



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

TEMA: “ESTUDIO DEL ACERO DULCE Y HIERRO FUNDIDO
SOMETIDOS A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN UTILIZANDO
LABORATORIOS VIRTUALES Y SOFTWARE CAD BAJO NORMAS
INTERNACIONALES”

AUTOR: GUAYLLAS GUAMÁN, PABLO FELIPE

TUTOR: ING. CARVAJAL NARANJO, MIGUEL ALBERTO

LATACUNGA, FEBRERO 2022





- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones



CONTENIDO

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones

INTRODUCCIÓN

Propiedades mecánicas
de los materiales





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INTRODUCCIÓN

ENSAYOS DE MATERIALES

- Destructivos
- No destructivos



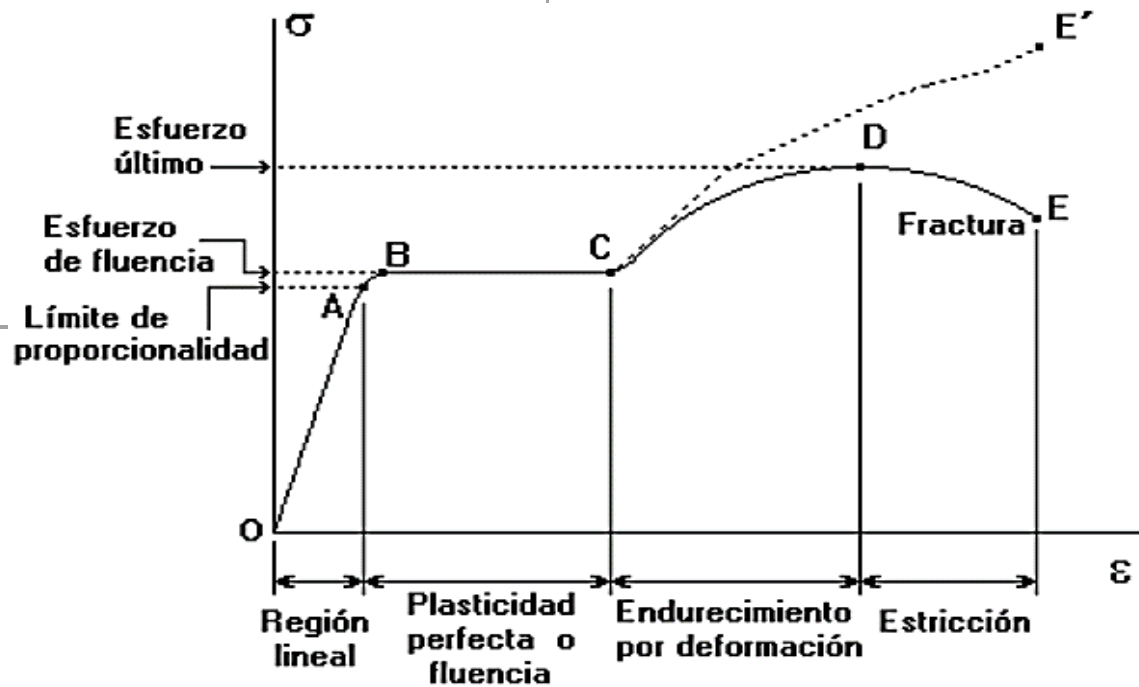
INTRODUCCIÓN

Máquina de
ensayos universal



INTRODUCCIÓN

Curva esfuerzo – deformación



INTRODUCCIÓN

Esfuerzo

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

- σ : esfuerzo
- F: fuerza aplicada
- A: área.

Deformación Unitaria

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

- ε : deformación unitaria
- l: longitud final
- l_0 : longitud inicial

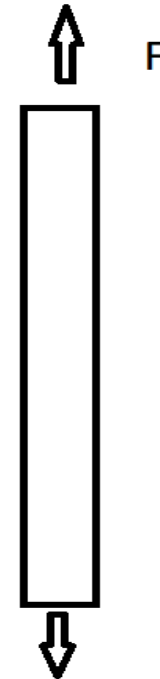
Módulo Elasticidad

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

- E: módulo de elasticidad
- $\Delta\sigma$: variación del esfuerzo
- $\Delta\varepsilon$: variación de la deformación

INTRODUCCIÓN

Ensayo de tracción
(tensión)



INTRODUCCIÓN

Resistencia a la tracción

$$\sigma_{ET} = \frac{\text{carga máxima}}{A_o}$$

Esfuerzo de rotura

$$\sigma_R = \frac{\text{carga de rotura}}{A_o}$$

INTRODUCCIÓN

Ensayo de
compresión



INTRODUCCIÓN

Resistencia a la
compresión

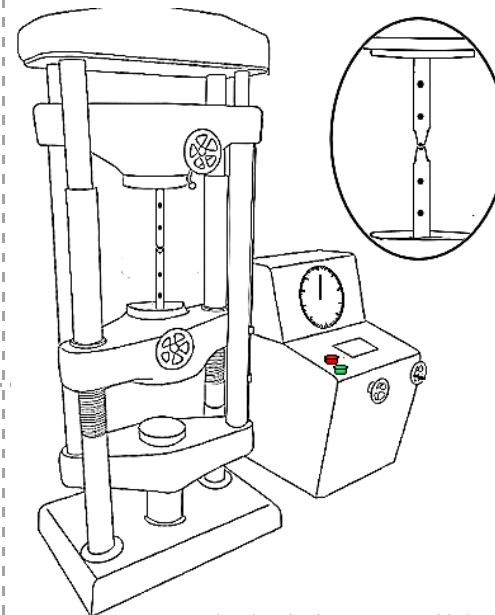
$$\sigma_{ET} = \frac{\text{carga máxima}}{A_o}$$

Esfuerzo de rotura

$$\sigma_R = \frac{\text{carga de rotura}}{A_o}$$

INTRODUCCIÓN

Laboratorio Virtual



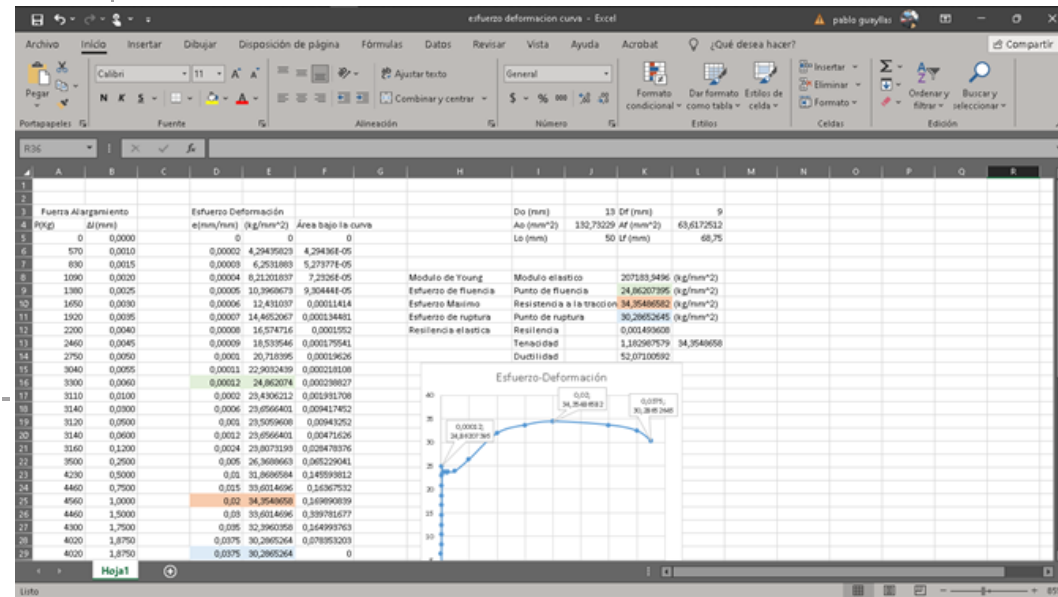
| | | | | |
|------|---|---|---|-----|
| 42 | - | - | - | 3 |
| 43 | - | - | - | 3.6 |
| 42 | - | - | - | 5 |
| 41 | - | - | - | 6 |
| 40 | - | - | - | 7 |
| 42.5 | - | - | - | 8.5 |
| 45 | - | - | - | 11 |
| 47 | - | - | - | 15 |
| 49 | - | - | - | 19 |
| 48 | - | - | - | 23 |
| 46 | - | - | - | 29 |
| 42 | - | - | - | 33 |

Download Data



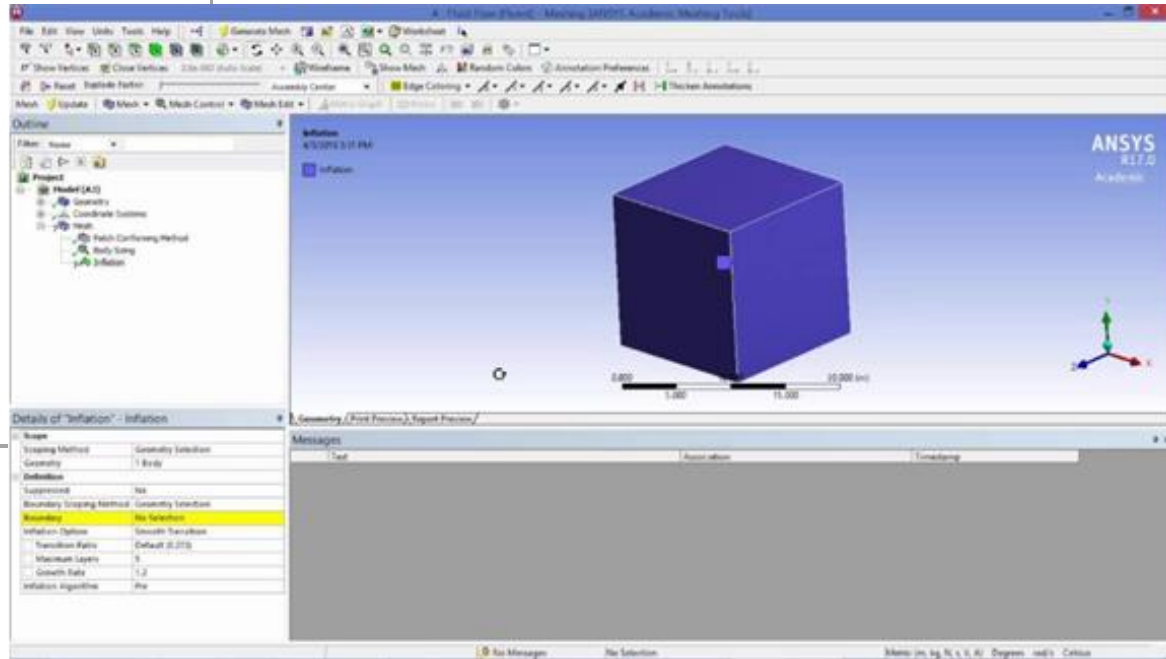
INTRODUCCIÓN

Cálculos de excel



INTRODUCCIÓN

Software CAD





- 1 • Introducción
- 2 • **Justificación**
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones



Ante la situación actual de pandemia y falta protocolos de bioseguridad se deberá explorar opciones a los laboratorios físicos, además, la falta de recursos monetarios para la adquisición de nuevas máquinas o ajustes bajo normas de las máquinas antiguas, se dificulta el aprendizaje de los estudiantes que no accedan a un laboratorio físico.

El adquirir conocimientos prácticos es fundamental en una carrera ingenieril, lo que da pie al desarrollo de nuevas alternativas para lograrlo. La adopción de laboratorios virtuales brindará una ayuda estratégica para la adquisición de saberes y destrezas en el campo práctico.



| | |
|---|--------------------|
| 1 | • Introducción |
| 2 | • Justificación |
| 3 | • Objetivos |
| 4 | • Metodología |
| 5 | • Resultados |
| 6 | • Conclusiones |
| 7 | • Recomendaciones |



Objetivo General

- Determinar las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a tracción y compresión bajo normas utilizando laboratorios virtuales y software CAD.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce y hierro fundido sometidos a tracción y compresión bajo normas utilizando laboratorios virtuales.
- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce y hierro fundido sometidos a tracción y compresión bajo normas utilizando el software CAD.



- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones

Simulación en el laboratorio virtual “VirtualLabs”

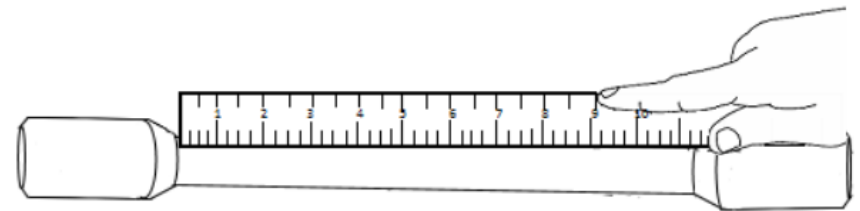
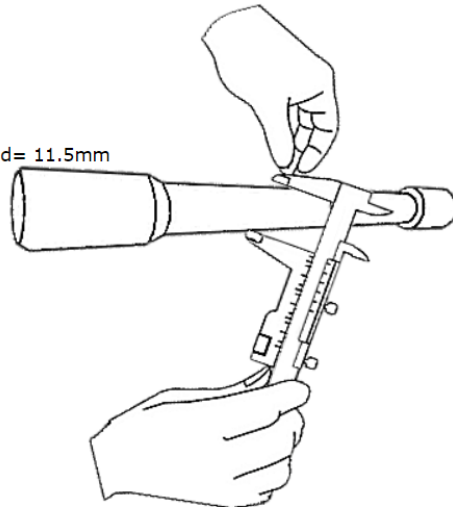
Tensión en Acero Dulce A36

- Medición de la probeta

$d_{ix} = 11.50\text{mm}$

$d_{iy} = 11.50\text{mm}$

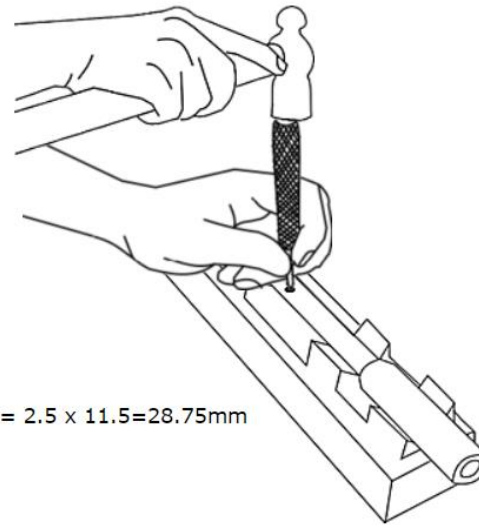
Average Initial diameter $d = 11.5\text{mm}$



Length of the specimen between the grips = 192mm

- Puntos de referencia

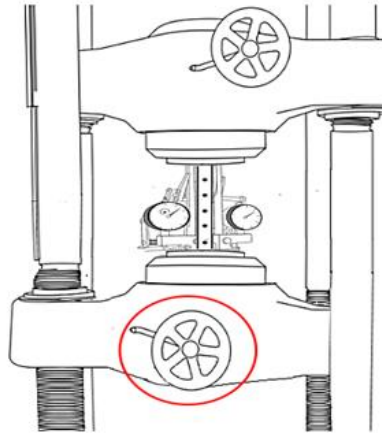
Realizados a una distancia de $D \cdot 2,5 = 28,75$ mm



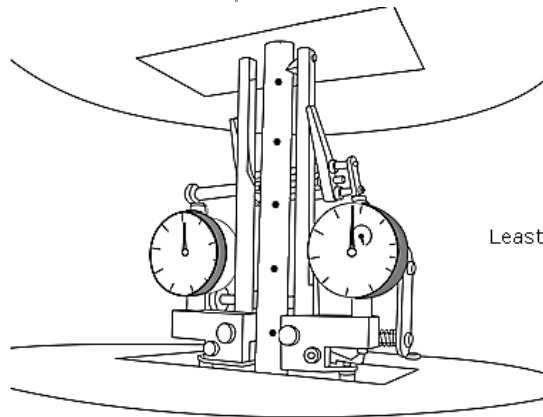
Distance $2.5d = 2.5 \times 11.5 = 28.75\text{mm}$

METODOLOGÍA

- Fijar la probeta en la máquina de ensayos universal

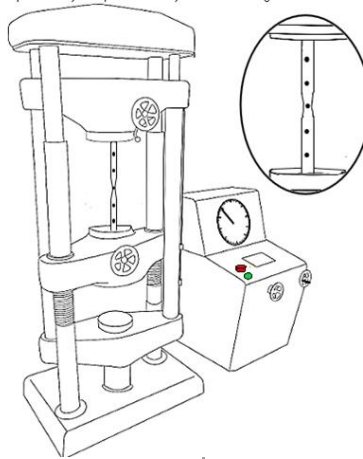


- Verificación del extensómetro

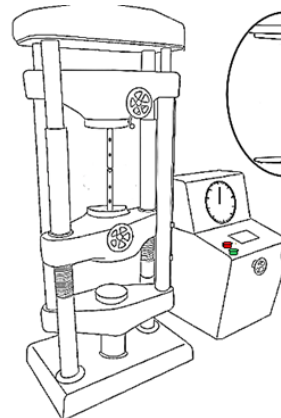


Least Count of Extensometer = 0.01mm

- Aplicación de carga



- Datos de carga y lectura de extensómetro

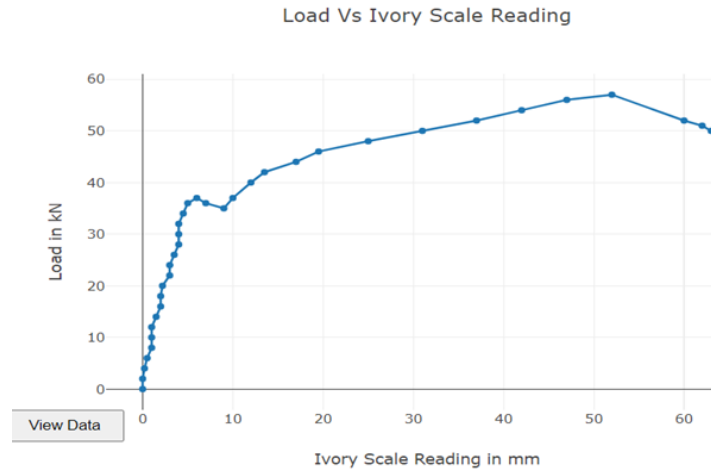


| | | | | |
|------|---|---|---|-----|
| 42 | - | - | - | 3 |
| 43 | - | - | - | 3.6 |
| 42 | - | - | - | 5 |
| 41 | - | - | - | 6 |
| 40 | - | - | - | 7 |
| 42.5 | - | - | - | 8.5 |
| 45 | - | - | - | 11 |
| 47 | - | - | - | 15 |
| 49 | - | - | - | 19 |
| 48 | - | - | - | 23 |
| 46 | - | - | - | 29 |
| 42 | - | - | - | 33 |

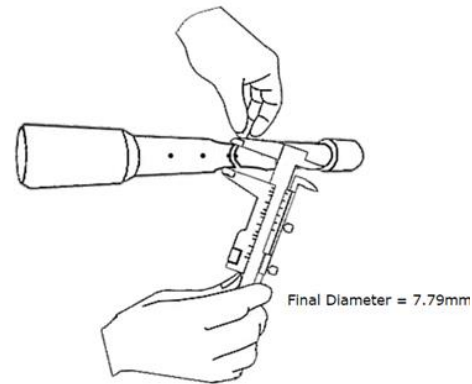
Download Data



- Gráfica esfuerzo carga - alargamiento

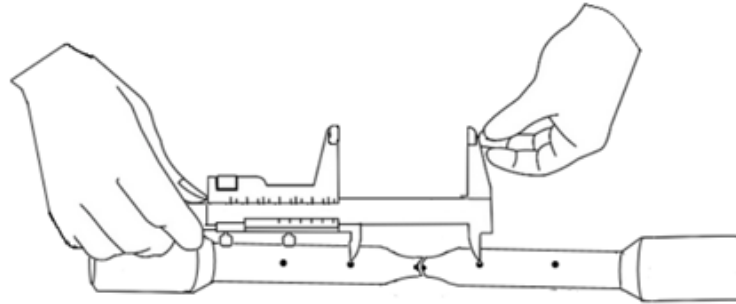


- Medición del diámetro en el punto más cercano a la rotura





- Medición de la longitud entre puntos de referencia



Final Length between the punch mark = 77.31mm



Cálculos en excel

- Aplicación de fórmulas para calcular:
 - Deformación
 - Esfuerzo
 - Área bajo la curva
 - Módulo elástico
 - Punto de fluencia
 - Resistencia a la tracción
 - Punto de rotura
 - Resiliencia
 - Tenacidad
 - Ductilidad
- Se mide por el % de elongación y por el % de reducción de área



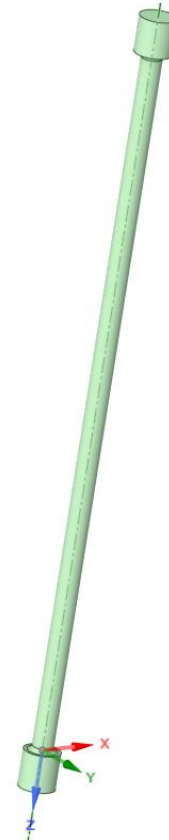
Cálculos en excel

| Deformación | Esfuerzo | Área bajo la curva |
|-------------|----------------------|--------------------|
| e(mm/mm) | (N/mm ²) | |
| 0 | 0 | 0,000 |
| 0,000 | 19,255 | 0,000 |
| 0,003 | 38,510 | 0,098 |
| 0,008 | 57,765 | 0,244 |
| 0,017 | 77,020 | 0,569 |
| 0,017 | 96,275 | 0,000 |
| 0,017 | 115,530 | 0,000 |
| 0,025 | 134,785 | 1,056 |
| 0,034 | 154,040 | 1,219 |
| 0,034 | 173,295 | 0,000 |
| 0,037 | 192,550 | 0,618 |
| 0,051 | 211,805 | 2,730 |
| 0,051 | 231,060 | 0,000 |
| 0,059 | 250,316 | 2,031 |
| 0,068 | 269,571 | 2,194 |

| | | |
|-------|---------|--------|
| 0,068 | 288,826 | 0,000 |
| 0,068 | 308,081 | 0,000 |
| 0,076 | 327,336 | 2,682 |
| 0,084 | 346,591 | 2,844 |
| 0,101 | 356,218 | 5,932 |
| 0,118 | 346,591 | 5,932 |
| 0,152 | 336,963 | 11,539 |
| 0,169 | 356,218 | 5,851 |
| 0,203 | 385,101 | 12,514 |
| 0,228 | 404,356 | 9,995 |
| 0,287 | 423,611 | 24,459 |
| 0,329 | 442,866 | 18,283 |
| 0,422 | 462,121 | 42,011 |
| 0,523 | 481,376 | 47,780 |
| 0,625 | 500,631 | 49,730 |
| 0,709 | 519,886 | 43,067 |
| 0,793 | 539,141 | 44,692 |
| 0,878 | 548,769 | 45,911 |
| 1,013 | 500,631 | 70,858 |
| 1,047 | 491,004 | 16,739 |
| 1,063 | 481,376 | 8,207 |

Simulación Software CAD




- **Geometría**
 - Se toman las medidas dadas por el laboratorio virtual






Ansys
2021 R2
STUDENT

Simulación Software CAD

- **Selección de material**
 - Utilizar las propiedades que da el laboratorio virtual como base para la simulación.

