,83    | 37,90      | 13,83    | 0,04       | -0,28    |
| 9   | 389    | 53,94             | 21,83    | 53,43      | 29,34    | 0,01       | -0,34    |
| 10  | 228    | 77,59             | 20,78    | 67,28      | 30,55    | 0,13       | -0,47    |
| 11  | 2964   | 90,64             | 19,17    | 89,78      | 32,52    | 0,01       | -0,70    |
| 12  | 3667   | 142,30            | 26,26    | 128,47     | 35,91    | 0,10       | -0,37    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.48 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.48:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo pata 3mm.  
[Autor]

#### 4.2.4. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo base 1mm

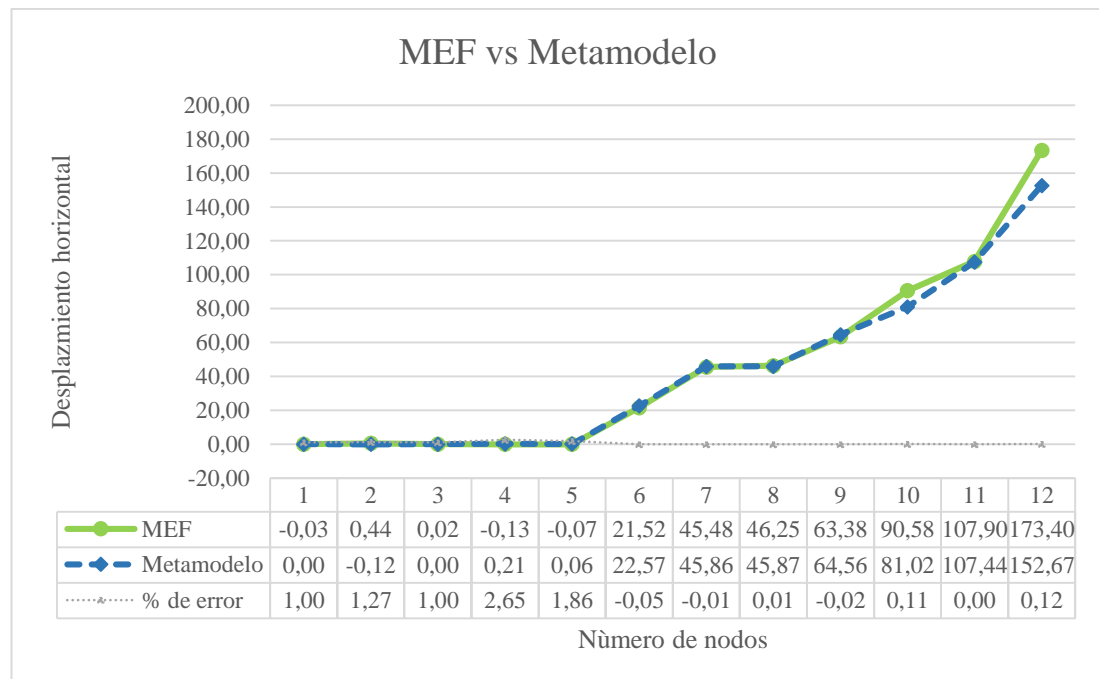
A continuación, en la Tabla IV.70 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

**Tabla IV.70:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo base 1mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,03             | 3,19     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,44              | 11,54    | -0,12      | 0,02     | 1,27       | 1,00     |
| 3   | 8879   | 0,02              | -3,44    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,13             | -3,99    | 0,21       | -0,02    | 2,65       | 0,99     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 3,39     | 0,06       | -0,11    | 1,86       | 1,03     |
| 6   | 11899  | 21,52             | -9,60    | 22,57      | -13,10   | -0,05      | -0,37    |
| 7   | 297    | 45,48             | 0,61     | 45,86      | 0,34     | -0,01      | 0,45     |
| 8   | 352    | 46,25             | 13,73    | 45,87      | 16,94    | 0,01       | -0,23    |
| 9   | 389    | 63,38             | 26,65    | 64,56      | 33,62    | -0,02      | -0,26    |
| 10  | 228    | 90,58             | 25,13    | 81,02      | 37,06    | 0,11       | -0,47    |
| 11  | 2964   | 107,90            | 23,11    | 107,44     | 39,37    | 0,00       | -0,70    |
| 12  | 3667   | 173,40            | 29,83    | 152,67     | 43,33    | 0,12       | -0,45    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.49 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.49:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo base 1mm.

[Autor]

#### 4.2.5. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo base 2mm

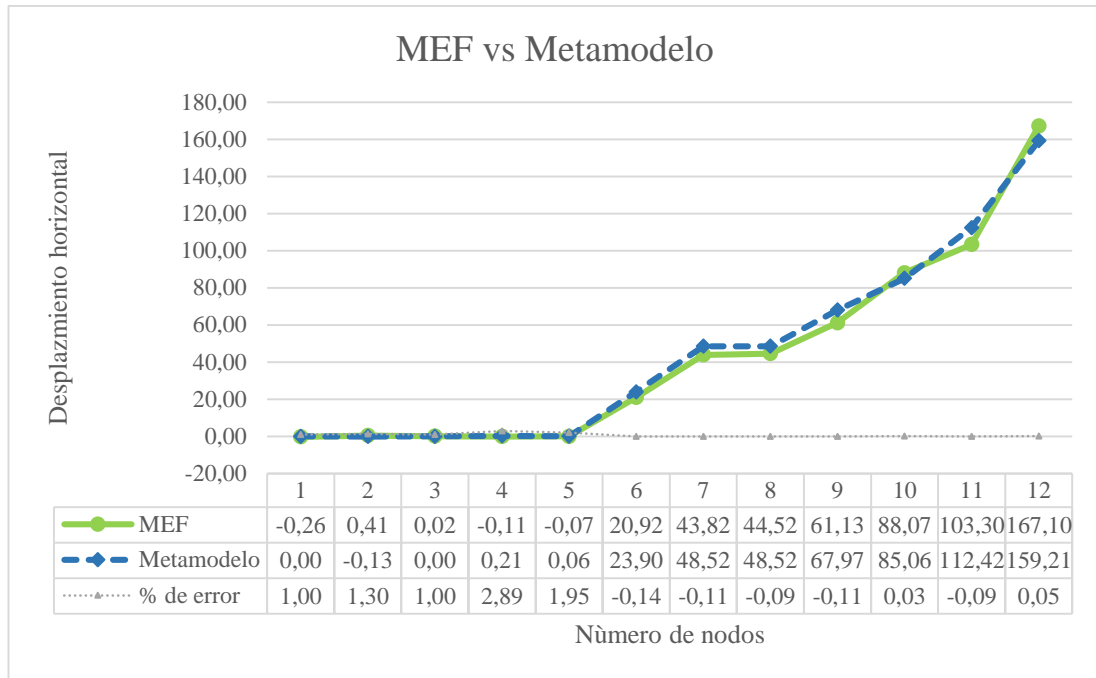
A continuación, en la Tabla IV.71 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

**Tabla IV.71:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo base 2mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,26             | 3,01     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,41              | 11,17    | -0,13      | 0,02     | 1,30       | 1,00     |
| 3   | 8879   | 0,02              | -3,41    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,11             | -3,96    | 0,21       | -0,02    | 2,89       | 0,99     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 3,23     | 0,06       | -0,11    | 1,95       | 1,03     |
| 6   | 11899  | 20,92             | -9,34    | 23,90      | -13,87   | -0,14      | -0,48    |
| 7   | 297    | 43,82             | 0,60     | 48,52      | 0,34     | -0,11      | 0,43     |
| 8   | 352    | 44,52             | 13,24    | 48,52      | 17,77    | -0,09      | -0,34    |
| 9   | 389    | 61,13             | 25,77    | 67,97      | 37,20    | -0,11      | -0,44    |
| 10  | 228    | 88,07             | 24,28    | 85,06      | 38,69    | 0,03       | -0,59    |
| 11  | 2964   | 103,30            | 22,29    | 112,42     | 41,09    | -0,09      | -0,84    |
| 12  | 3667   | 167,10            | 29,50    | 159,21     | 45,18    | 0,05       | -0,53    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.50 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.50:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo base 2mm.  
[Autor]

#### 4.2.6. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo base 3mm

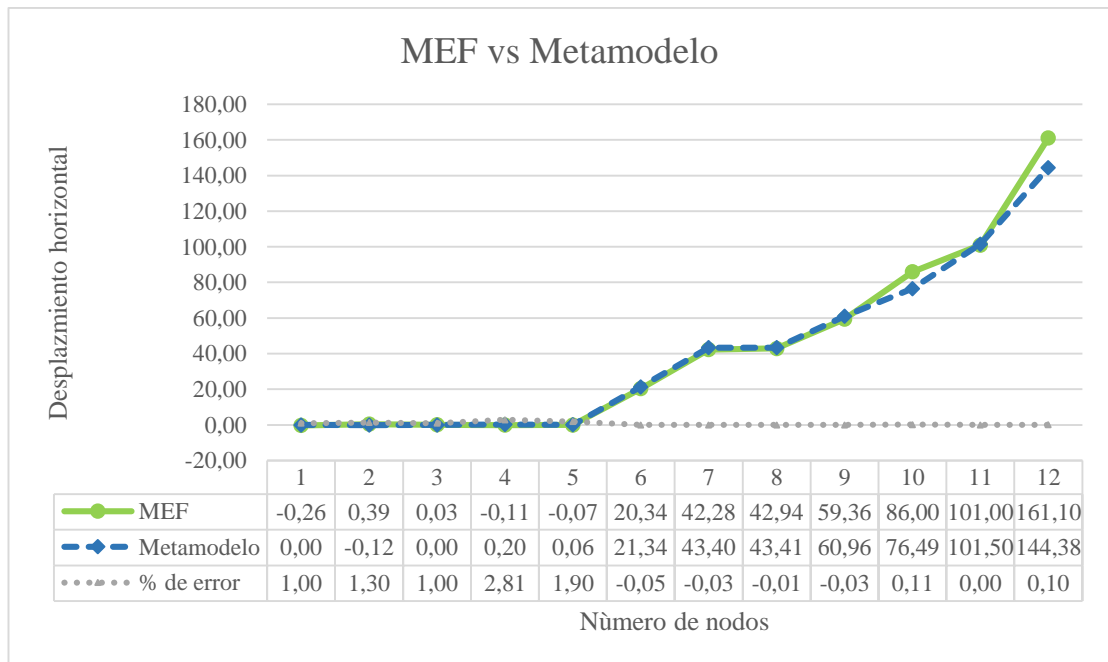
A continuación, en la Tabla IV.72 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

**Tabla IV.72:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo base 3mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,26             | 2,81     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,39              | 10,89    | -0,12      | 0,02     | 1,30       | 1,00     |
| 3   | 8879   | 0,03              | -3,31    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,11             | -3,85    | 0,20       | -0,02    | 2,81       | 0,99     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 3,15     | 0,06       | -0,11    | 1,90       | 1,03     |
| 6   | 11899  | 20,34             | -9,04    | 21,34      | -12,39   | -0,05      | -0,37    |
| 7   | 297    | 42,28             | 0,64     | 43,40      | 0,34     | -0,03      | 0,46     |
| 8   | 352    | 42,94             | 12,98    | 43,41      | 15,97    | -0,01      | -0,23    |
| 9   | 389    | 59,36             | 25,39    | 60,96      | 33,51    | -0,03      | -0,32    |
| 10  | 228    | 86,00             | 23,94    | 76,49      | 34,87    | 0,11       | -0,46    |
| 11  | 2964   | 101,00            | 21,96    | 101,50     | 37,05    | 0,00       | -0,69    |
| 12  | 3667   | 161,10            | 28,92    | 144,38     | 40,80    | 0,10       | -0,41    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.51 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.51:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo base 3mm.