 **ACERO DULCE A36**  

LA-4167-MS. May 1 1969. Selected Hugoniot: EOS 7th Int. Symp. Ballistics. Johnson + Cook

| | |
|---|-------------------------------------|
| Density | 7,85e-06 kg/mm ³ |
| Structural  | |
| ▼ Isotropic Elasticity | |
| Derive from | Young's Modulus and Poisson's Ratio |
| Young's Modulus | 2,09e+05 MPa |
| Poisson's Ratio | 0,27000 |
| Bulk Modulus | 1,5145e+05 MPa |
| Shear Modulus | 82283 MPa |
| Thermal  | |
| Specific Heat Constant Pressure | 4,52e+05 mJ/kg·°C |
| Other  | |
| ▼ Johnson Cook Strength | |
| Strain Rate Correction | First-Order |
| Initial Yield Stress | 356,30 MPa |
| Hardening Constant | 233,00 MPa |
| Hardening Exponent | 0,36000 |



Simulación Software CAD

- **Mallado**

Model (A4) > Mesh > Mesh Controls

| | |
|-------------------|--------------------|
| Object Name | Body Sizing |
| State | Fully Defined |
| Scope | |
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | 1 Body |
| Definition | |
| Suppressed | No |
| Type | Element Size |
| Element Size | 2, mm |
| Advanced | |
| Defeature Size | Default |
| Behavior | Soft |

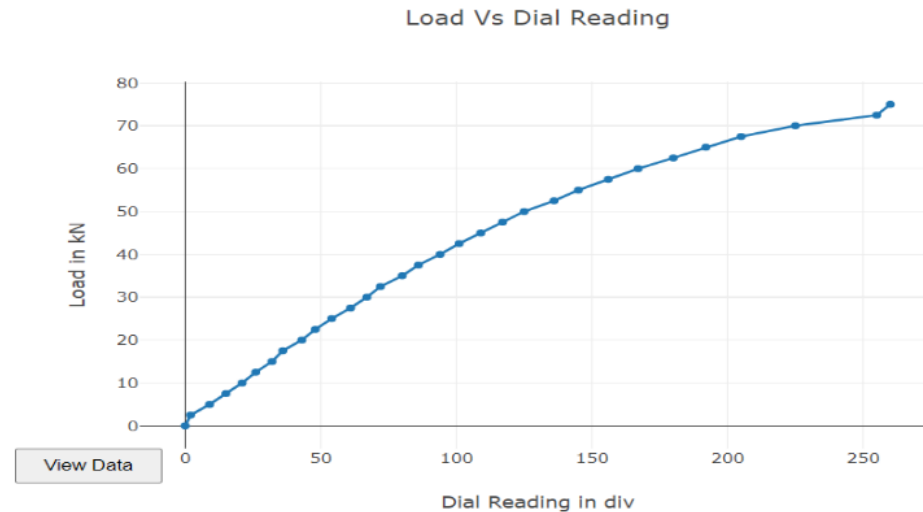
» Carga

Model (A4) > Explicit Dynamics (A5) > Loads

| | | | |
|-------------------|--------------------------|------------------|-------------------------|
| Object Name | Fixed Support | Displacement | Force |
| State | Fully Defined | | Suppressed |
| Scope | | | |
| Scoping Method | Geometry Selection | | |
| Geometry | 1 Face | | |
| Definition | | | |
| Type | Fixed Support | Displacement | Force |
| Suppressed | No | | Yes |
| Define By | Components | | |
| Coordinate System | Global Coordinate System | | |
| X Component | | Free | 0, N (step applied) |
| Y Component | | Free | 0, N (step applied) |
| Z Component | | -63, mm (ramped) | -50000 N (step applied) |

METODOLOGÍA

- Para el ensayo de tensión en el laboratorio virtual utilizando el material Hierro fundido (Gray Cast Iron) se repite el proceso anteriormente mencionado
 - Gráfica carga - alargamiento



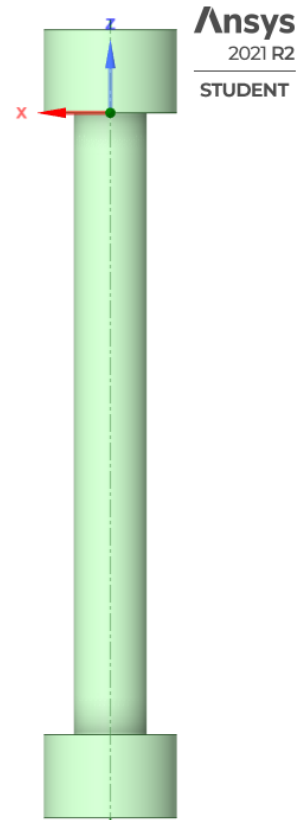


Cálculos en excel

- Aplicación de fórmulas para calcular:
 - Deformación
 - Esfuerzo
 - Área bajo la curva
 - Módulo elástico
 - Punto de fluencia
 - Resistencia a la tracción
 - Punto de rotura

Simulación Software CAD

- **Geometría**
 - Se toman las medidas dadas por el laboratorio virtual





Cálculos en excel

| Deformación | Esfuerzo | |
|-------------|-----------------------|--------------------|
| e(mm/mm) | (KN/mm ²) | Área bajo la curva |
| 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 0,0001 | 6,6368 | 0,0004 |
| 0,0005 | 13,2737 | 0,0037 |
| 0,0008 | 19,9105 | 0,0053 |
| 0,0011 | 26,5474 | 0,0075 |
| 0,0014 | 33,1842 | 0,0080 |
| 0,0017 | 39,8211 | 0,0117 |
| 0,0019 | 46,4579 | 0,0092 |
| 0,0023 | 53,0948 | 0,0186 |
| 0,0026 | 59,7316 | 0,0151 |
| 0,0029 | 66,3685 | 0,0202 |
| 0,0033 | 73,0053 | 0,0261 |
| 0,0036 | 79,6422 | 0,0245 |
| 0,0039 | 86,2790 | 0,0222 |
| 0,0043 | 92,9159 | 0,0383 |

| | | |
|--------|----------|--------|
| 0,0046 | 99,5527 | 0,0309 |
| 0,0050 | 106,1896 | 0,0440 |
| 0,0054 | 112,8264 | 0,0410 |
| 0,0058 | 119,4633 | 0,0497 |
| 0,0063 | 126,1001 | 0,0525 |
| 0,0067 | 132,7370 | 0,0554 |
| 0,0073 | 139,3738 | 0,0800 |
| 0,0078 | 146,0107 | 0,0687 |
| 0,0083 | 152,6475 | 0,0878 |
| 0,0089 | 159,2844 | 0,0917 |
| 0,0096 | 165,9212 | 0,1130 |
| 0,0103 | 172,5581 | 0,1086 |
| 0,0110 | 179,1949 | 0,1223 |
| 0,0120 | 185,8318 | 0,1952 |
| 0,0136 | 192,4686 | 0,3034 |
| 0,0139 | 199,1055 | 0,0523 |

Simulación Software CAD

- **Selección de material**

- Utilizar las propiedades que da el laboratorio virtual como base para la simulación.

| Property | Value | Unit |
|---|-----------------------------|------------------------------------|
| Material Field Variables | Table | |
| Density | 7150 | kg m ⁻³ |
| Isotropic Elasticity | | |
| Derive from | Young's Modulus and Pois... | |
| Young's Modulus | 21,36 | GPa |
| Poisson's Ratio | 0,27 | |
| Bulk Modulus | 1,5478E+10 | Pa |
| Shear Modulus | 8,4094E+09 | Pa |
| Specific Heat Constant Pressure, C _p | 452 | J kg ⁻¹ C ⁻¹ |
| Johnson Cook Strength | | |
| Strain Rate Correction | First-Order | |
| Initial Yield Stress | 156,71 | MPa |
| Hardening Constant | 2,39E+08 | Pa |
| Hardening Exponent | 0,4 | |
| Strain Rate Constant | 0,055 | |
| Thermal Softening Exponent | 0,55 | |

Simulación Software CAD

- **Mallado**

| Defaults | |
|-----------------------|------------|
| Physics Preference | Explicit |
| Element Order | Linear |
| Element Size | 2, mm |
| Sizing | |
| Use Adaptive Sizing | Yes |
| Resolution | Default (4 |
| Mesh Defeaturing | Yes |
| Defeature Size | Default |
| Transition | Slow |
| Span Angle Center | Coarse |
| Initial Size Seed | Assembl |
| Bounding Box Diagonal | 243,66 m |
| Average Surface Area | 3340,8 m |
| Minimum Edge Length | 68,801 m |

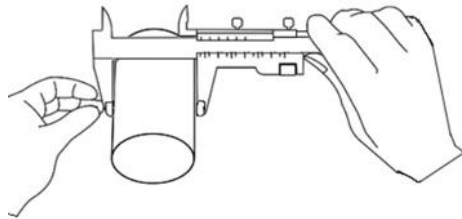
» Carga

| Model (B4) > Explicit Dynamics (B5) > Loads | | |
|---|--------------------------|---------------------|
| Object Name | <i>Fixed Support</i> | <i>Displacement</i> |
| State | Fully Defined | |
| Scope | | |
| Scoping Method | Geometry Selection | |
| Geometry | 1 Face | |
| Definition | | |
| Type | Fixed Support | Displacement |
| Suppressed | No | |
| Define By | Components | |
| Coordinate System | Global Coordinate System | |
| X Component | Free | |
| Y Component | Free | |
| Z Component | -100, mm (ramped) | |



Simulación en el laboratorio virtual “VirtualLabs” Compresión en Acero Dulce A36

- Medición de la probeta

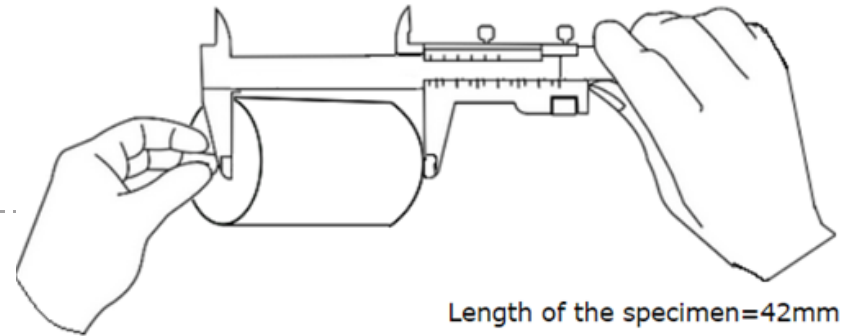


| Initial Diameter in two perpendicular directions | | Average initial diameter d_i (mm) |
|--|------------------|-------------------------------------|
| d_{ix} (mm) | d_{iy} (mm) | |
| $d_{1x} = 20.10$ | $d_{1y} = 20.10$ | 20.10 |

Average Initial Diameter = 20.10mm

Moment of Inertia about neutral axis for the specimen $I = \frac{\pi \times d_{avg}^4}{64} = 8008.18$

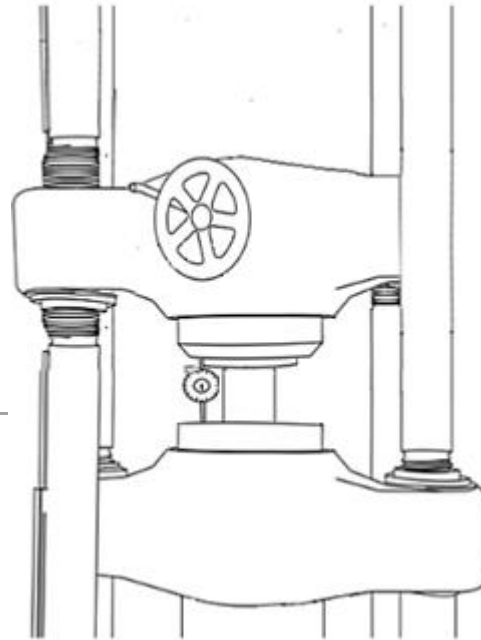
- Longitud





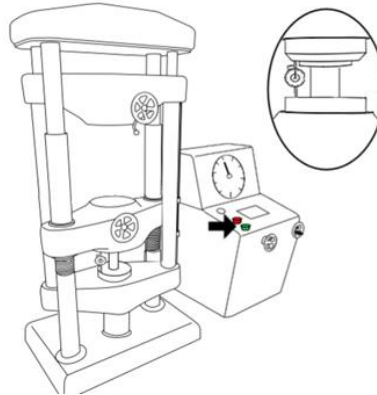
METODOLOGÍA

- Fijar la probeta en la máquina de ensayos universal

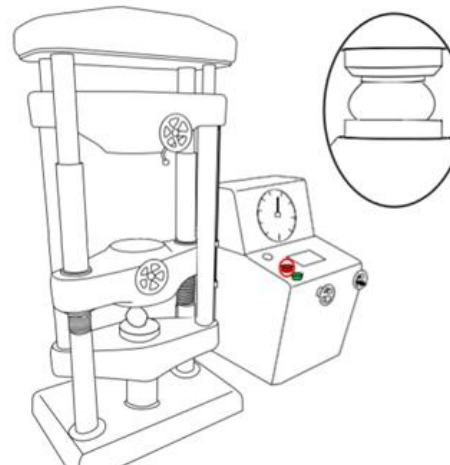


METODOLOGÍA

- Aplicación de carga



- Datos de carga y lectura de extensómetro

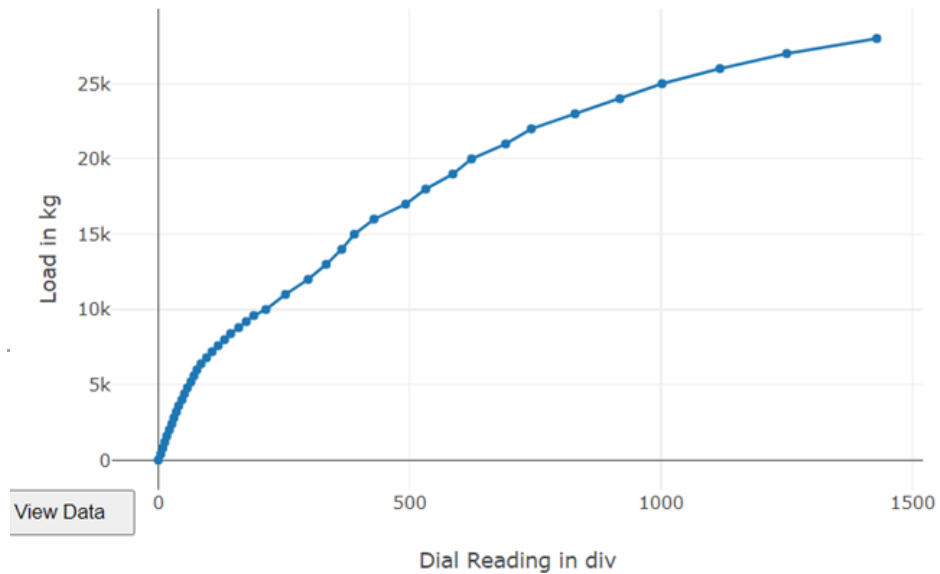


| Load in kg | Dial Gauge Reading in div |
|------------|---------------------------|
| 0 | 0 |
| 400 | 3 |
| 800 | 6 |
| 1200 | 9 |
| 1600 | 12 |
| 2000 | 16 |
| 2400 | 19 |
| 2800 | 22 |
| 3200 | 24 |
| 3600 | 27 |
| 4000 | 30 |
| 4400 | 33 |
| 4800 | 36 |
| 5200 | 39 |
| 5600 | 44 |
| 6000 | 50 |

[Download Data](#)

- Gráfica esfuerzo carga - alargamiento

Load Vs Dial Reading





Cálculos en excel

- Aplicación de fórmulas para calcular:
 - Deformación
 - Esfuerzo
 - Área bajo la curva
 - Módulo elástico
 - Esfuerzo de Prueba
 - Resistencia a la compresión
 - Módulo Secante
 - Módulo tangente

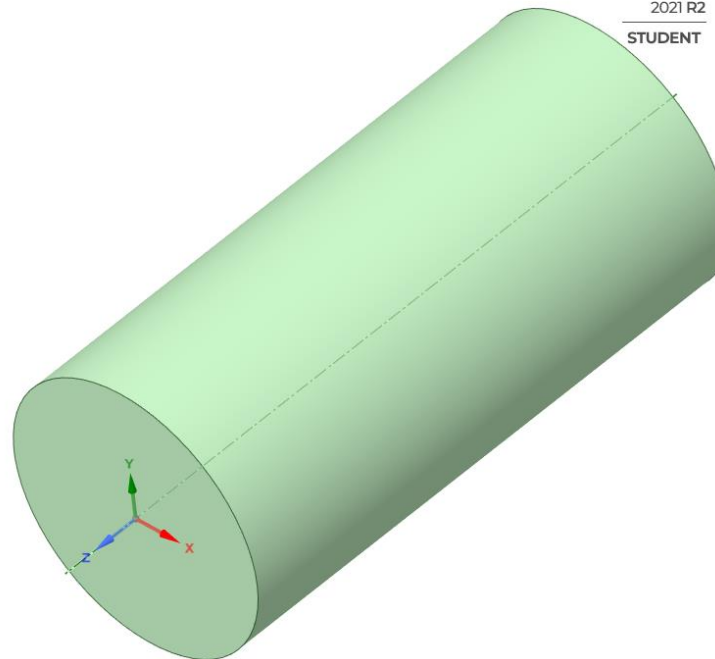
Cálculos en excel

| | | | | | | | | |
|-------------|-----------|--------------------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|
| Deformación | Esfuerzo | Área bajo la curva | 0,0255 | 222,59710 | 0,57 | 0,1767 | 680,15781 | 8,07 |
| 0 | 0,000 | 0 | 0,0283 | 234,96361 | 0,65 | 0,1974 | 711,07408 | 14,41 |
| 0,0012 | 12,36651 | 0,00 | 0,0314 | 247,33011 | 0,75 | 0,2186 | 741,99034 | 15,40 |
| 0,0021 | 24,73301 | 0,02 | 0,0343 | 259,69662 | 0,72 | 0,2386 | 772,90661 | 15,15 |
| 0,0031 | 37,09952 | 0,03 | 0,0381 | 272,06313 | 1,01 | 0,2660 | 803,82287 | 21,59 |
| 0,0040 | 49,46602 | 0,04 | 0,0417 | 284,42963 | 0,99 | 0,2976 | 834,73914 | 25,94 |
| 0,0052 | 61,83253 | 0,07 | 0,0452 | 296,79614 | 1,04 | 0,3402 | 865,65540 | 36,23 |
| 0,0064 | 74,19903 | 0,08 | 0,0510 | 309,16264 | 1,73 | | | |
| 0,0074 | 86,56554 | 0,08 | 0,0602 | 340,07891 | 3,01 | | | |
| 0,0086 | 98,93205 | 0,11 | 0,0710 | 370,99517 | 3,81 | | | |
| 0,0096 | 111,29855 | 0,11 | 0,0795 | 401,91144 | 3,31 | | | |
| 0,0112 | 123,66506 | 0,18 | 0,0869 | 432,82770 | 3,08 | | | |
| 0,0124 | 136,03156 | 0,15 | 0,0929 | 463,74396 | 2,67 | | | |
| 0,0138 | 148,39807 | 0,20 | 0,1021 | 494,66023 | 4,45 | | | |
| 0,0155 | 160,76457 | 0,26 | 0,1171 | 525,57649 | 7,65 | | | |
| 0,0169 | 173,13108 | 0,24 | 0,1267 | 556,49276 | 5,15 | | | |
| 0,0183 | 185,49759 | 0,26 | 0,1395 | 587,40902 | 7,35 | | | |
| 0,0202 | 197,86409 | 0,37 | 0,1483 | 618,32529 | 5,31 | | | |
| 0,0229 | 210,23060 | 0,53 | 0,1645 | 649,24155 | 10,26 | | | |

Simulación Software CAD

- **Geometría**
 - Se toman las medidas dadas por el laboratorio virtual

to select a solid.



Simulación Software CAD

- Selección de material
 - Utilizar las propiedades que da el laboratorio virtual como base para la simulación.

| | A | B | C |
|----|------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 1 | Property | Value | Unit |
| 2 | Material Field Variables | Table | |
| 3 | Density | 7,85 | kg m ⁻³ |
| 4 | Isotropic Elasticity | | |
| 5 | Derive from | Young's Modulus and Poisso... | |
| 6 | Young's Modulus | 20,1 | MPa |
| 7 | Poisson's Ratio | 0,3 | |
| 8 | Bulk Modulus | 1,675E+07 | Pa |
| 9 | Shear Modulus | 7,7308E+06 | Pa |
| 10 | Johnson Cook Strength | | |
| 11 | Strain Rate Correction | First-Order | |
| 12 | Initial Yield Stress | 213,43 | MPa |
| 13 | Hardening Constant | 2,29E+08 | Pa |
| 14 | Hardening Exponent | 0,6428 | |
| 15 | Strain Rate Constant | 0,0274 | |
| 16 | Thermal Softening Exponent | 1 | |
| 17 | Melting Temperature | 1535 | C |
| 18 | Reference Strain Rate (/sec) | 1 | |
| 19 | Shock EOS Linear | | |
| 20 | Gruneisen Coefficient | 2,17 | |
| 21 | Parameter C1 | 3000 | m s ⁻¹ |
| 22 | Parameter S1 | 1,49 | |
| 23 | Parameter Quadratic S2 | 0 | s m ⁻¹ |
| 24 | Principal Stress Failure | | |
| 25 | Maximum Tensile Stress | 4,7E+08 | Pa |
| 26 | Maximum Shear Stress | 8E+10 | Pa |



Simulación Software CAD

- **Mallado**

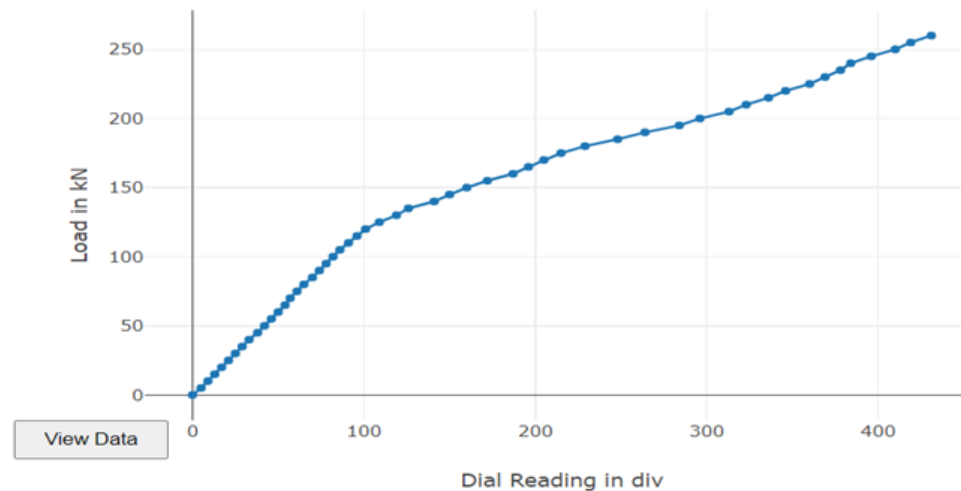
| Defaults | |
|-----------------------|------------|
| Physics Preference | Explicit |
| Element Order | Linear |
| Element Size | 2, mm |
| Sizing | |
| Use Adaptive Sizing | Yes |
| Resolution | Default (4 |
| Mesh Defeaturing | Yes |
| Defeature Size | Default |
| Transition | Slow |
| Span Angle Center | Coarse |
| Initial Size Seed | Assembl |
| Bounding Box Diagonal | 243,66 m |
| Average Surface Area | 3340,8 m |
| Minimum Edge Length | 68,801 m |

» Carga

| Model (B4) > Explicit Dynamics (B5) > Loads | | |
|---|--------------------------|---------------------|
| Object Name | <i>Fixed Support</i> | <i>Displacement</i> |
| State | Fully Defined | |
| Scope | | |
| Scoping Method | Geometry Selection | |
| Geometry | 1 Face | |
| Definition | | |
| Type | Fixed Support | Displacement |
| Suppressed | No | |
| Define By | Components | |
| Coordinate System | Global Coordinate System | |
| X Component | Free | |
| Y Component | Free | |
| Z Component | -10, mm (ramped) | |

- Para el ensayo de compresión en el laboratorio virtual utilizando el material Hierro fundido (Gray Cast Iron) se repite el proceso anteriormente mencionado
 - Gráfica carga - acortamiento