[Autor]

#### 4.2.7. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo codo 1mm

A continuación, en la Tabla IV.73 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

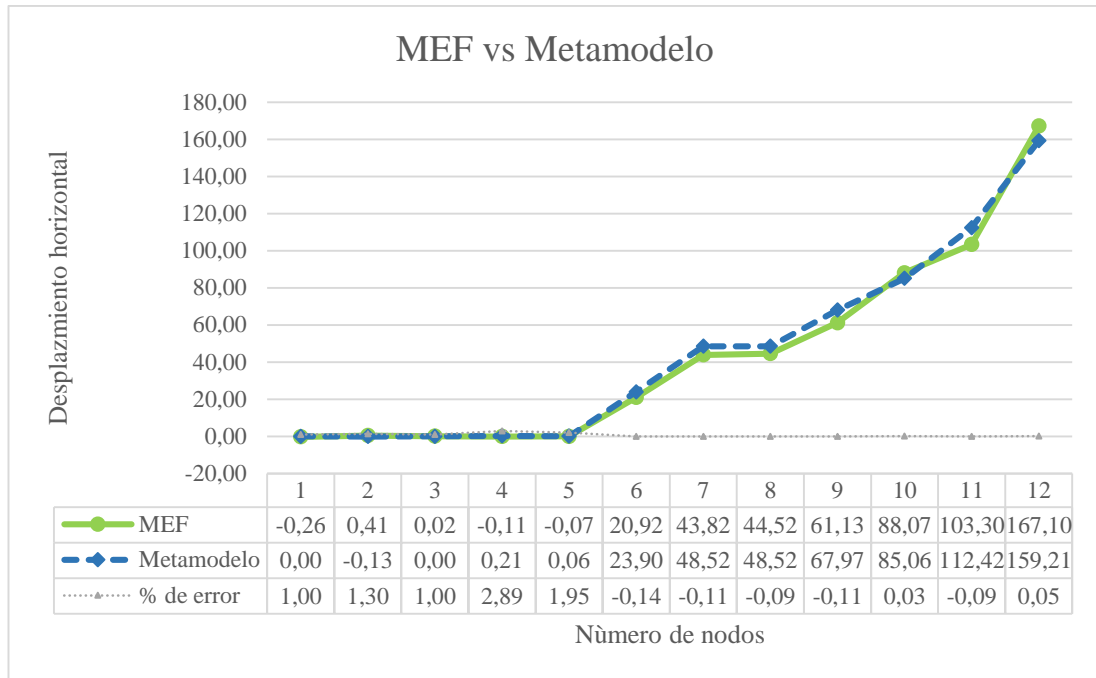
**Tabla IV.73:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo codo 1mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,25             | 3,68     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,47              | 12,18    | -0,12      | 0,02     | 1,26       | 1,00     |
| 3   | 8879   | -0,02             | -3,25    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,13             | -3,80    | 0,21       | -0,02    | 2,59       | 0,99     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 3,82     | 0,06       | -0,11    | 1,99       | 1,03     |
| 6   | 11899  | 22,25             | -9,68    | 23,00      | -13,35   | -0,03      | -0,38    |
| 7   | 297    | 47,90             | 1,00     | 46,72      | 0,34     | 0,02       | 0,66     |
| 8   | 352    | 48,65             | 14,61    | 46,73      | 17,24    | 0,04       | -0,18    |
| 9   | 389    | 66,49             | 27,85    | 65,73      | 36,22    | 0,01       | -0,30    |
| 10  | 228    | 95,02             | 26,12    | 82,44      | 37,68    | 0,13       | -0,44    |
| 11  | 2964   | 111,70            | 23,77    | 109,25     | 40,03    | 0,02       | -0,68    |
| 12  | 3667   | 174,80            | 29,37    | 155,11     | 44,04    | 0,11       | -0,50    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.52 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.





**Fig. IV.52:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo codo 1mm.  
[Autor]

#### 4.2.8. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo codo 2mm

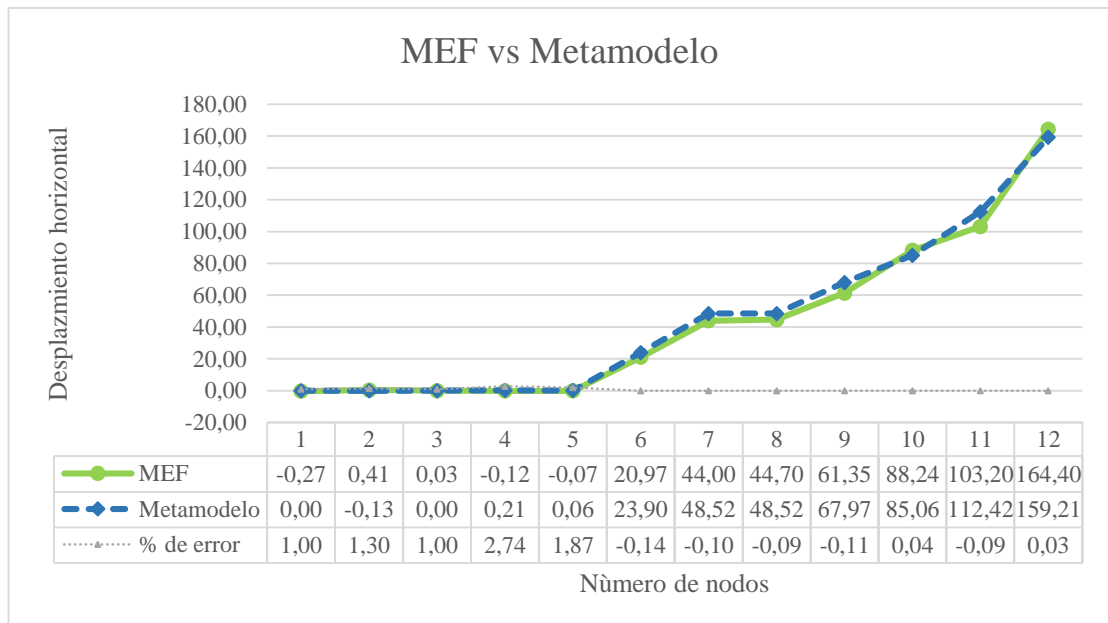
A continuación, en la Tabla IV.74 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

**Tabla IV.74:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo codo 2mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,27             | 2,89     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,41              | 11,07    | -0,13      | 0,02     | 1,30       | 1,00     |
| 3   | 8879   | 0,03              | -3,49    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,12             | -4,03    | 0,21       | -0,02    | 2,74       | 0,99     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 3,14     | 0,06       | -0,11    | 1,87       | 1,04     |
| 6   | 11899  | 20,97             | -9,46    | 23,90      | -13,87   | -0,14      | -0,47    |
| 7   | 297    | 44,00             | 0,51     | 48,52      | 0,34     | -0,10      | 0,34     |
| 8   | 352    | 44,70             | 13,21    | 48,52      | 17,77    | -0,09      | -0,35    |
| 9   | 389    | 61,35             | 25,77    | 67,97      | 37,20    | -0,11      | -0,44    |
| 10  | 228    | 88,24             | 24,28    | 85,06      | 38,69    | 0,04       | -0,59    |
| 11  | 2964   | 103,20            | 22,29    | 112,42     | 41,09    | -0,09      | -0,84    |
| 12  | 3667   | 164,40            | 29,44    | 159,21     | 45,18    | 0,03       | -0,53    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.53 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.53:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo codo 2mm.

[Autor]

#### 4.2.9. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación con variación de espesor en tubo codo 3mm

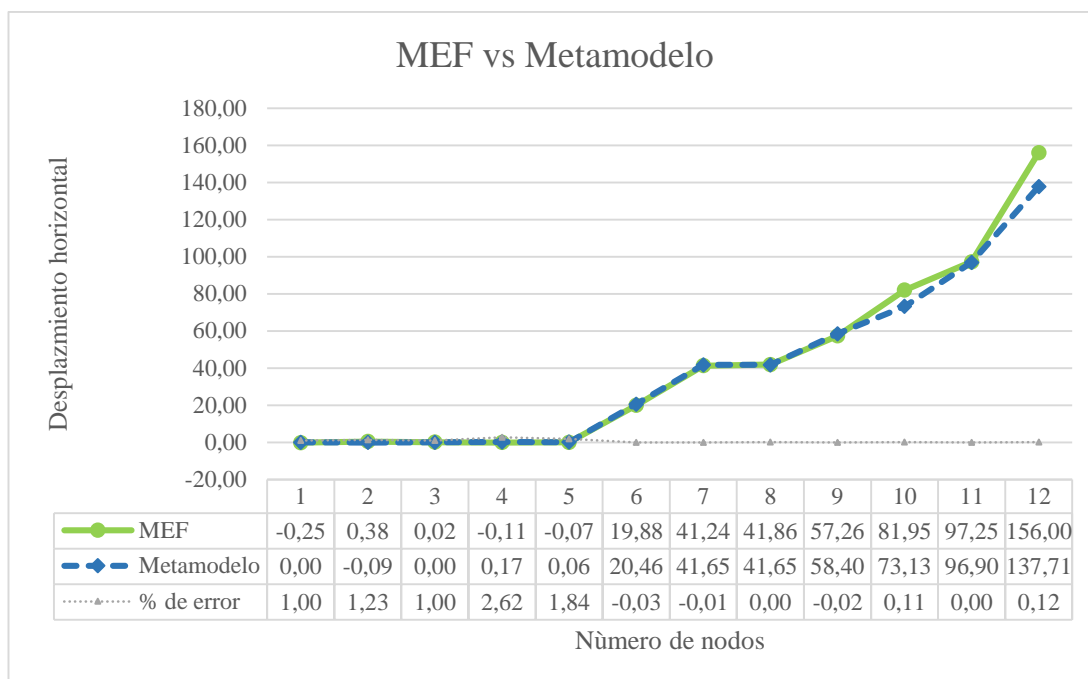
A continuación, en la Tabla IV.75 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, así como también el porcentaje de error, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

**Tabla IV.75:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF y metamodelo de simulación para Tubo codo 3mm.

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |            |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | % de error |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,25             | 2,68     | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 2   | 11324  | 0,38              | 10,54    | -0,09      | 0,02     | 1,23       | 1,00     |
| 3   | 8879   | 0,02              | -3,28    | 0,00       | 0,00     | 1,00       | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,11             | -3,82    | 0,17       | -0,02    | 2,62       | 0,99     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 3,02     | 0,06       | -0,11    | 1,84       | 1,04     |
| 6   | 11899  | 19,88             | -8,84    | 20,46      | -11,88   | -0,03      | -0,34    |
| 7   | 297    | 41,24             | 0,62     | 41,65      | 0,34     | -0,01      | 0,45     |
| 8   | 352    | 41,86             | 12,53    | 41,65      | 15,36    | 0,00       | -0,23    |
| 9   | 389    | 57,26             | 24,33    | 58,40      | 32,10    | -0,02      | -0,32    |
| 10  | 228    | 81,95             | 23,13    | 73,13      | 33,39    | 0,11       | -0,44    |
| 11  | 2964   | 97,25             | 21,46    | 96,90      | 35,47    | 0,00       | -0,65    |
| 12  | 3667   | 156,00            | 28,68    | 137,71     | 39,04    | 0,12       | -0,36    |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.54 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos y metamodelo de simulación, el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 3%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.