Load Vs Dial Reading



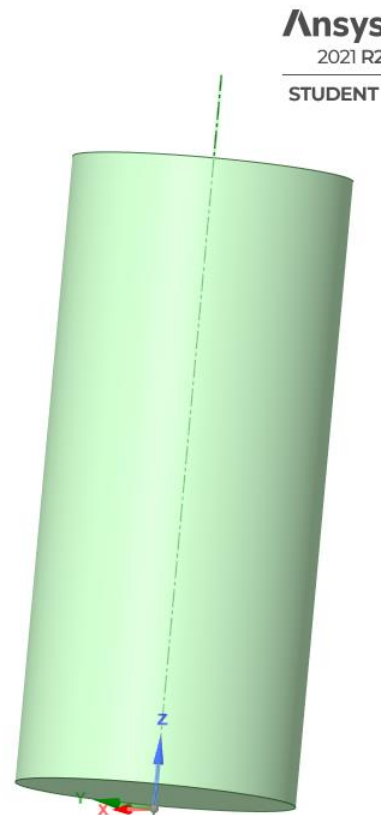


Cálculos en excel

- Aplicación de fórmulas para calcular:
 - Deformación
 - Esfuerzo
 - Área bajo la curva
 - Módulo elástico
 - Esfuerzo de prueba (esfuerzo de fluencia)
 - Resistencia a la compresión

Simulación Software CAD

- **Geometría**
 - Se toman las medidas dadas por el laboratorio virtual



Simulación Software CAD

- Selección de material

- Utilizar las propiedades que da el laboratorio virtual como base para la simulación.

| 1 | Property | Value | Unit |
|----|---|------------------------------|------------------------------------|
| 2 | Material Field Variables | Table | |
| 3 | Density | 7150 | kg m ⁻³ |
| 4 | Isotropic Elasticity | | |
| 5 | Derive from | Young's Modulus and Poiss... | |
| 6 | Young's Modulus | 19,9 | GPa |
| 7 | Poisson's Ratio | 0,26 | |
| 8 | Bulk Modulus | 1,3819E+10 | Pa |
| 9 | Shear Modulus | 7,8968E+09 | Pa |
| 10 | Specific Heat Constant Pressure, C _p | 452 | J kg ⁻¹ C ⁻¹ |
| 11 | Johnson Cook Strength | | |
| 12 | Strain Rate Correction | First-Order | |
| 13 | Initial Yield Stress | 315 | MPa |
| 14 | Hardening Constant | 3,39E+08 | Pa |
| 15 | Hardening Exponent | 0,4 | |
| 16 | Strain Rate Constant | 0,055 | |
| 17 | Thermal Softening Exponent | 0,55 | |
| 18 | Melting Temperature | 1537,9 | C |
| 19 | Reference Strain Rate (/sec) | 1 | |
| 20 | Bulk Modulus | 1E+11 | Pa |
| 21 | Shear Modulus | 6E+10 | Pa |

Simulación Software CAD

- **Mallado**

Model (D4) > Mesh

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Object Name | Mesh |
| State | Solved |
| Display | |
| Display Style | Use Geometry Setting |
| Defaults | |
| Physics Preference | Explicit |
| Element Order | Linear |
| Element Size | 1,5 mm |
| Sizing | |
| Use Adaptive Sizing | Yes |
| Resolution | Default (4) |
| Mesh Defeaturing | Yes |
| Defeature Size | Default |
| Transition | Slow |
| Span Angle Center | Coarse |
| Initial Size Seed | Assembly |
| Bounding Box Diagonal | 52,982 mm |
| Average Surface Area | 1147, mm ² |
| Minimum Edge Length | 62,832 mm |

» Carga

Model (D4) > Explicit Dynamics (D5) > Loads

| | | |
|-------------------|--------------------------|--------------|
| Object Name | Fixed Support | Displacement |
| State | Fully Defined | |
| Scope | | |
| Scoping Method | Geometry Selection | |
| Geometry | 1 Face | |
| Definition | | |
| Type | Fixed Support | Displacement |
| Suppressed | No | |
| Define By | Components | |
| Coordinate System | Global Coordinate System | |
| X Component | Free | |
| Y Component | Free | |
| Z Component | -10,4 mm (ramped) | |



1

• Introducción

2

• Justificación

3

• Objetivos

4

• Metodología

5

• **Resultados**

6

• Conclusiones

7

• Recomendaciones

RESULTADOS

- **Ensayo de tensión Acero Dulce A36**
 - Resultado del laboratorio virtual “VirtualLabs”

| Result | Actual Value |
|---|---------------------|
| Yield Stress(N/mm²) | 356.39 |
| Tensile Strength(N/mm²) | 549.03 |
| Modulus of Elasticity(GPa) | 209.09 |
| Percentage Elongation(%) | 30.5 |
| Percentage reduction in area(%) | 54.11 |

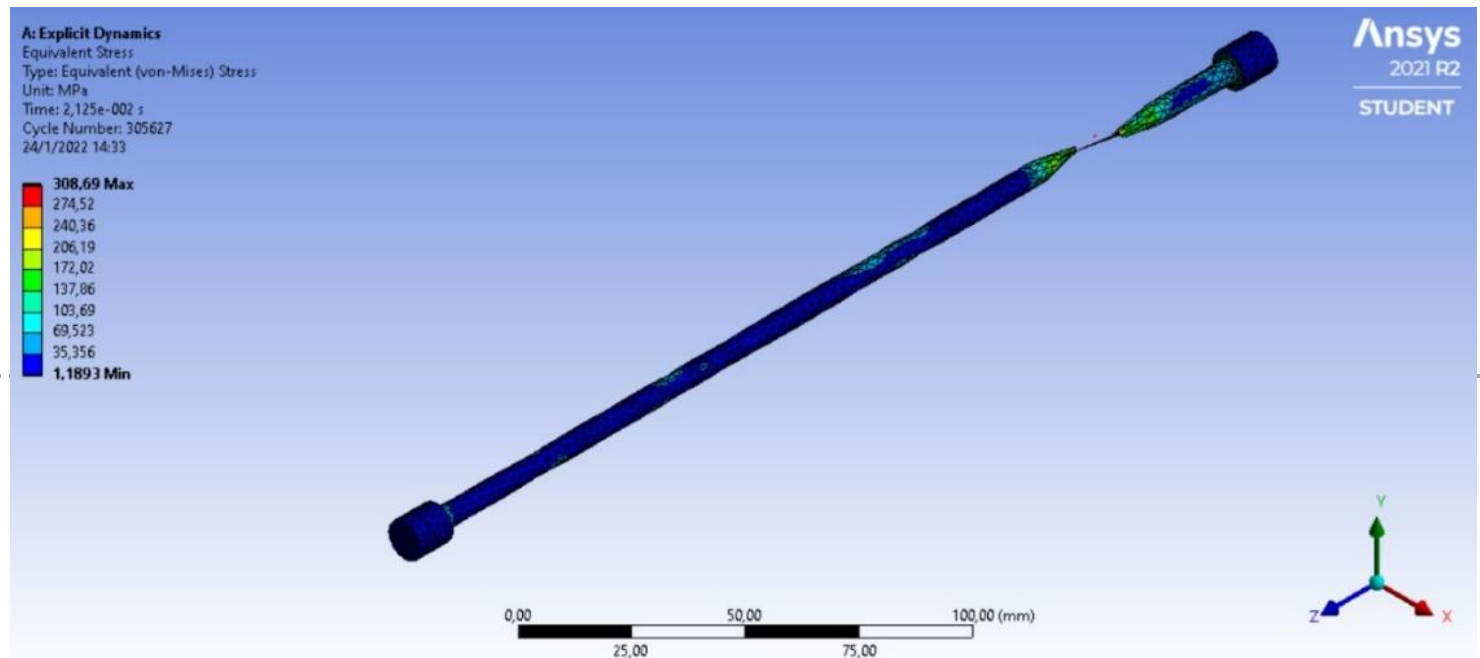
RESULTADOS

- Resultado cálculos en Excel

| | | | |
|----------------------------------|-----------|---|--|
| Modulo elástico | 13,9663 | | GPa |
| Punto de fluencia | 356,218 | | (N/mm ²) |
| Resistencia a la tracción | 548,7687 | | (N/mm ²) |
| Punto de rotura | 481,38 | | (N/mm ²) |
| Resiliencia | 4300,5283 | | (N/mm ²) |
| Tenacidad | 8295,7722 | | (N/mm ²) |
| Ductilidad: | | | |
| % de elongación | 30,50 | % | Para aceros más usados el % de elongación es un 21% |
| % de reducción de área | 54,11 | % | Para acero estructural es común encontrar un 60 - 70% de reducción de área |

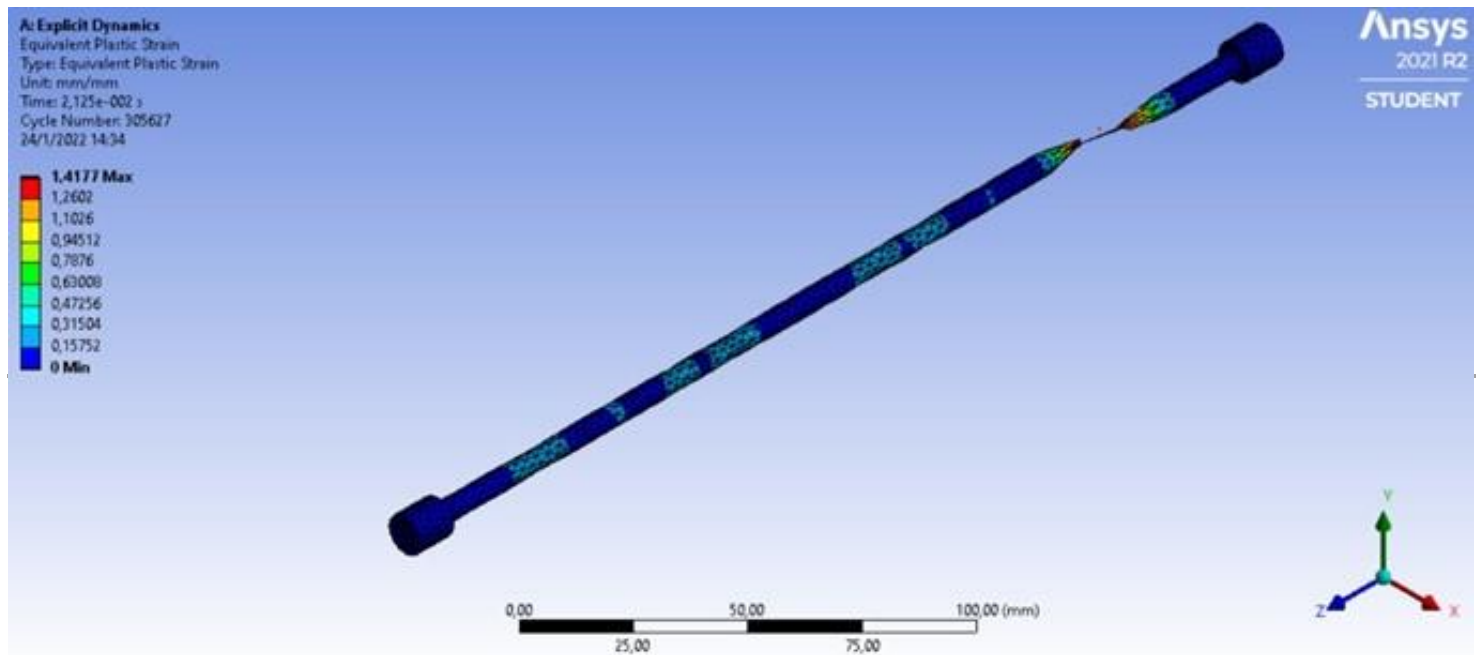
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Esfuerzo Equivalente



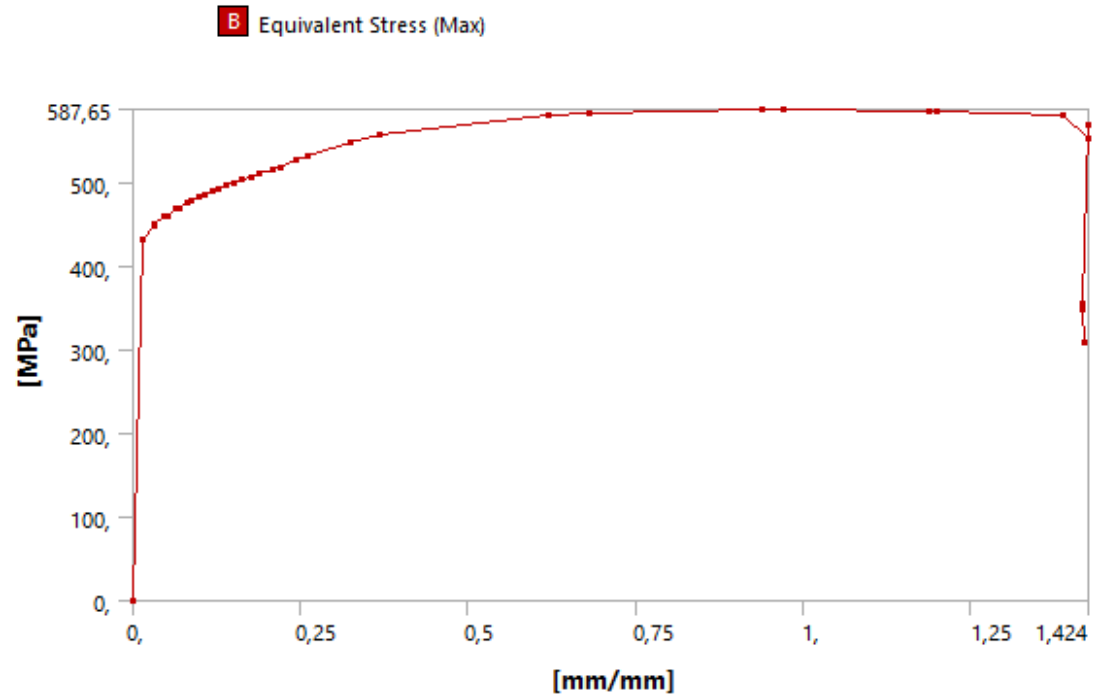
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Deformación



RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Curva esfuerzo - Deformación



- Resultados Obtenidos

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|--|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico (N/mm ²) | 356,39 | 356,218 | 356,39 | 250 |
| Resistencia a la tracción (N/mm ²) | 549,03 | 548,76 | 587,65 | 400 - 550 |
| Módulo de elasticidad (GPa) | 209,09 | 13,96 | 209,09 | 200 |
| Porcentaje de elongación | 30,5 | 30,5 | 21,87 | |
| Porcentaje de reducción de área | 54,11 | 54,11 | 52,17 | |

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|-----------------------------|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico % | 356,39 MPa | 0,05 | 0 | 29,85 |
| Resistencia a la tracción % | 549,03 MPa | 0,05 | 7,03 | Dentro del rango |
| Módulo de elasticidad % | 209,09 GPa | 93,32 | 0,00 | 4,35 |

RESULTADOS

- **Ensayo de tensión Hierro Fundido (Gray Cast Iron)**
 - Resultado del laboratorio virtual “VirtualLabs”

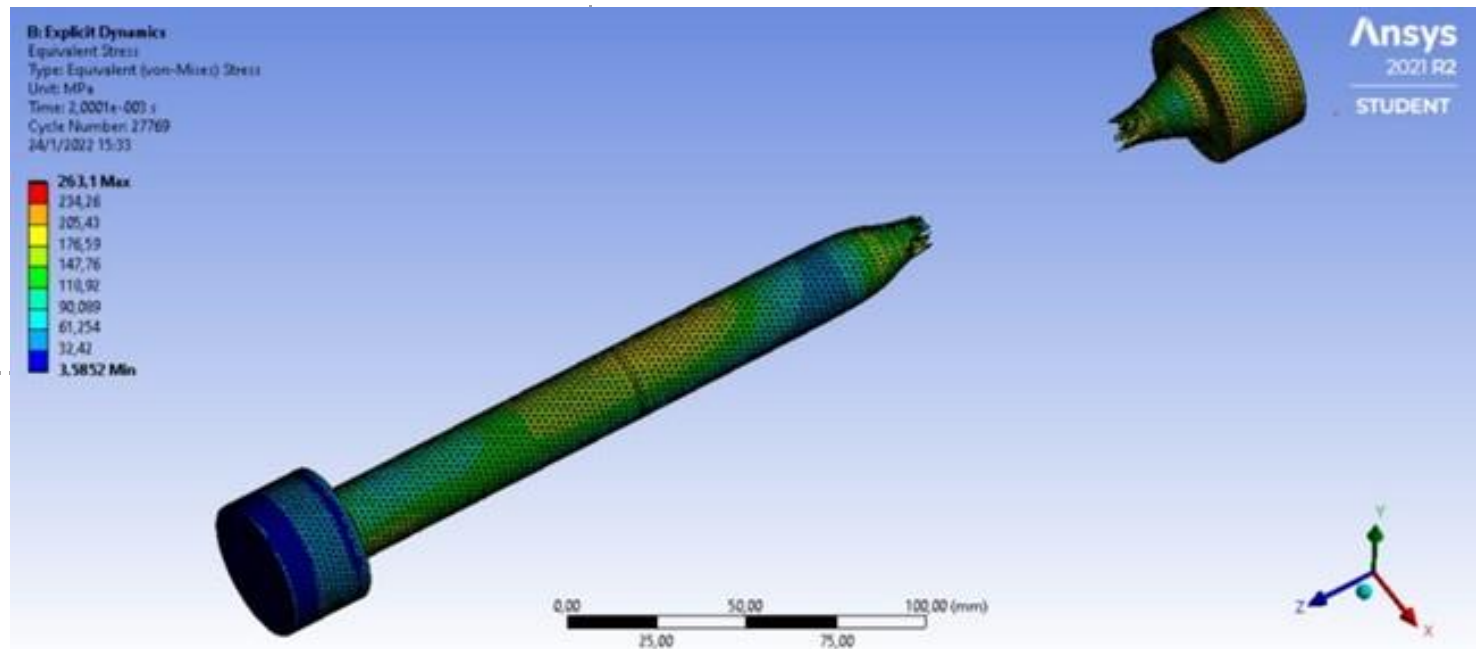
| Result | Actual Value |
|--------------------------------------|--------------|
| Proof Stress(N/mm ²) | 156.71 |
| Tensile Strength(N/mm ²) | 199.21 |
| Secant Modulus(GPa) | 17.09 |
| Tangent Modulus(GPa) | 10.88 |
| Modulus of Elasticity(GPa) | 21.36 |

- Resultado cálculos en Excel

| | | |
|----------------------------------|----------------|-----------------------|
| Modulo elástico | 20,1545 | GPa |
| Punto de prueba | 165,9212 | (N/mm ²) |
| Resistencia a la tracción | 199,1055 | (N/mm ²) |
| Punto de rotura | 199,1055 | (KN/mm ²) |
| Módulo secante | 17,73 | GPa |
| Módulo tangente | 9,547 | GPa |

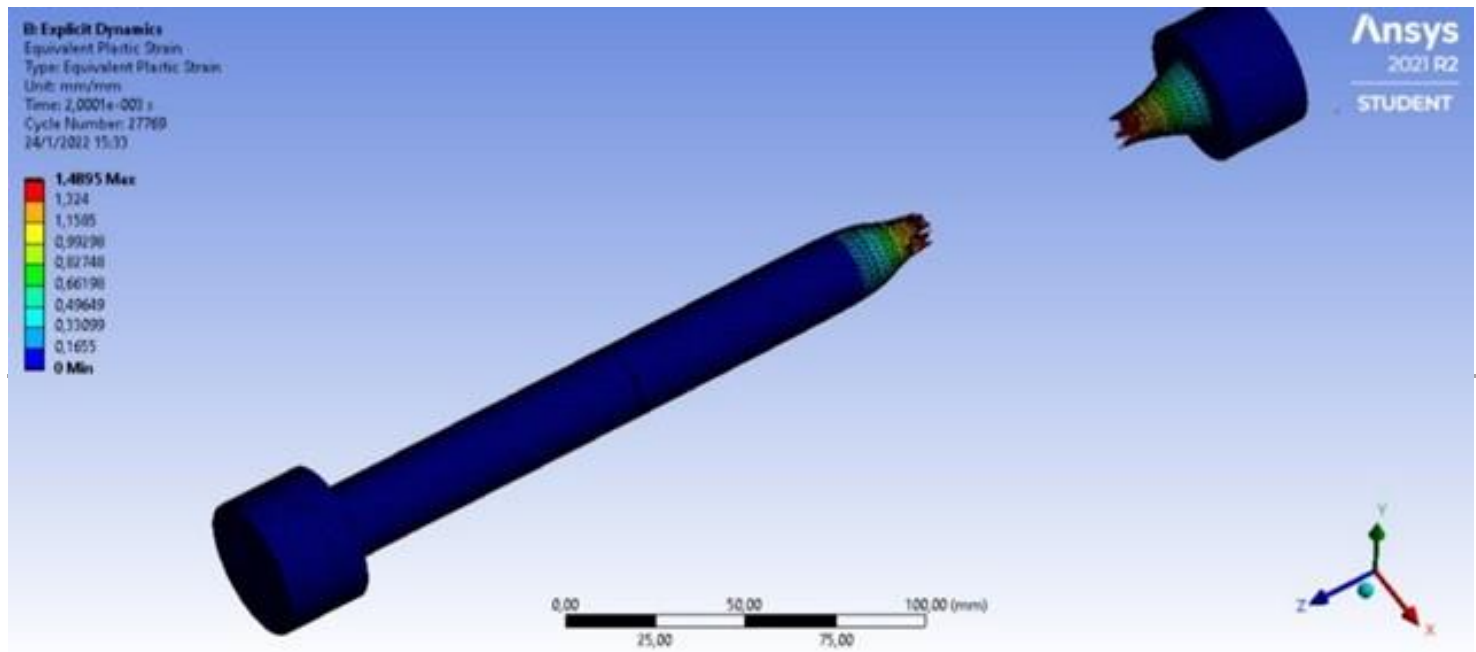
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Esfuerzo Equivalente



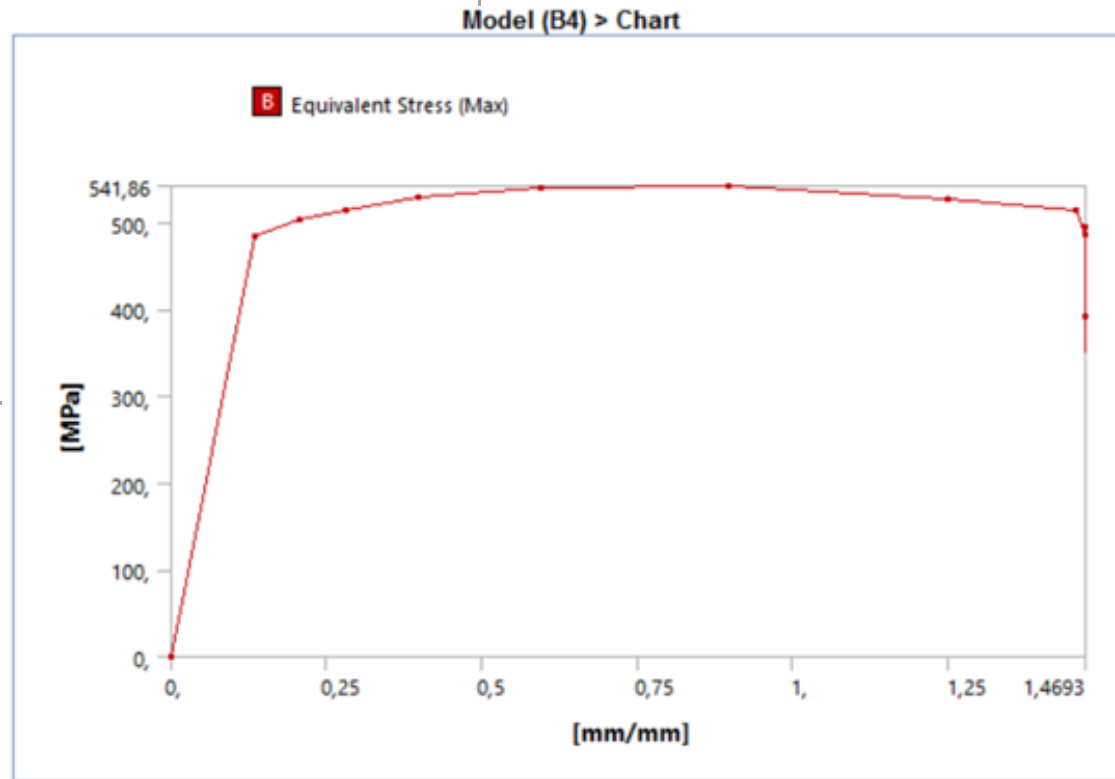
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Deformación



RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Curva esfuerzo - Deformación