**Fig. IV.54:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo para tubo codo 3mm.  
[Autor]

#### 4.2.10. Comparación de resultados mediante el método de elementos finitos y metamodelo y ensayo estático.

A continuación, en la Tabla IV.76 se presenta los desplazamientos horizontales y verticales máximos obtenidos mediante el método de elementos finitos, metamodelo de simulación y ensayo físico, cabe recalcar que los nodos 9 y 11 son de gran importancia ya que son puntos donde se evalúa mediante criterios de aceptación en la normativa.

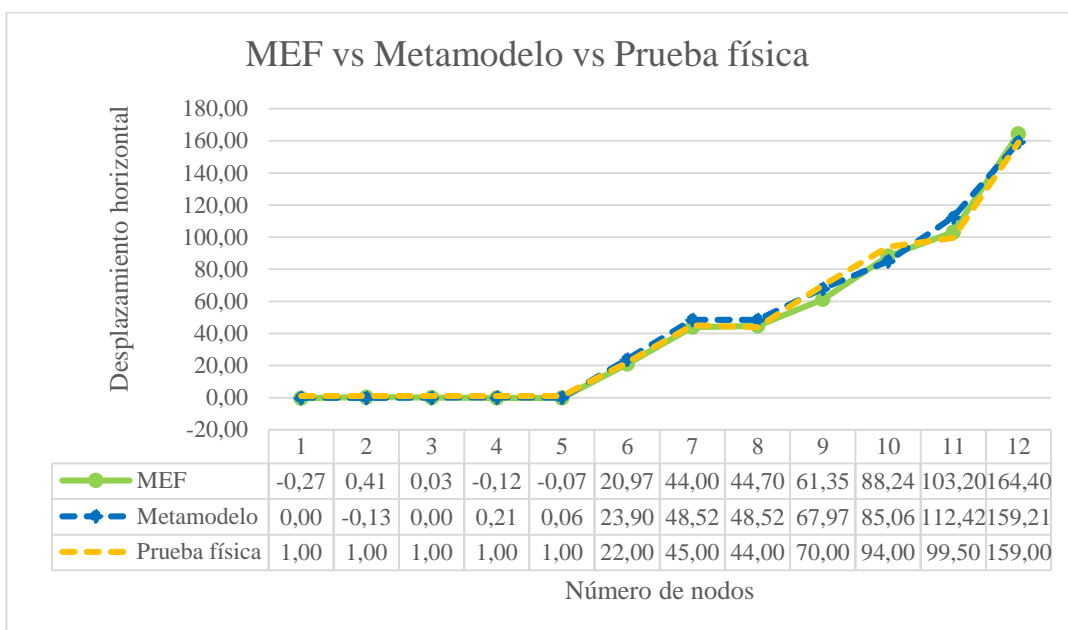
**Tabla IV.76:** Resumen resultados obtenidos mediante MEF, metamodelo y ensayo físico

| Desplazamientos máximos comparacion y porcentaje de error |        |                   |          |            |          |               |          |
|---|--------|-------------------|----------|------------|----------|---------------|----------|
| NODOS   |        | Elementos finitos |          | Metamodelo |          | Prueba física |          |
|   | # Nodo | Horizontal        | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal    | Vertical |
| 1   | 8856   | -0,27             | 2,89     | 0,00       | 0,00     | 1,00          | 2,89     |
| 2   | 11324  | 0,41              | 11,07    | -0,13      | 0,02     | 1,00          | 12,00    |
| 3   | 8879   | 0,03              | -3,49    | 0,00       | 0,00     | 1,00          | 1,00     |
| 4   | 8758   | -0,12             | -4,03    | 0,21       | -0,02    | 1,00          | 1,00     |
| 5   | 11266  | -0,07             | 3,14     | 0,06       | -0,11    | 1,00          | 5,00     |
| 6   | 11899  | 20,97             | -9,46    | 23,90      | -13,87   | 22,00         | -9,00    |
| 7   | 297    | 44,00             | 0,51     | 48,52      | 0,34     | 45,00         | 2,00     |
| 8   | 352    | 44,70             | 13,21    | 48,52      | 17,77    | 44,00         | 14,00    |

|    |      |        |       |        |       |        |       |
|----|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 9  | 389  | 61,35  | 25,77 | 67,97  | 37,20 | 70,00  | 20,00 |
| 10 | 228  | 88,24  | 24,28 | 85,06  | 38,69 | 94,00  | 28,00 |
| 11 | 2964 | 103,20 | 22,29 | 112,42 | 41,09 | 99,50  | 34,00 |
| 12 | 3667 | 164,40 | 29,44 | 159,21 | 45,18 | 159,00 | 29,44 |

[Autor]

En la siguiente Fig. IV.55 podemos apreciar una comparación de forma gráfica entre los resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos, metamodelo de simulación y ensayo físico.



**Fig. IV.55:** Esquema contraste del MEF vs el metamodelo vs Prueba física

[Autor]

En la Tabla IV.77 se presenta el porcentaje de error en los nodos donde se aplica criterios y aceptación no supera el 4%, se redujo el tiempo de procesamientos de resultados de un promedio de 8 horas a 3 segundos.

**Tabla IV.77:** Porcentaje de error en comparación de los métodos propuestos.

| % de error MEF vs Metamodelo |          | % de error MEF vs Prueba física |          | % de error Metamodelo vs Prueba física |          |
|------------------------------|----------|---------------------------------|----------|--|----------|
| Horizontal                   | Vertical | Horizontal                      | Vertical | Horizontal                             | Vertical |
| 1,00                         | 1,00     | 4,66                            | 0,00     | 1,00                                   | 1,00     |
| 1,30                         | 1,00     | -1,43                           | -0,08    | 1,13                                   | 1,00     |
| 1,00                         | 1,00     | -30,25                          | 1,29     | 1,00                                   | 1,00     |
| 2,74                         | 0,99     | 9,13                            | 1,25     | 0,79                                   | 1,02     |
| 1,87                         | 1,04     | 14,51                           | -0,59    | 0,94                                   | 1,02     |

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -0,14 | -0,47 | -0,05 | 0,05  | -0,09 | -0,54 |
| -0,10 | 0,34  | -0,02 | -2,90 | -0,08 | 0,83  |
| -0,09 | -0,35 | 0,02  | -0,06 | -0,10 | -0,27 |
| -0,11 | -0,44 | -0,14 | 0,22  | 0,03  | -0,86 |
| 0,04  | -0,59 | -0,07 | -0,15 | 0,10  | -0,38 |
| -0,09 | -0,84 | 0,04  | -0,53 | -0,13 | -0,21 |
| 0,03  | -0,53 | 0,03  | 0,00  | 0,00  | -0,53 |

[Autor]

### 4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

#### 4.3.1. Comparación de resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación y el Modelo de elementos finitos.

La verificación de la hipótesis se la realizara mediante los resultados obtenidos mediante los métodos propuestos y evaluando que cumpla con la características de optimización del tiempo de procesamiento de resultados con un error porcentual menor o igual a 10% para realizar el análisis según lo estipulado en la normativa [1]

La Tabla IV.64 muestra el porcentaje de tiempo que se redujo en el análisis de la resistencia del asiento de bus urbano mediante el metamodelo de simulación en comparación al método que se ha venido realizando por software especializado en elementos finitos.

**Tabla IV.78:** Analisis de la reducción del tiempo de procesamiento de resultados.

| Tiempo de procesamiento de datos para el analisis de resistencia |           |              |                          |                                 |                          |                                     |
|--|-----------|--------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Item   | Parte     | Espesor (mm) | Tiempo procesamiento MEF | Tiempo procesamiento Metamodelo | % de reduccion de tiempo | Optimiza el tiempo de procesamiento |
| 1  | Tubo pata | 1            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
|  |           | 2            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
|  |           | 3            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
| 2  | Tubo base | 1            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
|  |           | 2            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
|  |           | 3            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
| 3  | Tubo codo | 1            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
|  |           | 2            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |
|  |           | 3            | 28800                    | 1                               | 99,99%                   | SI                                  |

[Autor]

La Tabla IV.65 muestra el porcentaje de error que se tiene en los datos obtenidos del análisis de la resistencia del asiento de bus urbano mediante el modelo simplificado

**Tabla IV.79:** Analisis del porcentaje de error en el análisis de resistencia según NTE INEN 2708.

| % de error de desplazamiento para analisis de resistencia |           |              |                                  |                        |
|---|-----------|--------------|----------------------------------|------------------------|
| Item  | Parte     | Espesor (mm) | %error Resultados Metamodelo/MEF | % de error $\leq 10\%$ |
| 4   | Tubo pata | 1            | 2%                               | SI                     |
|   |           | 2            | 1%                               | SI                     |
|   |           | 3            | 1%                               | SI                     |
| 5   | Tubo base | 1            | 1%                               | SI                     |
|   |           | 2            | 10%                              | SI                     |
|   |           | 3            | 2%                               | SI                     |
| 6   | Tubo codo | 1            | 2%                               | SI                     |
|   |           | 2            | 10%                              | SI                     |
|   |           | 3            | 1%                               | SI                     |

[Autor]

Según lo presentado en la Tabla IV.64 y Tabla IV.65, se acepta la H0 hipótesis nula y se rechaza Ha hipótesis alternativa luego de analizar los resultados obtenidos mediante el metamodelo de simulación y el modelo por elementos finitos se verifico que el tiempo de procesamiento se redujo en un 99,99% del tiempo de procesamiento con el uso del modelo simplificado.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- Se analizó los resultados obtenidos mediante el modelo de elementos finitos evaluando según los criterios de aceptabilidad de la normativa[1], identificando los nodos 8856, 11324, 8879, 8758, 11266, 11899, 297, 352, 389, 228, 2964 y 3667 determinando así el modo de colapso y el comportamiento del asiento ante la aplicación de las cargas, como parte de la definición del metamodelo.
- Mediante la selección de un tipo de elemento se logró obtener la matriz rigidez equivalente por medio de áreas e inercias equivalentes de las partes del asiento de bus urbano formando así los elementos constitutivos del metamodelo de simulación para posteriormente con cada una de las rigideces equivalentes se ensambló para obtener la matriz global del asiento de bus urbano.
- Mediante la utilización del metamodelo equivalente propuesto permite evaluar la resistencia del asiento de bus urbano mediante criterios de aceptabilidad de la normativa [1],el mismo cuenta con 11 elementos y 12 nodos los que dan lugar a la reproducción del modo de colapso de la estructura.
- Contrastando los resultados obtenidos mediante los métodos propuestos y se verifico que el metamodelo tiene un 97% de efectividad en la reproducción de los desplazamientos horizontales necesarios para la evaluación mediante los criterios de aceptación de la normativa [1].
- Con la utilización de metamodelos de simulación se puede optimizar el tiempo de procesamiento de resultados como el caso de la presente investigación donde de un promedio de 8 horas (28800 seg.) mediante el método de elementos finitos a 3 segundos mediante la utilización del metamodelo de



simulación. Representando porcentualmente una reducción del 99,99% del tiempo normalmente empleado para el análisis.

- Se concluye que la interacción de la platina que está en contacto con el piso no se reproduce de manera adecuada al aplicarse la carga mediante el modelo simplificado, ya que en este sector existe deformación plástica y el metamodelo tiene la limitación de no lograr representar este tipo de deformaciones.
- Mediante la interfaz gráfica se logró una interacción óptima entre el usuario y el metamodelo, permitiendo así un mejor manejo e interpretación de resultados, de tal manera que tanto usuarios con conocimientos acerca del tema como novatos en el campo puedan hacer uso del modelo simplificado con la utilización del manual de usuario.
- Se concluye que habiendo investigaciones previas sobre cualquier fenómeno resulta ampliamente beneficioso la implementación de un metamodelo de simulación ya que permite la reducción de tiempo de procesamiento y optimización de recursos computacionales y económicos, su alcance de acuerdo a la complejidad del elemento que se utilice se puede lograr reproducir el modo de colapso de una estructura mas grande como la del mismo bus urbano.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda avanzar en el campo de la elaboración de metamodelos de simulación ya que permite la optimización del costo computacional, permite la utilización de computadores de menor capacidad y reduce el tiempo de análisis obteniendo resultados óptimos.
- En la presente investigación se logró representar la parte estática omitiendo los términos relacionados con el tiempo y la deformación plástica, se plantea que en futuras investigaciones se intervenga en la parte dinámica haciendo uso de elementos más completos que logren la reproducción del modo de colapso de manera más óptima.

- Se recomienda revisar la bibliografía[18], la cual se convierte en una herramienta fundamental a la hora de realizar la resolución de matrices enfocado a los elementos finitos, permitiendo simplificar el procesamiento de elementos más complejos con los que se pueda incluir la parte dinámica.
- De la presente investigación se derivó un proyecto en conjunto con estudiantes de octavo semestre de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato donde se diseñó y construyó un banco de pruebas estáticas según la normativa NTE INEN 2708[1], el cual se recomienda proponer como proyecto su repotenciación, ya que según la realidad de nuestro país sería una herramienta muy útil para los constructores de asientos en el proceso de homologación.
- Se recomienda ampliar el campo de aplicabilidad de los modelos simplificados o metamodelos, ya que la realidad del país nos obliga a tener una capacidad de respuesta óptima sin descuidar la precisión de resultados, cabe mencionar que el uso del metamodelo implica una reducción del costo computacional y lograr una mayor competitividad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Norma Técnica Ecuatoriana 2708». 2013.
- [2] G. Svarzman, «Proyecto BID-FOMIN-AGENCIA DAT Rosario», Centro de Servicios para el Diseño de Productos Industriales Programa DATICs, Argentina, 2013.
- [3] J. Bonilla, «Diseño y construcción de un maniquí tridimensional para determinar el punto H en las plazas de asientos en los vehículos a motor para el laboratorio de la facultad de ingeniería mecánica.», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [4] A. Remache, «Estudio de los anclajes de asientos de autobús en un impacto frontal para determinar las deformaciones y esfuerzos máximos en la empresa miviltech soluciones industriales S.A», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [5] F. Astudillo, «Análisis mediante el método de elementos finitos del ensayo estático según la norma INEN 2708 de la estructura del asiento de transporte público

interprovincial para verificar su conformidad en la empresa Sistemas de Asientos American», 2016.

[6] M. Absolo, «Metamodelo para la simulación y optimización de secuencias de atornillado en uniones de torres de aerogenerador», Universidad del país Vasco, Bilbao, 2011.

[7] S. Kang y B. K. Chun, «An effective approach to prediction of the collapse mode in automotive seat structure», p. 13, 2000.

[8] S. K. Kim, S. W. White, A. K. Bajaj, y P. Davies, «Simplified models of the vibration of mannequins in car seats», p. 42, 2003.

[9] Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, «Reglamento técnico RTE INEN 034», 2010.

[10] D. Núñez y C. Arroba, «Análisis de la estructura y anclaje de asientos de pasajeros para autobuses interprovinciales bajo legislaciones, utilizando técnicas de simulación en software de elementos finitos», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.

[11] D. Cruz y F. Amboya, «Diseño y Construcción de un Equipo de Ensayos para Pruebas de Deformación y Resistencia de Asientos y Espaldares de Poliuretano para Autobuses.», 2011.

[12] R. Budynas y K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: Mc Graw Hill, 2008.

[13] E. Tarifa, «Teoría de modelos y simulación», Univeridad Nacional de Jujuy.

[14] S. Vineze y Z. Tatai, «Simulations of bus-seat impact tests according to ECE regulations», n.º 98, p. 5.

[15] L. Daryl La, *A First Course in the Finite Element Method*, Fourth. THOMPSON.

[16] T. W. Simpson, J. D. Poplinski, P. N. Koch, y J. K. Allen, «Metamodels for Computer-based Engineering Design: Survey and recommendations», *Eng. Comput.*, vol. 17, n.º 2, pp. 129-150, jul. 2001.

[17] MATLAB, *MATLAB, App building*. MathWorks.

[18] P. Kattan, *MATLAB Guide to finite Elements*, Second. New York: Springer, 2008.

[19] Economic Commission for Europe, «Economic Commission for Europe Regulation 80». 2012.

[20] L. Martinez, «Análisis por el método de elementos finitos de los anclajes de cinturones de seguridad en asientos de autobús interprovincial para verificar su

resistencia según la norma NTE INEN 2704 en la empresa miviltech soluciones industriales S.A.», Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1



Quito – Ecuador

NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA

**NTE INEN 2708**  
2013-08

**VEHICULOS AUTOMOTORES. ASIENTOS DE VEHÍCULOS DE GRANDES DIMENSIONES PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS. RESISTENCIA DE LOS ASIENTOS Y DE SUS ANCLAJES. REQUISITOS Y MÉTODO DE ENSAYO**

MOTOR VEHICLES. SEATS OF LARGE PASSENGER VEHICLES. STRENGTH OF THE SEATS AND THEIR ANCHORAGES. REQUIREMENTS. TEST METHOD

---

Correspondencia: Esta norma es equivalente al Reglamento No. 80 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)- Asientos de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de pasajeros y de estos vehículos por lo que respecta a la resistencia de los asientos y de sus anclajes

---

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, Protección contra choques y sistemas de restricción, requisitos y métodos de ensayo  
ICS:43.040.80; 43.180

28  
páginas

## ANEXO 2

```
!*
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural
!*
/PREP7
ET,1,BEAM188
MP,EX,1,210E3
MP,PRXY,1,0.3
MP,EX,2,2100
MP,PRXY,2,0.3
SECTYPE, 1, BEAM, CTUBE, PATAS, 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,16,21,0,0,0,0,0,0,0,0,0
SECTYPE, 2, BEAM, HREC, TUBOS, 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,36,37,4,4,9,6,0,0,0,0,0
SECTYPE, 3, BEAM, HREC, ESPALDAR, 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,18,18,2,2,2,2,0,0,0,0,0
SECTYPE, 4, BEAM, RECT, PLASTICO, 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,20,20,0,0,0,0,0,0,0,0,0
SECTYPE, 5, BEAM, CTUBE, ANCLAJES, 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,4,8,6,8,0,0,0,0,0,0,0
N,1,0,0
N,2,98,183
N,3,12,350
N,4,-77,350
N,5,-166,450
N,6,-170,610
N,7,-166,700
N,8,-242,1040
N,9,115,0
N,10,-115,0
N,11,115,-50
N,12,-115,-50
EN,1,1,2
EN,2,2,3
SECN,5
EN,8,1,9
EN,9,1,10
EN,10,9,11
EN,11,10,12
SECN,2
EN,3,3,4
SECN,3
EN,4,4,5
EN,5,5,6
MAT,1
SECN,4
EN,6,6,7
EN,7,7,8
D,11,ALL
D,12,ALL
FLST,2,10,1,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-10
!*
/GO
D,P51X,, , ,UZ,ROTX,ROTY, , ,
F,5,FX,700
F,7,FX,2000
FINISH
/SOLU
SOLVE
FINISH
```

```
/POST1
!*
PRNSOL,U,X
```

## ANEXO 3

### PANTALLA PRINCIPAL

```
function varargout = PANTALLA_PRINCIPAL(varargin)
% PANTALLA_PRINCIPAL MATLAB code for PANTALLA_PRINCIPAL.fig
% PANTALLA_PRINCIPAL, by itself, creates a new PANTALLA_PRINCIPAL or raises the
existing
% singleton*.
%
% H = PANTALLA_PRINCIPAL returns the handle to a new PANTALLA_PRINCIPAL or the
handle to
% the existing singleton*.
%
% PANTALLA_PRINCIPAL('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
function named CALLBACK in PANTALLA_PRINCIPAL.M with the given input
arguments.
%
% PANTALLA_PRINCIPAL('Property','Value',...) creates a new PANTALLA_PRINCIPAL or
raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before PANTALLA_PRINCIPAL_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to PANTALLA_PRINCIPAL_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help PANTALLA_PRINCIPAL
% Last Modified by GUIDE v2.5 24-Jul-2018 19:16:09
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @PANTALLA_PRINCIPAL_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @PANTALLA_PRINCIPAL_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before PANTALLA_PRINCIPAL is made visible.
function PANTALLA_PRINCIPAL_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
axes(handles.axes1);
imshow(imread('ASIENTO.png'));
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to PANTALLA_PRINCIPAL (see VARARGIN)
% Choose default command line output for PANTALLA_PRINCIPAL
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% UIWAIT makes PANTALLA_PRINCIPAL wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = PANTALLA_PRINCIPAL_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
```



```

% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% --- Executes on button press in EJECUTAR_CALCULO.
function EJECUTAR_CALCULO_Callback(hObject, eventdata, handles)
global F1
global F2
global theta
global alpha
global gama
D1=90
D2=90
D3=180
D4=0
5=theta
D6=180-alpha
D7=180
D8=135
D9=gama
D10=gama
D11=gama
global L1
global L2
global L3
global L4
global L5
global L6
global L7
global L8
global L9
global L10
global L11
global A1
A2=A1
T1=15.2
T2=2
A3=(T2*T1)+(T2*(T1-T2))
A4=A3
global A5
A6=A5
global A8
global A71
A7=(A8+A71)
A9=A8
A10=128
A11=128
global E1
E2=E1
E3=E1
E4=E1
global E5
E6=E5
global E7
global E8
E9=E8
E10=E8
E11=E8
global I1
I2=I1
Y3=((T1*T2)*(T2/2))+((T1-T2)*T2)*((T1-T2)/2+T2))/((T1*T2)+((T1-T2)*T2))
I3=((T1*(T2^3))/12)+((T1*T2)*(Y3-(T2/2)^2))+((T2*((T1-T2)^3))/12)+((T1-T2)*T2)*((Y3-((T1-T2)/2)-T2^2))
I4=I3
global I5
I6=I5
global lado2base
global I71
global I8
I7=I71
I9=I8

```



```

ry2=num2str(ry2);
set(handles.RY2,'String',ry2);

ry4=(u(5,1));
ry4=num2str(ry4);
set(handles.RY4,'String',ry4);
ry5=(u(8,1));
ry5=num2str(ry5);
set(handles.RY5,'String',ry5);
ry6=(u(11,1));
ry6=num2str(ry6);
set(handles.RY6,'String',ry6);
ry7=(u(14,1));
ry7=num2str(ry7);
set(handles.RY7,'String',ry7);
ry8=(u(17,1));
ry8=num2str(ry8);
set(handles.RY8,'String',ry8);
ry9=(u(20,1));
ry9=num2str(ry9);
set(handles.RY9,'String',ry9);
ry10=(u(23,1));
ry10=num2str(ry10);
set(handles.RY10,'String',ry10);
ry11=(u(26,1));
ry11=num2str(ry11);
set(handles.RY11,'String',ry11);
ry12=(u(29,1));
ry12=num2str(ry12);
set(handles.RY12,'String',ry12);
axes(handles.axes1);
imshow(imread('DEFORMADO.png'));
% --- Executes on button press in GAFRICAR.
function GAFRICAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to GAFRICAR (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on button press in RESTAURAR_VALORES.
function RESTAURAR_VALORES_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to RESTAURAR_VALORES (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on button press in SALIR.
function SALIR_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to SALIR (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on button press in FUERZAS.
function FUERZAS_Callback(hObject, eventdata, handles)
FUERZAS_A
uiwait
global F1
global F2
set(handles.FUERZA_F1,'String',F1);
set(handles.FUERZA_F2,'String',F2);
% --- Executes on button press in FUERZA_2.
function FUERZA_2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to FUERZA_2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on button press in PATAS.
function PATAS_Callback(hObject, eventdata, handles)
PATAS_TUBO
uiwait
global E5
global P5
global A5
global I5
global diampata
global epatas
global ypatas
ypatas((((pi)*((diampata/2)^2)-((diampata-
(2*epatas))/2)^2)))*((diampata/2)^2)+((pi)*((diampata/2)^2)-((diampata-

```

```

(2*epatas)/2)^2)) * ((diampata/2)^2+54)) / ((pi) * ((diampata/2)^2) - (((diampata-
(2*epatas)/2)^2))) * 2);
A5=(pi * ((diampata/2)^2) - ((diampata - (2*epatas))/2)^2)) * 2;
I5=2 * ((pi/4) * ((diampata/2)^4) - ((diampata -
(2*epatas)/2)^4)) + ((pi) * ((diampata/2)^2) - ((diampata - (2*epatas))/2)^2)) * (27^2));
set(handles.AREA_5, 'String', A5);
set(handles.ELASTICO_5, 'String', E5);
set(handles.INERCIA_5, 'String', I5);
set(handles.POSSION_5, 'String', P5);
% --- Executes on button press in BASE.
function BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
BASE_A
uiwait
global E7
global P7
global A71
global I71
global ladolbase
global ladolsoporte
global ebase
global ybase
global esoporte
a1=((ladolbase^2)-(ladolbase-(2*ebase))^2)
a2=((ladolsoporte^2)-(ladolsoporte-(2*esoporte))^2)
a3=128
ybase=((a1*(ladolbase/2))+(a2*(ladolsoporte/2+ladolbase))+(128*(9+ladolsoporte+ladolb
ase)))/A71
A71=a1+a2+a3
I71=((1/12)*((ladolbase^4)-((ladolbase-(2*ebase))^4)))+(a1*(ybase-
(ladolbase/2))^2)+((1/12)*((ladolsoporte^4)-((ladolsoporte-
(2*esoporte))^4)))+(a2*(ybase-(ladolsoporte/2)-ladolbase)^2)+((1/12)*((18^4)-((18-
(4))^4)))+(128*(ybase-(18/2)-ladolbase-ladolsoporte)^2)
set(handles.AREA_71, 'String', A71);
set(handles.ELASTICO_7, 'String', E7);
set(handles.INERCIA_71, 'String', I71);
set(handles.POSSION_71, 'String', P7);
% --- Executes on button press in SOPORTE_ESPALDAR.
function SOPORTE_ESPALDAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
SOPORTE_ESPALDAR_A
uiwait
global E8
global P8
global A8
global I8
global ladolsoporte
global esoporte
global ysoporte
A8=((ladolsoporte^2)-(ladolsoporte-(2*esoporte))^2)+128;
ysoporte=(((ladolsoporte^2)-(ladolsoporte-
(2*esoporte))^2)*(ladolsoporte/2)+(128*(9+ladolsoporte)))/A8
I8=((1/12)*((ladolsoporte^4)-((ladolsoporte-(2*esoporte))^4)))+(((ladolsoporte^2)-
((ladolsoporte-(2*esoporte))^2)*(ysoporte-(ladolsoporte/2))^2)+((1/12)*((18^4)-((18-
(4))^4)))+(128*(ysoporte-(18/2)-ladolsoporte)^2)
set(handles.AREA_8, 'String', A8);
set(handles.ELASTICO_8, 'String', E8);
set(handles.INERCIA_8, 'String', I8);
set(handles.POSSION_8, 'String', P8);
% --- Executes on button press in ESPALDAR.
function ESPALDAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ESPALDAR (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% --- Executes on button press in PERNO.
function PERNO_Callback(hObject, eventdata, handles)
PERNO_A
uiwait
global E1
global P1
global A1
global I1
global lperno
global dpernos
global diamperno

```

```

global L1
global L2
global L3
global L4
L1=lperno;
L2=L1;
L3=dpernos/2;
L4=L3;
A1=pi*((diamperno/2)^2)
I1=(pi/4)*((diamperno/2)^4)
set(handles.LONGITUD_1,'String',L1);
set(handles.LONGITUD_2,'String',L2);
set(handles.LONGITUD_3,'String',L3);
set(handles.LONGITUD_4,'String',L4);
set(handles.AREA_1,'String',A1);
set(handles.ELASTICO_1,'String',E1);
set(handles.INERCIA_1,'String',I1);
set(handles.POSSION_1,'String',P1);
% --- Executes on button press in GEOMETRIA_GENERAL.
function GEOMETRIA_GENERAL_Callback(hObject, eventdata, handles)
GEOMETRIA
uiwait
global hpata
global theta
global alpha
global gama
global hestructura
global base
global medidac
global httotal
global omega
global hf1
global hf2
global S5
global S6
global S7
global S8
global S9
global S10
global S11
global L5
global L6
global L7
global L8
global L9
global L10
global L11
thetag = theta*pi/180;
alphag = alpha*pi/180;
omega = 180-gama;
omegag = omega*pi/180;
S5=sin(thetag);
S6=sin(alphag);
S7=sin(pi);
S8=sin((45*pi)/180);
S9=sin(omegag);
S10=S9;
S11=S9;
L5=(hpata/2)/S5;
L6=(hpata/2)/S6;
L7=base/2;
L8=((hf1-hpata)^2+(medidac-base)^2)^0.5;
L9=(heestructura-hf1)/S9;
L10=(hf2-heestructura)/S10;
L11=(httotal-hf2)/S11;
set(handles.LONGITUD_5,'String',L5);
set(handles.LONGITUD_6,'String',L6);
set(handles.LONGITUD_7,'String',L7);
set(handles.LONGITUD_8,'String',L8);
set(handles.LONGITUD_9,'String',L9);
set(handles.LONGITUD_10,'String',L10);
set(handles.LONGITUD_11,'String',L11);
set(handles.ALTURA_F1,'String',hf1);

```

```
set(handles.ALATURA_F2,'String',hf2);
```

## Lineas programación BASE\_A

```
function varargout = BASE_A(varargin)
% BASE_A MATLAB code for BASE_A.fig
%   BASE_A, by itself, creates a new BASE_A or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = BASE_A returns the handle to a new BASE_A or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   BASE_A('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in BASE_A.M with the given input arguments.
%
%   BASE_A('Property','Value',...) creates a new BASE_A or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before BASE_A_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to BASE_A_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help BASE_A
% Last Modified by GUIDE v2.5 25-Jun-2018 23:18:19
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @BASE_A_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @BASE_A_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before BASE_A is made visible.
function BASE_A_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to BASE_A (see VARARGIN)
% Choose default command line output for BASE_A
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% UIWAIT makes BASE_A wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = BASE_A_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% --- Executes on selection change in MATERIAL_BASE.
function MATERIAL_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
global E7
global P7
Material=get(hObject,'String');
```

```

Posicion=get(hObject,'Value');
E=Material(Posicion);
switch cell2mat(E)
    case 'Acero AISI 1010 laminado en caliente',
        E7=200000;
        P7=0.29;
    case 'Acero AISI 1020 laminado en frio',
        E7=205000;
        P7=0.29;
    case 'Acero ASTM A36',
        E7=210000;
        P7=0.26;
end

set(handles.E_BASE,'String',E7);
set(handles.POSSION_BASE,'String',P7);

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns MATERIAL_BASE contents as
cell array
%         contents(get(hObject,'Value')) returns selected item from MATERIAL_BASE

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function MATERIAL_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to MATERIAL_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in ACCEPTAR.
function ACCEPTAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
global E7
global P7
global ladolbase
global ebase
ladolbase=str2double(get(handles.LADO1_BASE,'String'));
ebase=str2double(get(handles.ESPESOR_BASE,'String'));
close BASE_A
function E_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to E_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of E_BASE as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of E_BASE as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function E_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to E_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function POSSION_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to POSSION_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of POSSION_BASE as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of POSSION_BASE as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function POSSION_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to POSSION_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function LAD01_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LAD01_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of LAD01_BASE as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of LAD01_BASE as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function LAD01_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LAD01_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function LAD02_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LAD02_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of LAD02_BASE as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of LAD02_BASE as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function LAD02_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LAD02_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ESPESOR_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ESPESOR_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ESPESOR_BASE as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ESPESOR_BASE as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ESPESOR_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ESPESOR_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

## FUERZAS\_A

```

function varargout = FUERZAS_A(varargin)
% FUERZAS_A MATLAB code for FUERZAS_A.fig
%   FUERZAS_A, by itself, creates a new FUERZAS_A or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = FUERZAS_A returns the handle to a new FUERZAS_A or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   FUERZAS_A('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in FUERZAS_A.M with the given input arguments.
%

```



```

% FUERZAS_A('Property','Value',...) creates a new FUERZAS_A or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before FUERZAS_A_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to FUERZAS_A_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help FUERZAS_A

% Last Modified by GUIDE v2.5 26-Jun-2018 02:29:29

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',           mfilename, ...
                  'gui_Singleton',      gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',     @FUERZAS_A_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',     @FUERZAS_A_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',     [] , ...
                  'gui_Callback',       []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before FUERZAS_A is made visible.
function FUERZAS_A_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to FUERZAS_A (see VARARGIN)
% Choose default command line output for FUERZAS_A
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes FUERZAS_A wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = FUERZAS_A_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
function FUERZA_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to FUERZA_1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of FUERZA_1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of FUERZA_1 as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function FUERZA_1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to FUERZA_1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function FUERZA_2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to FUERZA_2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of FUERZA_2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of FUERZA_2 as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function FUERZA_2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to FUERZA_2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ALTURA_F1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_F1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ALTURA_F1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ALTURA_F1 as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ALTURA_F1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_F1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ALTURA_F2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_F2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ALTURA_F2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ALTURA_F2 as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ALTURA_F2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_F2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in ACEPTAR.
function ACEPTAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
global F1
global F2
F1=str2double(get(handles.FUERZA_1,'String'));
F2=str2double(get(handles.FUERZA_2,'String'));
close FUERZAS_A

```

## GEOMETRIA

```

GEOMETRIA MATLAB code for GEOMETRIA.fig
%     GEOMETRIA, by itself, creates a new GEOMETRIA or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = GEOMETRIA returns the handle to a new GEOMETRIA or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     GEOMETRIA('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local

```

```

%      function named CALLBACK in GEOMETRIA.M with the given input arguments.
%
%      GEOMETRIA('Property','Value',...) creates a new GEOMETRIA or raises the
%      existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%      applied to the GUI before GEOMETRIA_OpeningFcn gets called. An
%      unrecognized property name or invalid value makes property application
%      stop. All inputs are passed to GEOMETRIA_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help GEOMETRIA

% Last Modified by GUIDE v2.5 24-Jul-2018 01:20:36

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GEOMETRIA_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @GEOMETRIA_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before GEOMETRIA is made visible.
function GEOMETRIA_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GEOMETRIA (see VARARGIN)
% Choose default command line output for GEOMETRIA
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% UIWAIT makes GEOMETRIA wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = GEOMETRIA_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
function ALTURA_PATAS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_PATAS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ALTURA_PATAS as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ALTURA_PATAS as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ALTURA_PATAS_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_PATAS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

end
function ANGULO_PATAS1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANGULO_PATAS1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ANGULO_PATAS1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ANGULO_PATAS1 as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ANGULO_PATAS1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANGULO_PATAS1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ANGULO_PATAS2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANGULO_PATAS2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ANGULO_PATAS2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ANGULO_PATAS2 as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ANGULO_PATAS2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANGULO_PATAS2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ALTURA_ESTRUCTURA_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_ESTRUCTURA (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ALTURA_ESTRUCTURA as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ALTURA_ESTRUCTURA as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ALTURA_ESTRUCTURA_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_ESTRUCTURA (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ANCHO_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANCHO_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ANCHO_BASE as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ANCHO_BASE as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ANCHO_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANCHO_BASE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ANGULO_ESPALDAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANGULO_ESPALDAR (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ANGULO_ESPALDAR as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ANGULO_ESPALDAR as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ANGULO_ESPALDAR_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANGULO_ESPALDAR (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ALTURA_TOTAL_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_TOTAL (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ALTURA_TOTAL as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ALTURA_TOTAL as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ALTURA_TOTAL_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ALTURA_TOTAL (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in ACEPTAR.
function ACEPTAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
global hpata
global theta
global hf1
global hf2
global alpha
global gama
global hestructura
global base
global httotal
global medidac
hpata=str2double(get(handles.ALTURA_PATAS,'String'));
theta=str2double(get(handles.ANGULO_PATAS1,'String'));
alpha=str2double(get(handles.ANGULO_PATAS2,'String'));
gama=str2double(get(handles.ANGULO_ESPALDAR,'String'));
hestructura=str2double(get(handles.ALTURA_ESTRUCTURA,'String'));
base=str2double(get(handles.ANCHO_BASE,'String'));
httotal=str2double(get(handles.ALTURA_TOTAL,'String'));
hf1=str2double(get(handles.ALTURA_FUERZA1,'String'));
hf2=str2double(get(handles.ALTURA_FUERZA2,'String'));
medidac=str2double(get(handles.ESPALDAR_BASE,'String'));
close GEOMETRIA
% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
function ALTURA_FUERZA1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ALTURA_FUERZA1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ALTURA_FUERZA1 as text
%            str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ALTURA_FUERZA1 as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ALTURA_FUERZA1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ALTURA_FUERZA1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%            See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ALTURA_FUERZA2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ALTURA_FUERZA2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ALTURA_FUERZA2 as text
%            str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ALTURA_FUERZA2 as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ALTURA_FUERZA2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ALTURA_FUERZA2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%            See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ESPALDAR_BASE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ESPALDAR_BASE (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ESPALDAR_BASE as text
%            str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ESPALDAR_BASE as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ESPALDAR_BASE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ESPALDAR_BASE (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%            See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

## PATAS\_TUBO

```

function varargout = PATAS_TUBO(varargin)
% PATAS_TUBO MATLAB code for PATAS_TUBO.fig
%     PATAS_TUBO, by itself, creates a new PATAS_TUBO or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = PATAS_TUBO returns the handle to a new PATAS_TUBO or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     PATAS_TUBO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%     function named CALLBACK in PATAS_TUBO.M with the given input arguments.
%
%     PATAS_TUBO('Property','Value',...) creates a new PATAS_TUBO or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are

```

```

%      applied to the GUI before PATAS_TUBO_OpeningFcn gets called. An
%      unrecognized property name or invalid value makes property application
%      stop. All inputs are passed to PATAS_TUBO_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help PATAS_TUBO

% Last Modified by GUIDE v2.5 25-Jun-2018 02:00:04

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @PATAS_TUBO_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @PATAS_TUBO_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before PATAS_TUBO is made visible.
function PATAS_TUBO_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to PATAS_TUBO (see VARARGIN)
% Choose default command line output for PATAS_TUBO
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% UIWAIT makes PATAS_TUBO wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = PATAS_TUBO_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% --- Executes on selection change in MATERIAL_PATAS.
function MATERIAL_PATAS_Callback(hObject, eventdata, handles)
global E5
global P5
Material=get(hObject,'String');
Posicion=get(hObject,'Value');
E=Material(Posicion);
switch cell2mat(E)
    case 'Acero AISI 1010 laminado en caliente',
        E5=200000;
        P5=0.29;
    case 'Acero AISI 1020 laminado en frio',
        E5=205000;
        P5=0.29;
    case 'Acero ASTM A36',
        E5=210000;
        P5=0.26;
end
    set(handles.E_PATA,'String',E5);
    set(handles.POSSION_PATA,'String',P5);

```

```

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns MATERIAL_PATAS contents as
cell array
%         contents(get(hObject,'Value')) returns selected item from MATERIAL_PATAS
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function MATERIAL_PATAS_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to MATERIAL_PATAS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: popmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    function NUMERO_TUBOS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to NUMERO_TUBOS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of NUMERO_TUBOS as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of NUMERO_TUBOS as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function NUMERO_TUBOS_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to NUMERO_TUBOS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function DIAMETRO_TUBO_PATA_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DIAMETRO_TUBO_PATA (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of DIAMETRO_TUBO_PATA as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of DIAMETRO_TUBO_PATA as
a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function DIAMETRO_TUBO_PATA_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DIAMETRO_TUBO_PATA (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function ESPESOR_TUBO_PATA_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ESPESOR_TUBO_PATA (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ESPESOR_TUBO_PATA as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ESPESOR_TUBO_PATA as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ESPESOR_TUBO_PATA_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ESPESOR_TUBO_PATA (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

```



```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end
    function E_PATA_Callback(hObject, eventdata, handles)
    % hObject    handle to E_PATA (see GCBO)
    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
    % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    % Hints: get(hObject,'String') returns contents of E_PATA as text
    %          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of E_PATA as a double
    % --- Executes during object creation, after setting all properties.
    function E_PATA_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    % hObject    handle to E_PATA (see GCBO)
    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
    % handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
    % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
    %          See ISPC and COMPUTER.
    if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end
    function POSSION_PATA_Callback(hObject, eventdata, handles)
    % hObject    handle to POSSION_PATA (see GCBO)
    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
    % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
    % Hints: get(hObject,'String') returns contents of POSSION_PATA as text
    %          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of POSSION_PATA as a
    double
    % --- Executes during object creation, after setting all properties.
    function POSSION_PATA_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    % hObject    handle to POSSION_PATA (see GCBO)
    % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
    % handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
    % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
    %          See ISPC and COMPUTER.
    if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
    get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end
    % --- Executes on button press in ACCEPTAR.
    function ACCEPTAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
    global E5
    global P5
    global diampata
    global epatas
    diampata=str2double(get(handles.DIAMETRO_TUBO_PATA,'String'));
    epatas=str2double(get(handles.ESPESOR_TUBO_PATA,'String'));
    close PATAS_TUBO

```

## PERNO\_A

```

function varargout = PERNO_A(varargin)
% PERNO_A MATLAB code for PERNO_A.fig
%   PERNO_A, by itself, creates a new PERNO_A or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = PERNO_A returns the handle to a new PERNO_A or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   PERNO_A('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in PERNO_A.M with the given input arguments.
%
%   PERNO_A('Property','Value',...) creates a new PERNO_A or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before PERNO_A_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to PERNO_A_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".

```

```

%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help PERNO_A
% Last Modified by GUIDE v2.5 26-Jun-2018 01:49:54
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @PERNO_A_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @PERNO_A_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before PERNO_A is made visible.
function PERNO_A_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to PERNO_A (see VARARGIN)
% Choose default command line output for PERNO_A
handles.output = hObject;
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
% UIWAIT makes PERNO_A wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = PERNO_A_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
% --- Executes on selection change in MATERIAL.
function MATERIAL_Callback(hObject, eventdata, handles)
global E1
global P1
Material=get(hObject,'String');
Posicion=get(hObject,'Value');
E=Material(Posicion);
switch cell2mat(E)
    case 'Acero ASTM A36',
        E1=210000;
        P1=0.26;
end

set(handles.E_PERNO,'String',E1);
set(handles.POSION_PERNO,'String',P1);

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns MATERIAL contents as cell
array
%         contents(get(hObject,'Value')) returns selected item from MATERIAL
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function MATERIAL_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to MATERIAL (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function DISTANCIA_PERNOS_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to DISTANCIA_PERNOS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of DISTANCIA_PERNOS as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of DISTANCIA_PERNOS as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function DISTANCIA_PERNOS_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DISTANCIA_PERNOS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function DIAMETRO_PERNO_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DIAMETRO_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of DIAMETRO_PERNO as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of DIAMETRO_PERNO as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function DIAMETRO_PERNO_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to DIAMETRO_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function LONGITUD_PERNO_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LONGITUD_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of LONGITUD_PERNO as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of LONGITUD_PERNO as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function LONGITUD_PERNO_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LONGITUD_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% --- Executes on button press in ACEPTAR.
function ACEPTAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
global E1
global P1
global lperno
global dpernos
global diamperno
lperno=str2double(get(handles.LONGITUD_PERNO,'String'));
dpernos=str2double(get(handles.DISTANCIA_PERNOS,'String'));
diamperno=str2double(get(handles.DIAMETRO_PERNO,'String'));
close PERNO_A
% --- Executes on button press in CANCELAR.
function CANCELAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
close PERNO_A
function E_PERNO_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to E_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of E_PERNO as text

```

```

%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of E_PERNO as a double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function E_PERNO_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to E_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function POSSION_PERNO_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to POSSION_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of POSSION_PERNO as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of POSSION_PERNO as a
double
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function POSSION_PERNO_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to POSSION_PERNO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end

```

## FUNCION PLANEFRAMEASSEMBLE

```

function y = PlaneFrameAssemble(K,k,i,j)
%PlaneFrameAssemble This function assembles the element stiffness
% matrix k of the plane frame element with nodes
% i and j into the global stiffness matrix K.
% This function returns the global stiffness
% matrix K after the element stiffness matrix
% k is assembled.
K(3*i-2,3*i-2) = K(3*i-2,3*i-2) + k(1,1);
K(3*i-2,3*i-1) = K(3*i-2,3*i-1) + k(1,2);
K(3*i-2,3*i) = K(3*i-2,3*i) + k(1,3);
K(3*i-2,3*j-2) = K(3*i-2,3*j-2) + k(1,4);
K(3*i-2,3*j-1) = K(3*i-2,3*j-1) + k(1,5);
K(3*i-2,3*j) = K(3*i-2,3*j) + k(1,6);
K(3*i-1,3*i-2) = K(3*i-1,3*i-2) + k(2,1);
K(3*i-1,3*i-1) = K(3*i-1,3*i-1) + k(2,2);
K(3*i-1,3*i) = K(3*i-1,3*i) + k(2,3);
K(3*i-1,3*j-2) = K(3*i-1,3*j-2) + k(2,4);
K(3*i-1,3*j-1) = K(3*i-1,3*j-1) + k(2,5);
K(3*i-1,3*j) = K(3*i-1,3*j) + k(2,6);
K(3*i,3*i-2) = K(3*i,3*i-2) + k(3,1);
K(3*i,3*i-1) = K(3*i,3*i-1) + k(3,2);
K(3*i,3*i) = K(3*i,3*i) + k(3,3);
K(3*i,3*j-2) = K(3*i,3*j-2) + k(3,4);
K(3*i,3*j-1) = K(3*i,3*j-1) + k(3,5);
K(3*i,3*j) = K(3*i,3*j) + k(3,6);
K(3*j-2,3*i-2) = K(3*j-2,3*i-2) + k(4,1);
K(3*j-2,3*i-1) = K(3*j-2,3*i-1) + k(4,2);
K(3*j-2,3*i) = K(3*j-2,3*i) + k(4,3);
K(3*j-2,3*j-2) = K(3*j-2,3*j-2) + k(4,4);
K(3*j-2,3*j-1) = K(3*j-2,3*j-1) + k(4,5);
K(3*j-2,3*j) = K(3*j-2,3*j) + k(4,6);
K(3*j-1,3*i-2) = K(3*j-1,3*i-2) + k(5,1);
K(3*j-1,3*i-1) = K(3*j-1,3*i-1) + k(5,2);
K(3*j-1,3*i) = K(3*j-1,3*i) + k(5,3);
K(3*j-1,3*j-2) = K(3*j-1,3*j-2) + k(5,4);
K(3*j-1,3*j-1) = K(3*j-1,3*j-1) + k(5,5);
K(3*j-1,3*j) = K(3*j-1,3*j) + k(5,6);
K(3*j,3*i-2) = K(3*j,3*i-2) + k(6,1);

```

```

K(3*j,3*i-1) = K(3*j,3*i-1) + k(6,2);
K(3*j,3*i) = K(3*j,3*i) + k(6,3);
K(3*j,3*j-2) = K(3*j,3*j-2) + k(6,4);
K(3*j,3*j-1) = K(3*j,3*j-1) + k(6,5);
K(3*j,3*j) = K(3*j,3*j) + k(6,6);
y = K;
end

```

## FUNCION PLANE FRAME ELEMENT STIFFNESS

```

function y = PlaneFrameElementStiffness(E,A,I,L,theta)
%PlaneFrameElementStiffness This function returns the element
% stiffness matrix for a plane frame
% element with modulus of elasticity E,
% cross-sectional area A, moment of
% inertia I, length L, and angle
% theta (in degrees).
% The size of the element stiffness
% matrix is 6 x 6.
x = theta*pi/180;
C = cos(x);
S = sin(x);
w1 = A*C*C + 12*I*S*S/(L*L);
w2 = A*S*S + 12*I*C*C/(L*L);
w3 = (A-12*I/(L*L))*C*S;
w4 = 6*I*S/L;
w5 = 6*I*C/L;
y = E/L*[w1 w3 -w4 -w1 -w3 -w4 ; w3 w2 w5 -w3 -w2 w5;
-w4 w5 4*I w4 -w5 2*I ; -w1 -w3 w4 w1 w3 w4;
-w3 -w2 -w5 w3 w2 -w5 ; -w4 w5 2*I w4 -w5 4*I];
end

```

## ANEXO 4

### Manual de usuario de interfaz gráfica del metamodelo de simulación

En la pantalla principal tenemos botones que presionándolos nos abrirá una nueva ventana para ingresar las características de los elementos que son necesarios detallar para obtener los resultados.

Metamodelo de simulación (Evaluación de desplazamientos producidos en asiento urbano)

PASO 1 **Geometría**

| Geometría | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | L10 | L11 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| -         | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | -   |

PASO 2 **Tubo pata**

PASO 3 **Tubo base**

PASO 4 **Tubo codo**

PASO 5 **Perno**

| Material y sección | Módulo elástico (E)<br>N/mm <sup>2</sup> | Área (A)<br>mm <sup>2</sup> | Inercia (I)<br>mm <sup>4</sup> | Coefficiente de Poisson |
|--------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| -                  | -  | -                           | -                              | -                       |

PASO 6 **Aplicación de fuerzas**

| Definir cargas    | Fuerza Aplicada | Altura de aplicación Fuerza |
|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| Fuerza Aplicada 2 | -               | -                           |
| Fuerza Aplicada 1 | -               | -                           |

PASO 7 **Ejecutar el cálculo**

Graficar Restaurar valores SALIR

Desplazamientos nodales del modelo simplificado

|   | Horizontal | Vertical |
|---|------------|----------|
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |
| - | -          | -        |

Aparecerá una ventana para detallar geometría

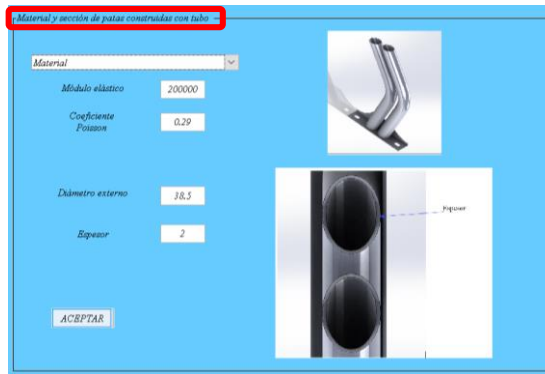
**Paso 1:** Dar clic en el botón GEOMETRIA, detallar cada una de las dimensiones solicitadas en la ventana según características del gráfico.

Geometría

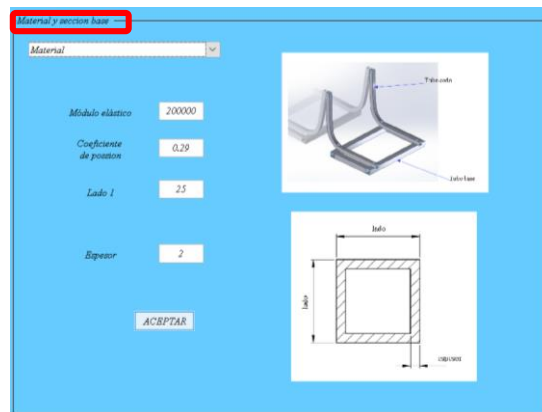
|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Altura de patas (ligatas)         | 140  |
| Ángulo $\theta_1$                 | 60   |
| Ángulo $\theta_2$                 | 60   |
| Altura de estructura (estructura) | 600  |
| Ancho de base (base)              | 235  |
| Ancho espaldar base (e)           | 295  |
| Ángulo $\theta_3$                 | 95   |
| Altura total (altura)             | 1000 |
| Altura de fuerza 2 (h(F2))        | 500  |
| Altura de fuerza 1 (h(F1))        | 750  |

ACEPTAR CANCELAR

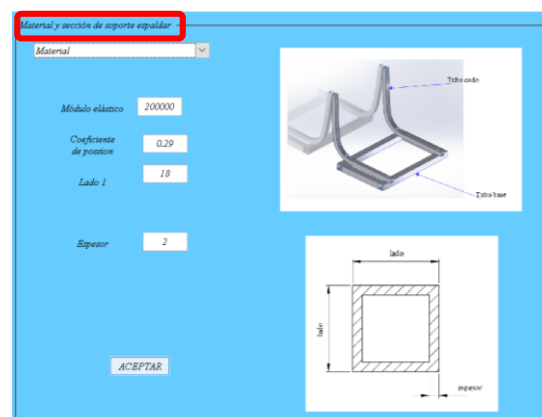
**Paso 2:** Dar clic en la pantalla principal en el botón TUBO PATA, detallar características solicitadas material y espesor.



**Paso 3:** Dar clic en la pantalla principal en el botón TUBO BASE, detallar características solicitadas material y espesor.



**Paso 4:** Dar clic en la pantalla principal en el botón TUBO CODO, detallar características solicitadas material y espesor.



**Paso 5:** Dar clic en la pantalla principal en el botón PERNO, detallar características solicitadas, se recomienda no cambiar la dimensión del perno.

Material y tipo de perno

Material:

Módulo elástico:

Coefficiente de poisson:

Distancia entre pernos:

Diametro:

Longitud:

ACEPTAR    CANCELAR

**Paso 6:** Dar clic en la pantalla principal en el botón APLICACIÓN DE FUERZAS, detallar magnitudes de cada una de las fuerzas según NTE INEN 2708, tomar en cuenta las alturas ingresadas previamente.

$$F1 = \frac{1000}{H1} \pm 50 \text{ Newton}$$

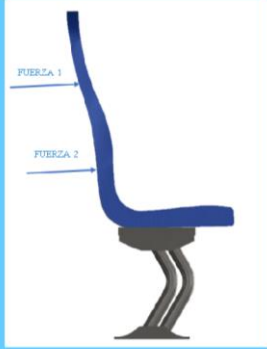
$$F2 = \frac{2000}{H2} \pm 100 \text{ Newton}$$

Aplicación de fuerzas

Fuerza 1:

Fuerza 2:

ACEPTAR



**Paso 7:** Una vez completado todos los campos dar clic en EJECUTAR EL CÁLCULO.

Metamodelo de simulación (Evaluación de desplazamientos producidos en asiento urbano)

Geometría

|  | L1 | L2 | L3 | L4 | L5      | L6      | L7    | L8     | L9      | L10     | L11     |
|--|----|----|----|----|---------|---------|-------|--------|---------|---------|---------|
|  | 25 | 25 | 90 | 90 | 196.299 | 196.299 | 117.5 | 170.88 | 100.382 | 150.573 | 250.955 |

Material y sección

|           | Módulo elástico (E)<br>N/mm <sup>2</sup> | Área (A)<br>mm <sup>2</sup> | Inercia (I)<br>mm <sup>4</sup> | Coefficiente de<br>Poisson |
|-----------|--|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Tubo pata | 200000                                   | 458.673                     | 410985                         | 0.29                       |
| Tubo base | 200000                                   | 440                         | 147762                         | 0.29                       |
| Tubo codo | 200000                                   | 256                         | 31829.3                        | 0.29                       |
| Perno     | 210000                                   | 126.677                     | 1276.98                        | 0.26                       |

Definir cargas

Aplicación de fuerzas

|                   | Fuerza Aplicada | Altura de aplicación<br>Fuerza |
|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| Fuerza Aplicada 2 | 4000            | 500                            |
| Fuerza Aplicada 1 | 1400            | 750                            |

Desplazamientos nodales del modelo simplificado

|         | Horizontal | Vertical |
|---------|------------|----------|
| Nodo 1  | -          | -        |
| Nodo 2  | -          | -        |
| Nodo 3  | -          | -        |
| Nodo 4  | -          | -        |
| Nodo 5  | -          | -        |
| Nodo 6  | -          | -        |
| Nodo 7  | -          | -        |
| Nodo 8  | -          | -        |
| Nodo 9  | -          | -        |
| Nodo 10 | -          | -        |
| Nodo 11 | -          | -        |
| Nodo 12 | -          | -        |
| Nodo 13 | -          | -        |
| Nodo 14 | -          | -        |
| Nodo 15 | -          | -        |

Solver y resultados

Ejecutar el cálculo

Graficar    Restaurar valores

SALIR





**Paso 8:** Finalmente podemos observar los resultados y el modo de colapso que tiene el asiento.

*Metamodelo de simulación (Evaluación de desplazamientos producidos en asiento urbano)*

| Geometría | L1 | L2 | L3 | L4 | L5      | L6      | L7    | L8     | L9      | L10     | L11     |
|-----------|----|----|----|----|---------|---------|-------|--------|---------|---------|---------|
| Geometría | 25 | 25 | 90 | 90 | 196.299 | 196.299 | 117.5 | 170.88 | 100.382 | 150.573 | 250.955 |

| Material y sección | Módulo elástico (E)<br>N/mm <sup>2</sup> | Área (A)<br>mm <sup>2</sup> | Inercia (I)<br>mm <sup>4</sup> | Coefficiente de Poisson |
|--------------------|--|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Tubo pata          | 200000                                   | 458.673                     | 410985                         | 0.29                    |
| Tubo base          | 200000                                   | 440                         | 147762                         | 0.29                    |
| Tubo codo          | 200000                                   | 256                         | 31829.3                        | 0.29                    |
| Perno              | 210000                                   | 126.677                     | 1276.98                        | 0.26                    |

| Definir cargas        | Fuerza Aplicada | Altura de aplicación<br>Fuerza |
|-----------------------|-----------------|--------------------------------|
| Aplicación de fuerzas |                 |                                |
| Fuerza Aplicada 2     | 4000            | 500                            |
| Fuerza Aplicada 1     | 1400            | 750                            |

| Solver y resultados |                   |
|---------------------|-------------------|
| Ejecutar el cálculo |                   |
| Graficar            | Restaurar valores |
| SALIR               |                   |

*Desplazamientos nodales del modelo simplificado*

| Horizontal | Vertical |
|------------|----------|
| 159.211    | 45.1799  |
| 112.421    | 41.0863  |
| 85.0604    | 38.6933  |
| 67.972     | 37.1985  |
| 48.5198    | 0.33806  |
| 48.5243    | 17.7688  |
| 0.06461    | -0.11209 |
| -0.12505   | 0.02024  |
| 23.9024    | -13.8681 |
| 0.21355    | -0.02024 |
| 0          | 0        |

## ANEXO 5

Ecuación matricial del metamodelo de simulación.

$$[F] = [K]/[u]$$

Despejando para obtener los desplazamientos nodales.

$$[u] = [F]/[K]$$

Donde:

Matriz desplazamiento

$$u = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \\ \delta_8 \\ \delta_9 \\ \delta_{10} \\ \delta_{11} \\ \delta_{12} \end{bmatrix} \text{ En cada nodo existen tres grados de libertad}$$

Matriz Fuerza

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_8 \\ F_9 \\ F_{10} \\ F_{11} \\ F_{12} \end{bmatrix} \text{ En cada nodo existen tres grados de libertad}$$

**Matriz rigidez global del metamodelo de simulación.**

$[K] =$

|           |           |           |                   |                    |                    |           |           |           |                   |                    |                    |                            |                             |                             |                   |                    |                    |   |   |   |
|-----------|-----------|-----------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---|---|---|
| $S_1T_1$  | $S_1U_1$  | $-S_1V_1$ | $-S_1T_1$         | $-S_1U_1$          | $-S_1V_1$          | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| $S_1U_1$  | $S_1X_1$  | $S_1W_1$  | $-S_1U_1$         | $-S_1X_1$          | $S_1W_1$           | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| $-S_1V_1$ | $S_1W_1$  | $S_1Y_1$  | $S_1V_1$          | $-S_1W_1$          | $S_1Z_1$           | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| $-S_1T_1$ | $-S_1U_1$ | $S_1V_1$  | $S_1T_1 + S_4T_4$ | $S_1U_1 + S_4U_4$  | $S_1V_1 - S_4V_4$  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | $-S_4T_4$                   | $-S_4U_4$         | $-S_4V_4$          | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| $-S_1U_1$ | $-S_1X_1$ | $-S_1W_1$ | $S_1U_1 + S_4U_4$ | $S_1X_1 + S_4X_4$  | $-S_1W_1 + S_4W_4$ | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | $-S_4U_4$                   | $-S_4X_4$         | $S_4W_4$           | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| $-S_1V_1$ | $S_1W_1$  | $S_1Z_1$  | $S_1V_1 - S_4V_4$ | $-S_1W_1 + S_4W_4$ | $S_1Y_1 + S_4Y_4$  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | $S_4V_4$                    | $-S_4W_4$         | $S_4Z_4$           | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $S_2T_2$  | $S_2U_2$  | $-S_2V_2$ | $-S_2T_2$         | $-S_2U_2$          | $-S_2V_2$          | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $S_2U_2$  | $S_2X_2$  | $S_2W_2$  | $-S_2U_2$         | $-S_2X_2$          | $S_2W_2$           | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $-S_2V_2$ | $S_2W_2$  | $S_2Y_2$  | $S_2V_2$          | $-S_2W_2$          | $S_2Z_2$           | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $-S_2T_2$ | $-S_2U_2$ | $S_2V_2$  | $S_2T_2 + S_3T_3$ | $S_2U_2 + S_3U_3$  | $S_2V_2 - S_3V_3$  | $-S_3T_3$                  | $-S_3U_3$                   | $-S_3V_3$                   | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $-S_2U_2$ | $-S_2X_2$ | $-S_2W_2$ | $S_2U_2 + S_3U_3$ | $S_2X_2 + S_3X_3$  | $-S_2W_2 + S_3W_3$ | $-S_3U_3$                  | $-S_3X_3$                   | $S_3W_3$                    | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $-S_2V_2$ | $S_2W_2$  | $S_2Z_2$  | $S_2V_2 - S_3V_3$ | $-S_2W_2 + S_3W_3$ | $S_2Y_2 + S_3Y_3$  | $S_3V_3$                   | $-S_3W_3$                   | $S_3Z_3$                    | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | $-S_4T_4$         | $-S_4U_4$          | $S_4V_4$           | 0         | 0         | 0         | $-S_3T_3$         | $-S_3U_3$          | $S_3V_3$           | $S_3T_3 + S_4T_4 + A_5T_5$ | $S_3U_3 + S_4U_4 + S_5U_5$  | $S_3V_3 + S_4V_4 - S_5V_5$  | $-S_5T_5$         | $-S_5U_5$          | $-S_5V_5$          | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | $-S_4U_4$         | $-S_4X_4$          | $-S_4W_4$          | 0         | 0         | 0         | $-S_3U_3$         | $-S_3X_3$          | $-S_3W_3$          | $S_3U_3 + S_4U_4 + A_5U_5$ | $S_3X_3 + S_4X_4 + S_5X_5$  | $-S_3W_3 - S_4W_4 + S_5W_5$ | $-S_5U_5$         | $-S_5X_5$          | $S_5W_5$           | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | $-S_4V_4$         | $S_4W_4$           | $S_4Z_4$           | 0         | 0         | 0         | $-S_3V_3$         | $S_3W_3$           | $S_3Z_3$           | $S_3V_3 + S_4V_4 - A_5V_5$ | $-S_3W_3 - S_4W_4 + S_5W_5$ | $S_3Y_3 + S_4Y_4 + S_5Y_5$  | $S_5V_5$          | $-S_5W_5$          | $S_5Z_5$           | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $-S_5T_5$                  | $-S_5U_5$                   | $S_5V_5$                    | $S_5T_5 + S_6T_6$ | $S_5U_5 + S_6U_6$  | $S_5V_5 - S_6V_6$  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $-S_5U_5$                  | $-S_5X_5$                   | $-S_5W_5$                   | $S_5U_5 + S_6U_6$ | $S_5X_5 + S_6X_6$  | $-S_5W_5 + S_6W_6$ | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | $-S_5V_5$                  | $S_5W_5$                    | $S_5Z_5$                    | $S_5V_5 - S_6V_6$ | $-S_5W_5 + S_6W_6$ | $S_5Y_5 + S_6Y_6$  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | $-S_6T_6$         | $-S_6U_6$          | $S_6V_6$           | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | $-S_6U_6$         | $-S_6X_6$          | $-S_6W_6$          | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | $-S_6V_6$         | $S_6W_6$           | $S_6Z_6$           | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |
| 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 | 0                  | 0                  | 0                          | 0                           | 0                           | 0                 | 0                  | 0                  | 0 | 0 | 0 |