RESULTADOS

- Resultados Obtenidos

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|---|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico (N/mm²) | 156,71 | 165,92 | 156,71 | No especificado |
| Resistencia a la tracción (N/mm²) | 199,21 | 199,105 | 541,86 | 395 |
| Módulo de elasticidad (GPa) | 21,36 | 20,15 | 21,36 | 124 |

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|------------------------------------|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico % | 156,71 MPa | 5,88 | 0 | No especificado |
| Resistencia a la tracción % | 199,21 MPa | 0,05 | 63,23 | 98,28 |
| Módulo de elasticidad % | 21,36 GPa | 5,66 | 0,00 | 95,54 |

RESULTADOS

- **Ensayo de compresión Acero Dulce A36**
 - Resultado del laboratorio virtual “VirtualLabs”

| Result | Actual Value |
|---|--------------|
| Proof Stress(N/mm²) | 213.43 |
| Compressive Strength(N/mm²) | 866.09 |
| Secant Modulus(GPa) | 18.26 |
| Tangent Modulus(GPa) | 8.91 |
| Modulus of Elasticity(GPa) | 20.14 |

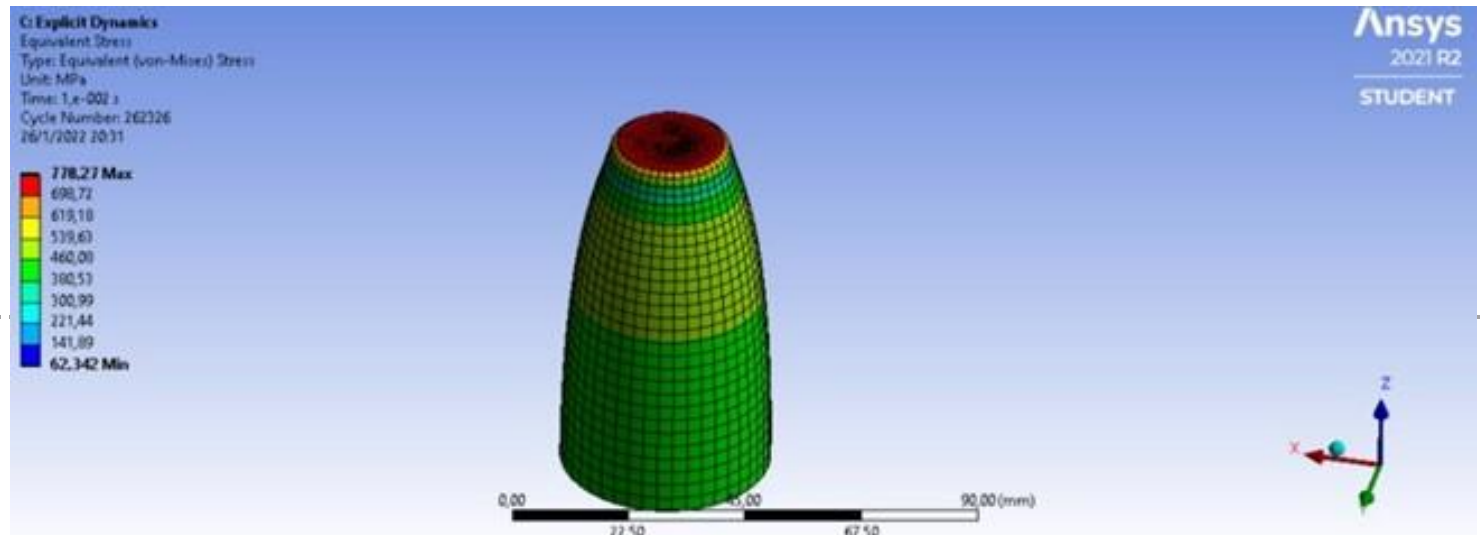


- Resultado cálculos en Excel

| | | |
|------------------------------------|--------------|----------------------|
| Modulo elástico | 18,69 | GPa |
| Esfuerzo de prueba | 259,70 | (N/mm ²) |
| Resistencia a la compresión | 865,66 | (N/mm ²) |
| Módulo secante | 14,71 | GPa |
| Módulo tangente | 6,61 | GPa |
| % de acortamiento | -33,79 | % |

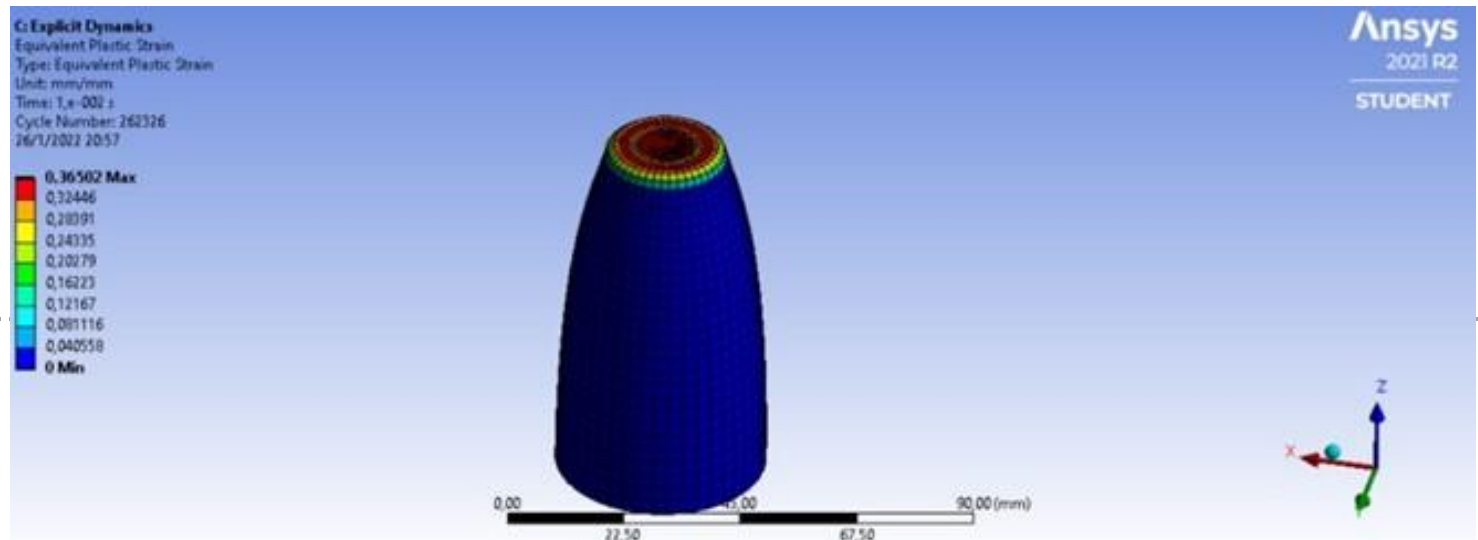
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Esfuerzo Equivalente



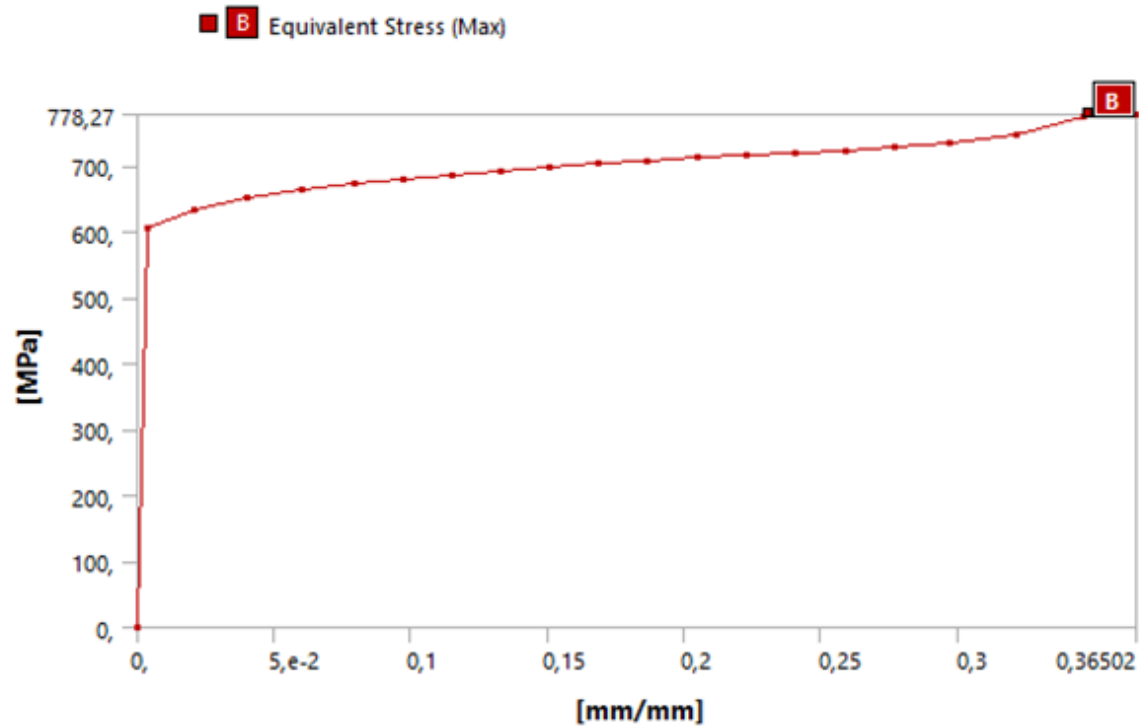
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Deformación



RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Curva esfuerzo - Deformación



- Resultados Obtenidos

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|--|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico (N/mm ²) | 213,43 | 259,7 | 213,43 | 250 |
| Resistencia a la compresión (N/mm ²) | 866,09 | 865,66 | 778,27 | No especificado |
| Módulo de elasticidad (GPa) | 20,14 | 18,69 | 20,14 | 200 |

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|--|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico (N/mm ²) | 213,43 | 259,7 | 213,43 | 250 |
| Resistencia a la compresión (N/mm ²) | 866,09 | 865,66 | 778,27 | No especificado |
| Módulo de elasticidad (GPa) | 20,14 | 18,69 | 20,14 | 200 |

RESULTADOS

- **Ensayo de tensión Hierro Fundido (Gray Cast Iron)**
 - Resultado del laboratorio virtual “VirtualLabs”

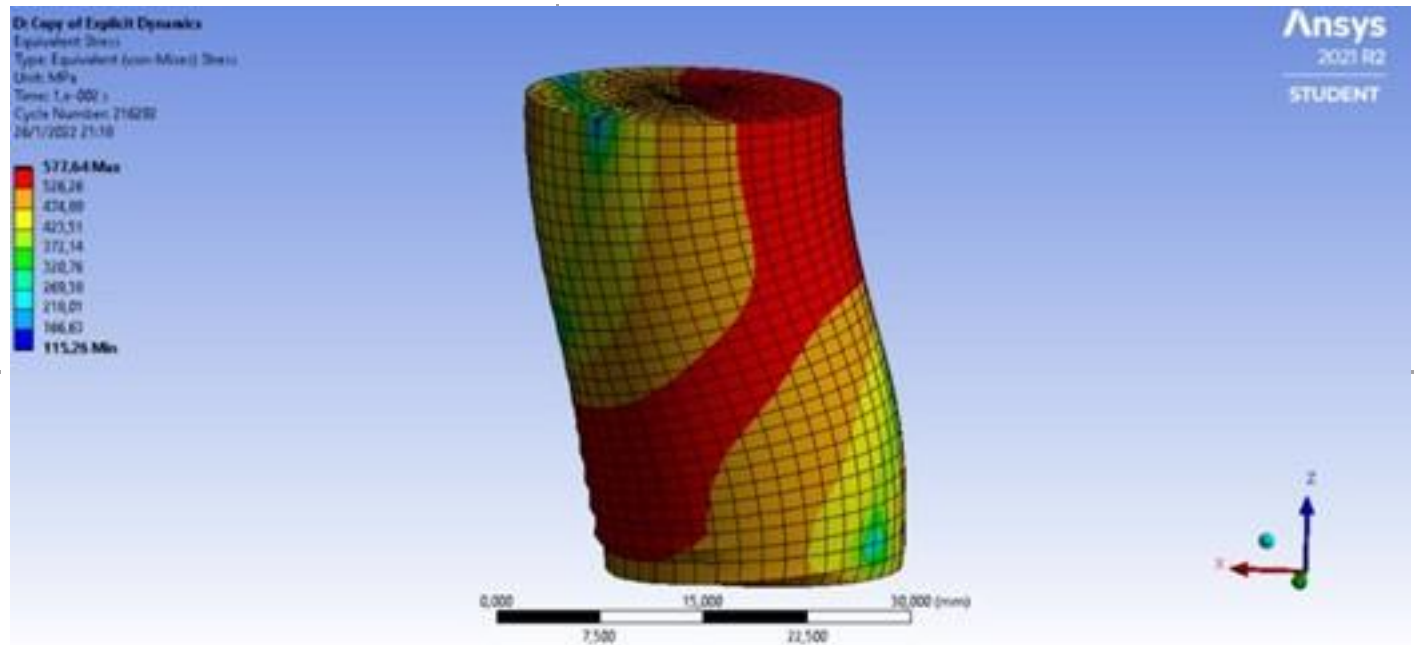
| Result | Actual Value |
|--|--------------|
| Proof Stress(N/mm ²) | 382.17 |
| Compressive Strength(N/mm ²) | 828.03 |
| Secant Modulus(GPa) | 16.52 |
| Tangent Modulus(GPa) | 6.85 |
| Modulus of Elasticity(GPa) | 19.29 |

- Resultado cálculos en Excel

| | | |
|------------------------------------|---------------|---------------------------|
| <i>Modulo elástico</i> | <i>17,32</i> | <i>GPa</i> |
| <i>Punto de fluencia</i> | <i>381,97</i> | <i>(N/mm²)</i> |
| <i>Resistencia a la compresión</i> | <i>827,61</i> | <i>(N/mm²)</i> |
| <i>Punto de rotura</i> | <i>827,61</i> | <i>(N/mm²)</i> |
| <i>Módulo secante</i> | <i>16,98</i> | <i>GPa</i> |
| <i>Módulo tangente</i> | <i>8,913</i> | <i>GPa</i> |

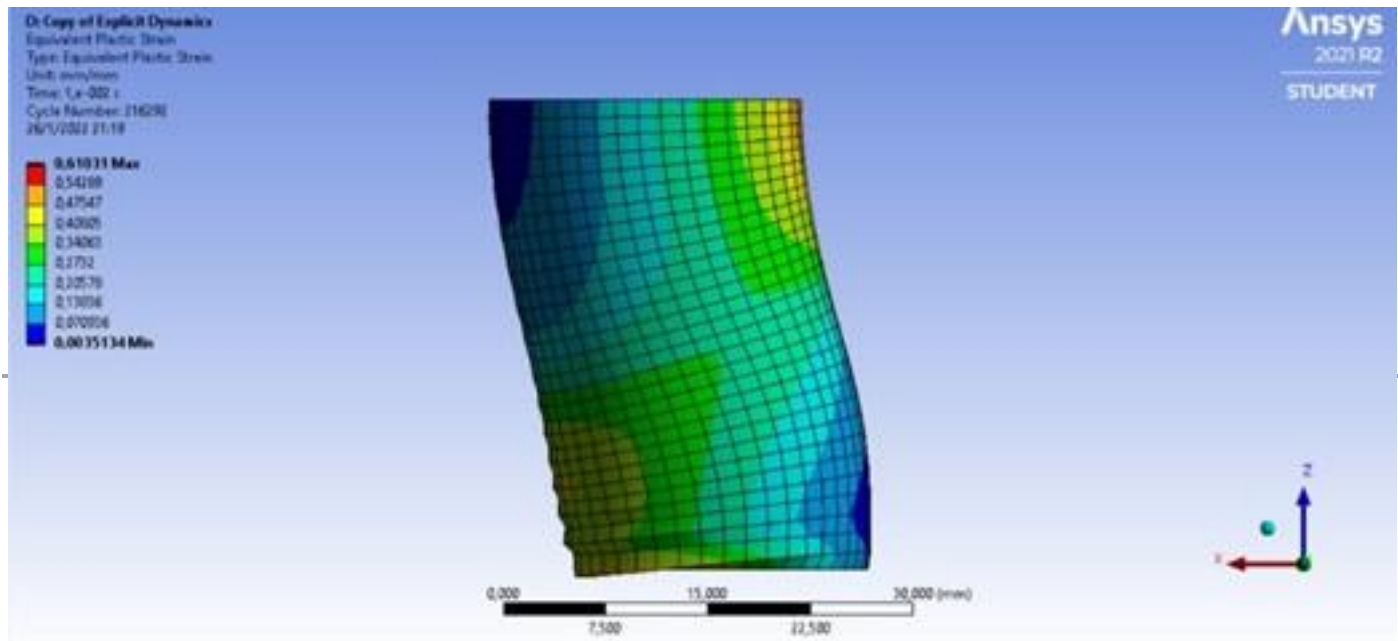
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Esfuerzo Equivalente



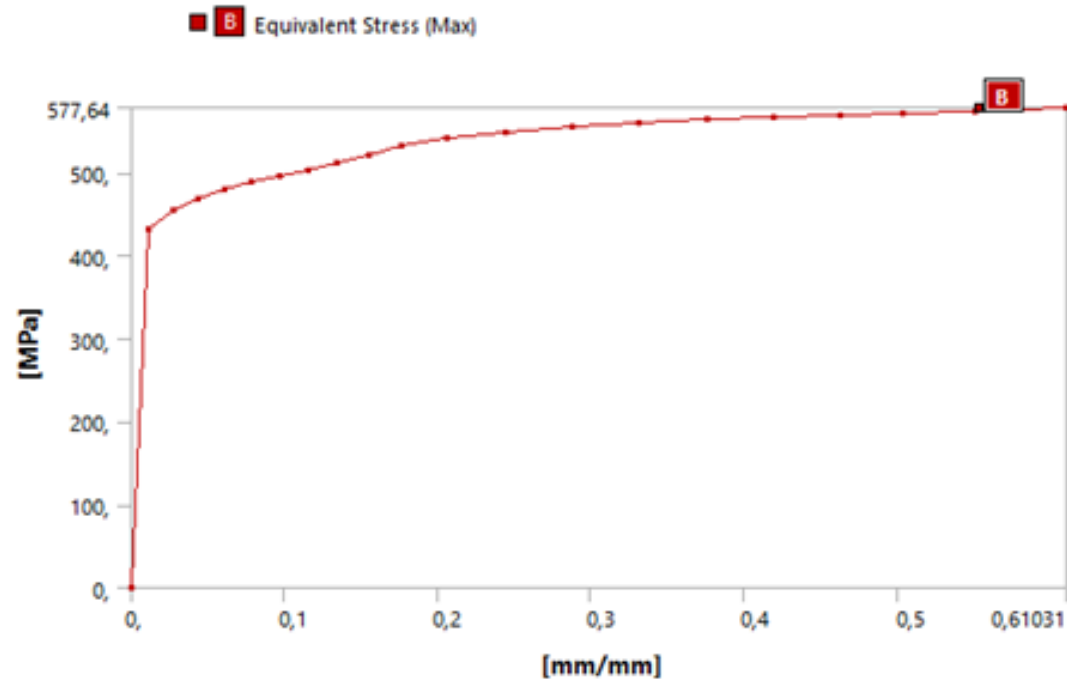
RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Deformación



RESULTADOS

- Resultado Simulación de Software CAD
 - Curva esfuerzo - Deformación



- Resultados Obtenidos

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|--|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico (N/mm ²) | 382,17 | 381,97 | 382,17 | No especificado |
| Resistencia a la compresión (N/mm ²) | 828,03 | 827,61 | 577,64 | 572 – 1380 |
| Módulo de elasticidad (GPa) | 19,29 | 17,32 | 19,29 | 124 |

| | VirtualLabs | Cálculo en Excel | Simulación Ansys | Características estandarizadas del material |
|-------------------------------|-------------|------------------|------------------|---|
| Límite elástico % | 213,43 | 0,05 | 0 | No especificado |
| Resistencia a la compresión % | 866,09 | 0,05 | 30,24 | Dentro del rango |
| Módulo de elasticidad % | 20,14 | 10,21 | 0,00 | 84,44 |

- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones



- Las propiedades mecánicas fueron obtenidas mediante el laboratorio virtual “VirtualLabs” con los siguientes resultados:

- Ensayo de tensión acero dulce

Límite elástico 356,39 MPa; resistencia a la tracción 549,03

MPa; Módulo de elasticidad 209,09 GPa; Porcentaje de

elongación 30,5%, Porcentaje de reducción de área 54,11%.

- Ensayo de tensión hierro fundido

Límite elástico 156,71 MPa; Resistencia a la tracción 199,21

MPa, módulo de elasticidad 21,36 GPa.



- Las propiedades mecánicas fueron obtenidas mediante el laboratorio virtual “VirtualLabs” con los siguientes resultados:

- Ensayo de compresión acero dulce

Límite elástico 213,43 MPa; Resistencia a la compresión 866,09 MPa, módulo de elasticidad 20,14 GPa.

- Ensayo de compresión acero dulce

Límite elástico 213,43 MPa; Resistencia a la compresión 866,09 MPa, módulo de elasticidad 20,14 GPa.



- Se obtuvieron las propiedades mecánicas de los materiales mediante el software

Ansys, dando como resultados:

- Ensayo de tensión acero dulce

Límite elástico 356,39 (N/mm²); resistencia a la tracción

587,65 (N/mm²), módulo de elasticidad 209,09 (GPa);

porcentaje de elongación 21,87 %; porcentaje de reducción de

área 52,17 %.

- Ensayo de tensión hierro fundido

Límite elástico 156,71 (N/mm²); resistencia a la tracción

541,86 (N/mm²) módulo de elasticidad 21,36 (GPa).



- Se obtuvieron las propiedades mecánicas de los materiales mediante el software Ansys, dando como resultados:

- Ensayo de compresión acero dulce

Límite elástico 213,43 (N/mm²); resistencia a la compresión 541,86 (N/mm²); módulo de elasticidad 20,14 (GPa)

- Ensayo de compresión hierro fundido

Límite elástico 382,17 (N/mm²); resistencia a la compresión 577,64 (N/mm²); módulo de elasticidad 19,29 (GPa)



- Debido a que se tiene un porcentaje de error mayor al 10% en los ensayos: tracción del hierro fundido, compresión de acero dulce y compresión de hierro fundido se establece que el laboratorio virtual “VirtualLabs” no se debe usar como herramienta de reemplazo para el ensayo de compresión o tracción.

- La librería de materiales del software Ansys están basadas en las propiedades estandarizadas de los materiales, lo que da una diferencia con los valores del laboratorio virtual dando como resultado: la herramienta VirtualLabs es una opción educativa y didáctica para conocer el procedimiento y realizar cálculos teóricos que ayudarán a tener una idea de cómo se maneja una máquina de ensayos universal.



- La simulación dinámica explícita que ofrece el software Ansys ayuda a visualizar las deformaciones que tendrá un material al ser sometido a un tipo de carga de manera precisa, pero, requiere de un computador con hardware compatible con el software para que sus resultados se puedan obtener de manera precisa y no muy demorada, la simulación se encontrará en el anexo 1.



- 1 • Introducción
- 2 • Justificación
- 3 • Objetivos
- 4 • Metodología
- 5 • Resultados
- 6 • Conclusiones
- 7 • Recomendaciones



- Se recomienda a los diseñadores del laboratorio virtual “VirtualLabs” especificar el tipo del material a usarse en los ensayos, debido a que bajo el título “Acero dulce” y “Hierro fundido” se encuentra una gran variedad de tipos de material que tienen distintas propiedades y darán resultados diferentes al momento de obtener sus características mediante la aplicación de cálculos y simulación en software CAD.

- Utilizar un laboratorio virtual que posea licencia para ejercer como software de reemplazo a un laboratorio físico.



RECOMENDACIONES

• A nuevos investigadores se les recomienda crear videos guía o tutoriales que indiquen el uso correcto del software Ansys y el manejo de sus librerías.

• Utilizar el software Ansys como herramienta de diseño o educativa gracias a que su librería que se basa en las propiedades estandarizadas de los materiales.

• Realizar las simulaciones en un computador con hardware de video compatible para reducir el tiempo de cálculo de los ensayos y aumentar la precisión de los resultados.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN