

Uso de un simulador de pruebas mecánicas como herramienta didáctica en la carrera de ingeniería química metalúrgica

Avila Avila Yessica Lizbeth, Salas Reyes Enrique Antonio, García Robledo Jaime Francisco

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04510, México.

*Autor para correspondencia: lizbethiqm@gmail.com

Recibido:

23/junio/2022

Aceptado:

30/diciembre/2022

Palabras clave:

Simulador,
Ensayos mecánicos,
Herramienta didáctica

Keywords:

Simulator,
Mechanical testing,
Teaching tool

RESUMEN

Debido a la emergencia sanitaria que ha afectado al país y a gran parte del mundo la forma de impartir clases se vio afectada; tal es el caso de los laboratorios, los cuales eran impartidos de forma presencial y debido a este cambio en la sociedad fue necesario habilitar herramientas de trabajo que facilitaran el aprendizaje a distancia. El simulador nos ayudó a sustituir el laboratorio presencial con una alternativa virtual y cumplir con el programa de estudio establecido. Se realizó una secuencia didáctica con los estudiantes, donde se usaba el simulador en tiempo real y se corría con la finalidad de familiarizarlos con este tipo de simuladores. Como resultado cada estudiante podía correr el simulador las veces que fuera necesario y revisar los complementos como las normas, los videos y la teoría, que se encuentran en la página donde está el simulador. La herramienta de evaluación se estableció mediante un reporte de las practicas realizadas en el simulador.

ABSTRACT

Due to the health emergency that has affected the country and much of the world the way of teaching has been affected, such is the case of laboratory classes, which are carried out in a face-to-face and due to this change in society it was necessary to enable work tools that facilitate distance learning, the simulator helped us to replace the face-to-face laboratory with virtual alternatives in such a way that it is possible to comply with the established study program. A didactic sequence was carried out where the simulator was presented and ran to the students in real time, in order to familiarize the students with this type of simulator. As a result, each student could run the simulator as many times as necessary and review the supplements such as standards, videos and theory, which are found on the page where the simulator is. The evaluation tool was established through a report of the practices provided by the simulator.

Introducción

El uso de simuladores en la ingeniería proporciona una herramienta muy útil para la enseñanza del comportamiento mecánico de los materiales. Como es bien conocido, el comportamiento mecánico se define como la respuesta de un cuerpo a fuerzas externas. En consecuencia, este cuerpo se puede deformar elástica y plásticamente. Para observar este tipo de deformaciones, tradicionalmente se utilizan tanto la prueba de tensión bajo la norma ASTM E-08 como la de compresión bajo la norma ASTM E-09. Por el contrario, si se requiere conocer cómo se comporta bajo carga dinámicas llevando éste a la fractura, entonces se emplea la prueba Charpy o Izod y, se analiza la superficie de fractura, la cual ayuda a determinar el porcentaje de fractura frágil y dúctil, de acuerdo con la norma ASTM E-23. Así mismo, también es posible observar la fractura bajo esfuerzos de torsión empleando la norma ISO 7800.

El simulador VIRTUAL LABS de resistencia de materiales (Strength of Materials) proporciona un listado de las pruebas mecánicas que se pueden realizar. Cabe resaltar que es de acceso gratuito y para fines educativos. Por lo tanto, es una herramienta bastante útil en la enseñanza de la ingeniería de materiales e ingenierías afines, se puede acceder a través de la liga electrónica <https://sm-nitk.vlabs.ac.in/List%20of%20experiments.html>. En la figura 1 se puede ver el listado de dichas pruebas. Como primer caso, se usa el curso referente al ensayo de tensión. Posteriormente, se toman los casos referentes a los ensayos de compresión, impacto, torsión, doblez y dureza. Para realizar las actividades de simulación, los estudiantes accedieron al simulador mediante su computadora, en primera instancia para familiarizarse con el contenido de la página web, lo cual es de gran importancia para que se puedan desenvolver con fluidez e indaguen en el contenido de esta herramienta gratuita de trabajo.

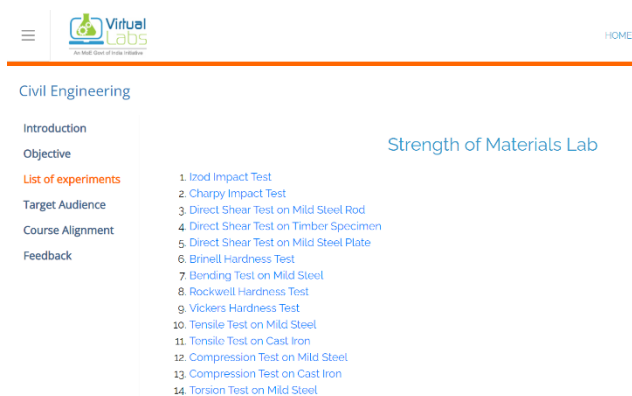


Figura 1. Lista de experimentos disponibles en la página web de Virtual Labs.

Desarrollo

Actividades didácticas y manejo del simulador

El alumno desarrolló y describió cada uno de los ensayos mecánicos mediante el uso del simulador. Para esto fue importante que se revisara la teoría previa, así como el procedimiento que se describe en la página de VIRTUAL LABS para cada uno de los ensayos mecánicos.

Ensayo de Tensión.

El estudiante debe conocer y comparar las propiedades mecánicas de un acero dulce y un hierro fundido mediante el análisis de una curva ingenieril esfuerzo-deformación, que se obtendrá como resultado de la simulación.

La simulación se realiza mediante una serie de pasos que se describen amigablemente en la página de VIRTUAL LABS, donde se tiene la opción de elegir entre el acero dulce o el hierro fundido, empleando probetas estandarizadas de acorde a las normas ASTM para cada ensayo mecánico. A continuación, se resaltan los puntos más importantes de la simulación:

- 1.-Dimensiones iniciales.
- 2.-Colocación e instrumentación. Mediante el simulador se puede colocar e instrumentar de manera adecuada la probeta de tensión en el equipo, como se muestra en la figura
3. Experimentalmente (en un experimento de forma presencial), este paso es muy importante ya que una mala colocación e instrumentación seguramente van a arrojar resultados erróneos. Sin embargo, si se pretendiera ver este tipo de procedimientos erróneos en el simulador no es posible observarlos.

A través del simulador se obtienen las medidas de la probeta mediante la medición del diámetro y la longitud, tal y como se observa en la figura 2. El simulador muestra de una forma muy sencilla cómo se debe realizar la medición real de la probeta con ayuda de un vernier o también llamado calibrador.

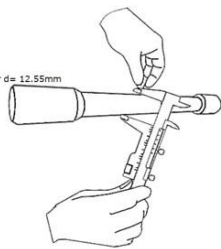
TENSILE TEST ON MILD STEEL

STEP 1 Measure the Initial Diameter of the tension test sample in two perpendicular directions using vernier caliper:

$d_x = 12.55\text{mm}$

$d_y = 12.55\text{mm}$

Average Initial diameter $d = 12.55\text{mm}$

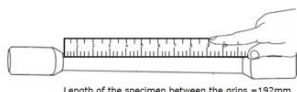


(a)

© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab @ NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

TENSILE TEST ON MILD STEEL

STEP 2 Measure the Length of the specimen between the grips using a scale.



Length of the specimen between the grips = 192mm

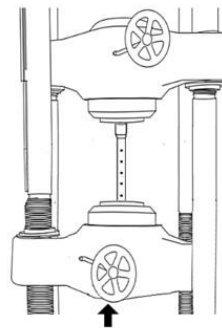
(b)

© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab @ NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Figura 2. Mediciones en la probeta para el ensayo de tensión: a) Diámetro inicial y b) Longitud inicial.

TENSILE TEST ON MILD STEEL

STEP 4 Insert the specimen into its position and mount extensometer on the specimen.

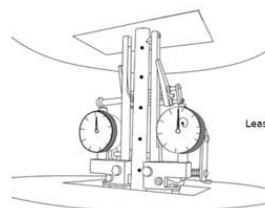


(a)

© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab @ NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

TENSILE TEST ON MILD STEEL

STEP 5 Readings on the dials A and B of extensometer are adjusted to zero.



Least Count of Extensometer = 0.01mm

(b)

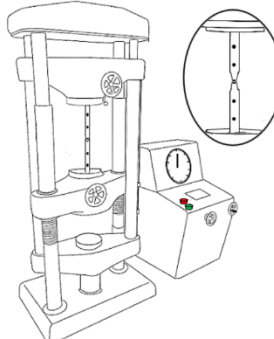
© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab @ NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Figura 3. Probeta de tensión: a) Colocación y b) Instrumentación.

3.-Simulación del ensayo de tensión. El simulador ejecuta el ensayo de tensión permitiendo observar el alargamiento que sufre la probeta como respuesta a la aplicación de la carga, llegando al punto de ruptura como se muestra en la figura 4.

TENSILE TEST ON MILD STEEL

STEP 6 Experiment is conducted. Load, extensometer readings are read at regular intervals of load upto the yield point. Ivory scale readings are noted till the specimen failure.



Load in kN	Extensometer Reading in Division			Ivory Scale Reading (mm)
	A	B	Average	
-	-	1	0.5	-
2.5	2	2	2	0.2
5	3	3	3	0.5
7.5	5	4	4.5	0.8
10	6	5	5.5	1
12.5	7	5	6	1
15	8	6	7	1.2
17.5	9	7	8	1.2
20	10	8	9	1.5

Download Data

© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab @ NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Figura 4. Ejecución del ensayo de tensión

4.-Gráficos obtenidos. Como resultado de la simulación se obtiene la curva esfuerzo-deformación que se observa en la figura 5a, haciendo énfasis en la parte lineal de dicha curva (figura 5b),

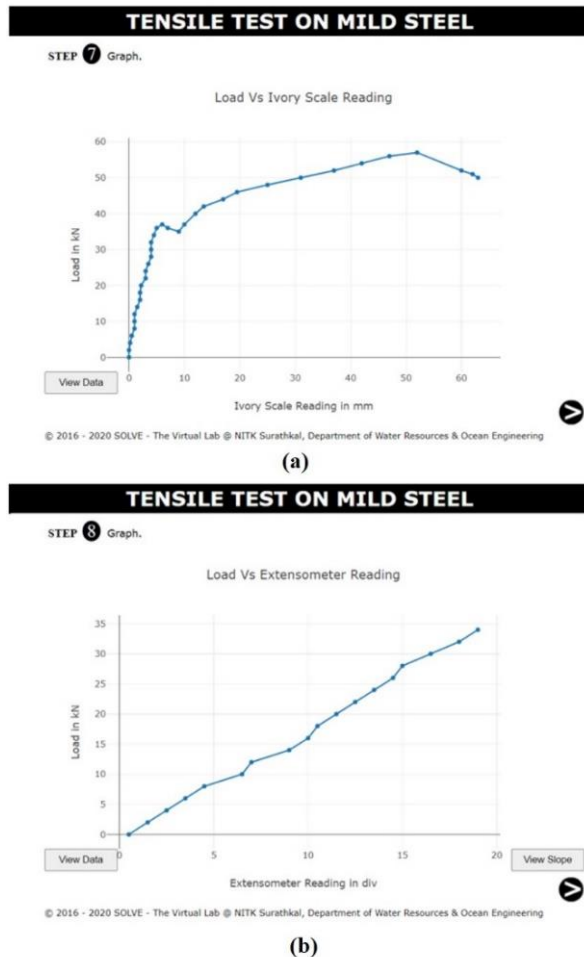


Figura 5. Resultados del ensayo de tensión: a) Curva esfuerzo-deformación y b) Región lineal.

la cual es de suma importancia ya que representa una de las propiedades más importantes del material (módulo de Young).

5.-Dimensiones y propiedades finales. En la parte final de la simulación, se arrojan las dimensiones finales de la probeta, las cuales son importantes para calcular de forma analítica el módulo de elasticidad, el porcentaje de reducción de área, etc. (Figura 6).

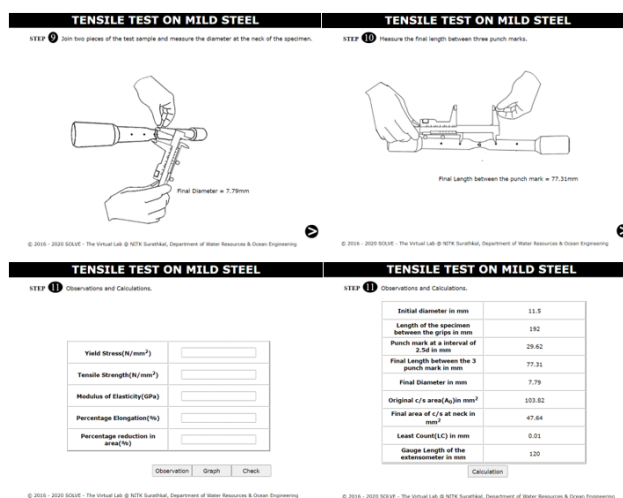


Figura 6. Dimensiones y parámetros finales del ensayo de tensión.

Ensayo de compresión

El estudiante debe conocer, estudiar y comparar las propiedades mecánicas de un acero dulce y un hierro fundido mediante una curva ingenieril esfuerzo-deformación, que se obtendrá como resultado de la simulación del ensayo de compresión.

La simulación se realiza mediante una serie de pasos que se describen en la página de VIRTUAL LABS, donde se tiene la opción de elegir entre el acero dulce o el hierro fundido en ambos casos el procedimiento es el mismo.

1.-Dimensiones iniciales. A través del simulador se obtienen las dimensiones de la probeta de compresión, tanto del diámetro como de la altura inicial, como se observa en la figura 7.

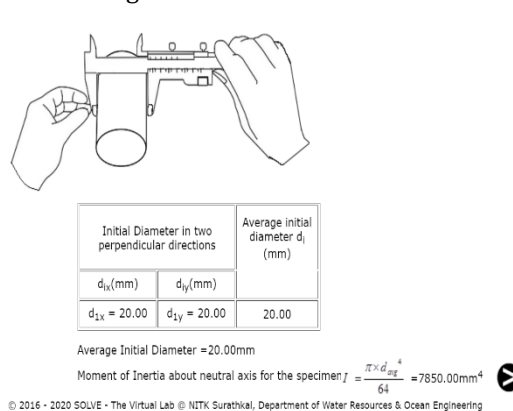


Figura 7. Dimensiones iniciales de la probeta de compresión.

2.-Colocación e instrumentación. Una vez que la probeta se coloca adecuadamente y se instrumenta con un

extensómetro, se procede a la ejecución de la simulación como se muestra en la figura 8. En el laboratorio presencial es muy importante la colocación de la probeta y del lubricante, debido a que se pueden desencadenar defectos como abarrilamiento por la fricción que se genera entre el dado y la pieza, desface de la pieza, etc. Sin embargo, en el simulador no se hace mención del uso de algún lubricante o de la presencia de posibles defectos durante el ensayo.

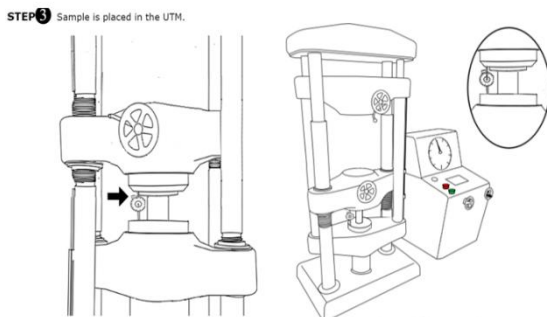


Figura 8. Colocación e instrumentación de la probeta de compresión.

3.-Simulación del ensayo de compresión. El simulador ejecuta la simulación, mostrando una tabla de resultados y la probeta con la fractura después del ensayo, como se muestra en la figura 9, esta simulación es muy visual y de gran ayuda, pero omite ciertos defectos que se pueden presentar en el ensayo como un pandeo de la probeta o el abarrilamiento, además de que no muestra por completo el proceso de compresión.

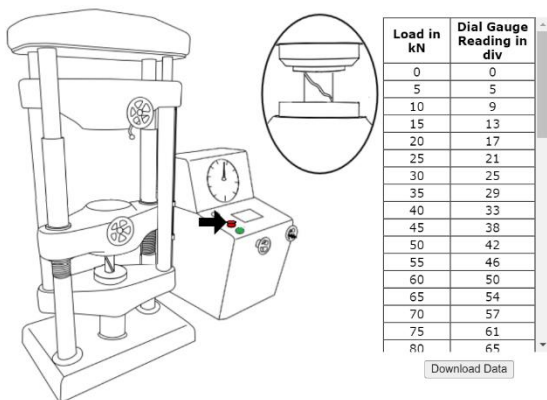


Figura 9. Ejecución de la simulación del ensayo de compresión.

4.-Gráficos obtenidos. Al terminar la simulación se obtiene un gráfico de la carga Vs la lectura de la marcación como se muestra en la figura 10. El manejo de los datos es muy sencillo e intuitivo, ya que cada punto se puede seleccionar en el gráfico y los resultados se pueden comparar de manera analítica y gráfica.

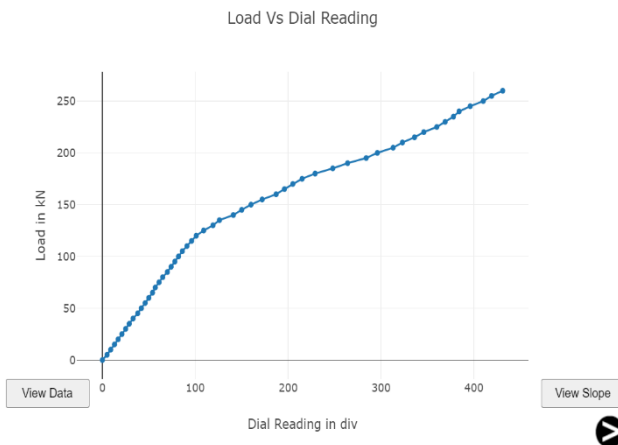


Figura 10. Resultados de la simulación del ensayo de compresión.

Ensayo de impacto

La simulación del ensayo de impacto se puede realizar para el tipo Izod y tipo Charpy, como se observa en la página web de VIRTUAL LABS (figura 11 y 12, respectivamente). El ensayo tipo Charpy es el más empleado en los laboratorios de las universidades, ya que es bastante común y fácil de realizar, además es el que está indicado para el ensayo de metales de acuerdo con la ASTM, por tal motivo se eligió este ensayo para simular.

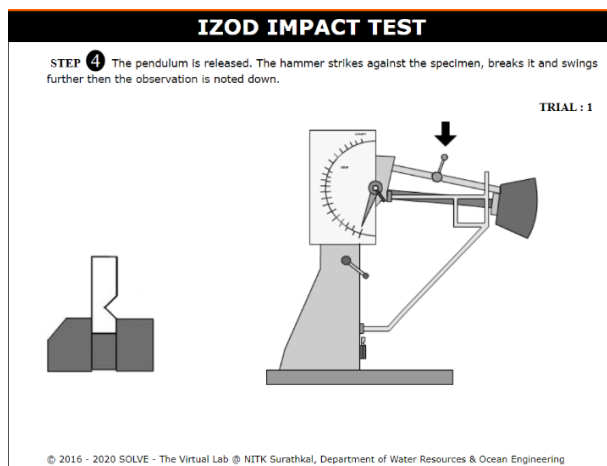


Figura 11. Simulación de la prueba de impacto tipo Izod.

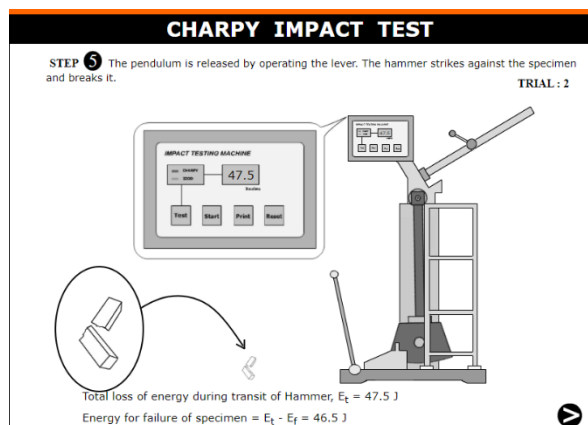


Figura 12. Simulación de la prueba de impacto tipo Charpy.

1.-Medición inicial. El simulador toma la medida de la fricción del aire, la cual se determina dejando caer el péndulo de forma natural y se considera este valor para el ensayo de cada una de las probetas, tal como se muestra en la figura 13.

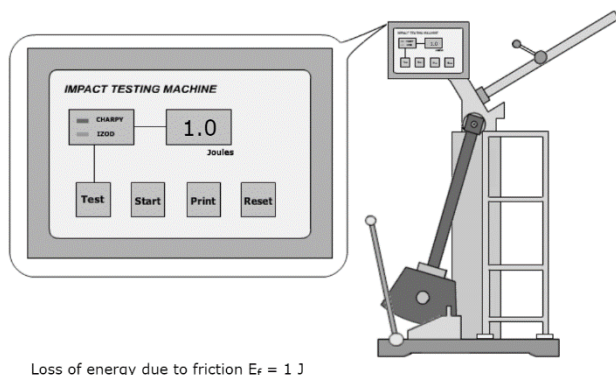


Figura 13. Medición inicial de la fricción del aire.

2.-Material y dimensiones. El simulador da la opción de elegir entre hierro fundido y acero dulce, para fines educativos se eligió el acero dulce debido a la ductilidad del material. Una vez elegido el material, el simulador nos muestra las dimensiones de la probeta como se muestra en la figura 14.

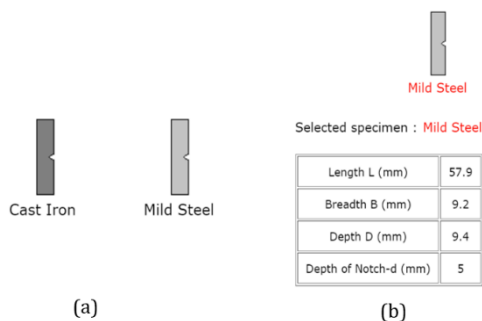


Figura 14. Ensayo de impacto tipo Charpy: a) material y b) Dimensiones.

3.-Colocación de la probeta. El simulador muestra de una forma bastante clara la colocación de la probeta tipo Charpy en los soportes de la máquina de ensayos, tal como se muestra en la figura 15, muestra la parte clave para este ensayo, consiste en colocar la muesca de la probeta del lado opuesto al impacto, para inducir la fractura.

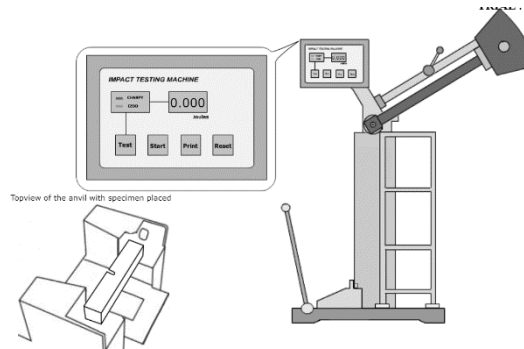


Figura 15. Colocación de la probeta tipo Charpy.

4.-Simulación del ensayo tipo Charpy. El simulador muestra cómo se impacta el péndulo con la probeta, obteniendo así una energía de absorción al impacto que se muestra en la pantalla de la máquina y una probeta fracturada (figura 16), el ensayo se realiza por triplicado; es decir, se repite 3 veces el mismo proceso para el mismo material.

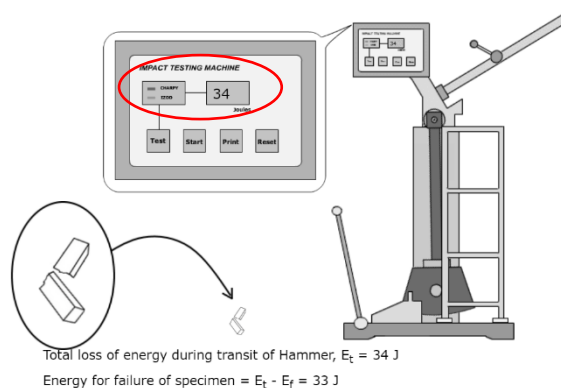


Figura 16. Simulación del ensayo de impacto tipo Charpy.

Resultados obtenidos. Al final de la simulación se obtiene una tabla donde se muestran los resultados de las energías de impacto obtenidas en cada prueba, la energía de fricción del aire y finalmente el promedio (figura 17). Los resultados que arroja el simulador son bastante ejemplificativos con respecto al ensayo; sin embargo, no

se realiza un análisis de fractura de las probetas ensayadas

Trial	Material	Loss of energy due to friction E_f (J)	Total loss of energy during transit of Hammer E_t (J)	Energy for failure of specimen = $E_t - E_f$ (J)	Average of energy for failure of specimen (J)
1		1	-	-	40.00
2	Mild Steel	1	34	33	
3		1	48	47	

Figura 17. Resultados de la simulación de la prueba de impacto tipo Charpy.

Ensayo de torsión

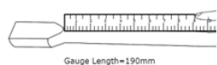
La simulación se realiza mediante una serie de pasos que se describen en la página web de VIRTUAL LABS, donde el material que se ensaya es el acero dulce. En este apartado se resaltarán los puntos más importantes de la simulación.

1.-Dimensiones iniciales. Al igual que en el ensayo de tensión y compresión, el simulador obtiene las dimensiones iniciales de la probeta de torsión empleando un vernier como se observa en la figura 18 y finalmente se realiza una marca a lo largo de la longitud de la probeta.

Initial Diameter=11.06mm



(a)



(b)

Figura 18. Mediciones en la probeta para el ensayo de torsión: **a)** Diámetro inicial y **b)** Longitud inicial.

2.-Colocación de la probeta. Una vez marcada la probeta, el simulador muestra como colocarla en las mordazas de la máquina de torsión, esta debe estar sujeta de la parte superior e inferior lo cual se realiza con ayuda del maneral que se desplaza hacia arriba y hacia abajo, se encuentra indicado en el círculo rojo de la figura 19.

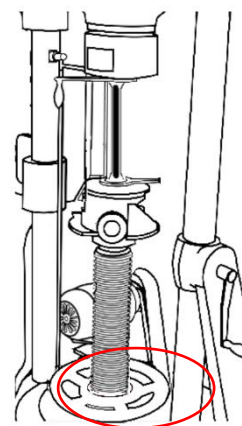
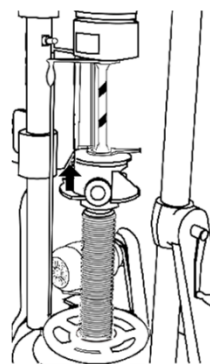
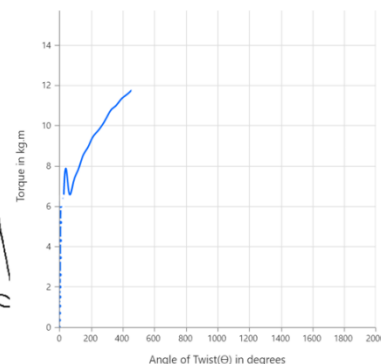


Figura 19. Colocación de la probeta de torsión.

3.-Simulación del ensayo de torsión.



(a)



(b)

Figura 20. Simulación del ensayo de torsión: **a)** Probeta torsionada y **b)** Evolución del gráfico.

El simulador comienza a correr una vez que se le indique, en dicha simulación muestra el progreso del ensayo, del lado izquierdo de la figura 20 se muestra cómo la probeta comienza a torsionarse mientras que del lado derecho se ve la evolución de la gráfica.

4.-Gráficos obtenidos. Los resultados del ensayo de torsión se basan en las medidas tomadas previamente de la probeta y de las marcas realizadas, de este modo se puede determinar el número de roscas que se formaron al torcer la probeta y a su vez el ángulo de giro. El simulador muestra como resultado una curva la cual grafica el torque en función del ángulo de giro en grados, resaltando la parte lineal de la curva como se muestra en la figura 21.

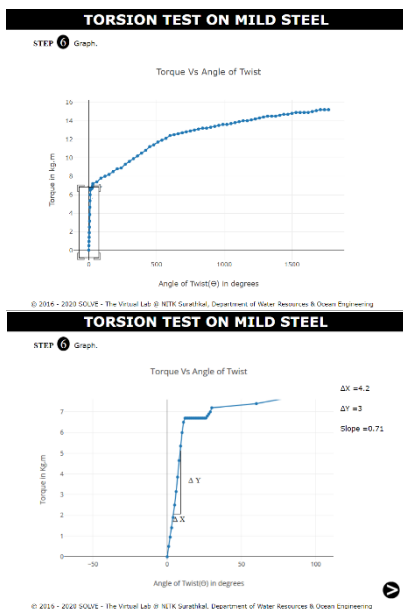
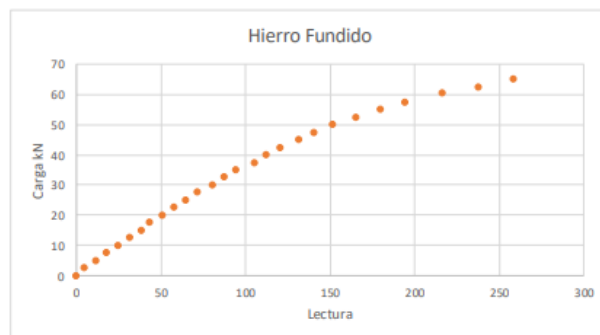


Figura 21. Resultados de la simulación del ensayo de torsión.

Resultados y discusión

Al emplear el simulador VIRTUAL LABS en el curso de comportamiento mecánico los alumnos realizaron las practicas semanalmente de forma individual, teniendo buenos resultados en los reportes entregados, la mayoría de ellos empleó el simulador de forma intuitiva y sin dificultad.

Los reportes entregados detallaban el manejo del simulador y los resultados obtenidos al ejecutar el simulador, dando al estudiante datos para manejar y posteriormente realizar los gráficos. A continuación, se muestran algunos de los gráficos realizados por los estudiantes, al analizar las prácticas de la simulación del ensayo de tensión, los alumnos obtienen de forma similar los gráficos de esfuerzo- deformación (figuras 22 y 23), resaltando que la mayoría de los alumnos grafica los datos de forma correcta y realizan un correcto análisis de lo que implica este ensayo ya que realizaron los cálculos pertinentes para el análisis analítico de este ensayo donde el objetivo era obtener el módulo de Young, esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia, etc.

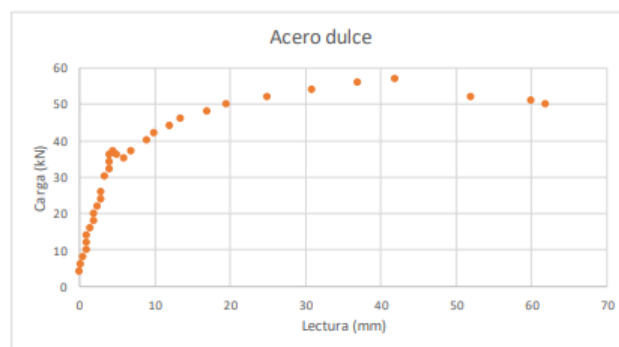


$$m = \frac{50 \text{ kN} - 20 \text{ kN}}{175 - 87} = 0.34 \text{ kN}$$

$$E = \frac{0.34 \text{ kN} (192 \text{ mm})}{0.01 (335.236 \text{ mm}^2)} = 19.5 \text{ GPa}$$

$$\%ee = \left| \frac{21.6 \text{ GPa} - 19.5 \text{ GPa}}{21.6 \text{ GPa}} \right| (100) = 9.7\%$$

Figura 22. Resultados del manejo de datos de la simulación del ensayo tensión para el hierro fundido.



$$m = \frac{7.6 \text{ kN}}{4.2 \text{ mm}} = 1.81 \text{ kN/mm}$$

$$E = \frac{(1.81 \text{ kN/mm})(120 \text{ mm})}{0.01 (103.82 \text{ mm}^2)} = 209.21 \text{ GPa}$$

$$\%ee = \left| \frac{209.09 \text{ GPa} - 209.21 \text{ GPa}}{209.09 \text{ GPa}} \right| (100) = 0.1\%$$

Figura 23. Resultados del manejo de datos de la simulación del ensayo tensión para el acero dulce.

En el caso de la simulación del ensayo de compresión los resultados son similares al del ensayo de tensión, dando buenos resultados del manejo del simulador, los alumnos realizaron sin complicaciones los gráficos adecuados, como se muestra en la figura 24. Si bien el simulador ayuda a obtener resultados ejemplificativos no muestra las dificultades que se pueden llegar a presentar durante el ensayo, ni los fenómenos que pueden presentarse en el material al momento del ensayo como son abarrilamiento, pandeo, fracturas, etc.

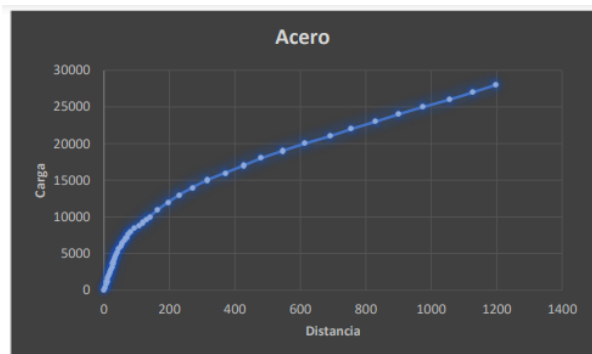


Figura 1 Grafica carga vs distancia Acero

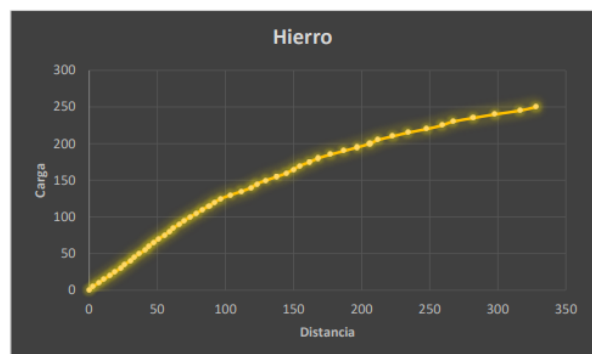


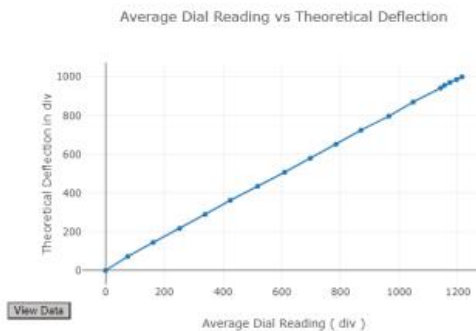
Figura 2 Grafica carga vs distancia Hierro

Figura 24. Resultados del manejo de datos de la simulación del ensayo compresión para el acero dulce y el hierro fundido.

Al realizar la simulación del ensayo de impacto tipo Charpy, los alumnos tuvieron algunas dificultades. Al ser un ensayo donde no se obtuvieron gráficas, se tuvo un análisis erróneo de lo que este ensayo implica. Como se mencionó, el simulador no realiza un análisis de fractura, el cual es de gran importancia ya que puede ayudar a conjuntar los conocimientos adquiridos en este ensayo, así como su aplicación, ya que es de los más importantes en la formación del alumno, mostrando la importancia de la fragilidad o ductilidad de un material

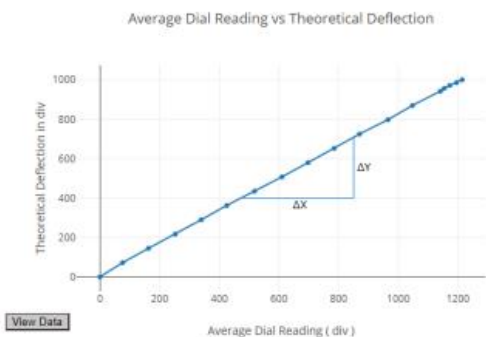
La simulación del ensayo de torsión se llevó a cabo de manera sencilla, la mayoría de los estudiantes no realizaron el manejo de datos, sino que utilizaron los datos que el simulador arroja como lo muestra la figura 25, si bien es válido, un manejo personal de datos enriquecería aún más el aprendizaje del alumno porque ayuda a visualizar lo que pasa con el material a lo largo del ensayo y este aprende a manejar los datos con mayor fluidez.

STEP 8 Plot theoretical deflection at one-third span vs average experimental deflection at one-third span within elastic limit.



© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab © NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

STEP 8 Plot theoretical deflection at one-third span vs average experimental deflection at one-third span within elastic limit.



© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab © NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Figura 25. Resultados la simulación del ensayo de torsión.

En general los resultados obtenidos de las simulaciones son buenos, los alumnos reaccionaron de una forma favorable a esta adaptación; sin embargo, no se debe perder de vista que el uso de simuladores no reemplaza al laboratorio presencial, sino que, es una herramienta de apoyo para enriquecer el aprendizaje y en este caso para adaptarnos a una educación a distancia, debido a que los alumnos deben vivir la experiencia de estar en un laboratorio para manipular el equipo, material, observar, vivir la parte experimental, y comprender e interpretar las variables que pueden cambiar al ensayar una probeta, en este caso. La parte visual es fundamental en el desarrollo cognitivo del alumno por eso es importante su desarrollo en el laboratorio.

Conclusiones

El simulador ayudó a sustituir temporalmente el laboratorio presencial de manera satisfactoria, ya que los alumnos realizaron las simulaciones de forma sencilla y

concisa y, en la mayoría de los casos llevó a un correcto análisis.

El uso de simuladores representa una gran herramienta para el docente ya que de forma bastante sencilla ayuda a realizar un sinnúmero de experimentos, subsanando las carencias que en algunos casos se puedan presentar en el laboratorio, como la falta de material, manejo inadecuado del equipo, espacios de trabajo pequeños y falta de infraestructura. Si bien, es una herramienta útil, se considera que se debe complementar con una explicación previa y final en cada práctica, que lleve a un entendimiento completo de las prácticas, así como la importancia de realizar este tipo de ensayos.

Los simuladores son una gran herramienta; sin embargo, poseen algunas carencias que probablemente se pueden subsanar con materiales de apoyo como videos realizados en el laboratorio presencial, trabajos de investigación, otros simuladores, etc., de este modo se enriquece el manejo de simuladores y aumenta el interés del alumno para trabajar con ellos.

Referencias

G.E. Dieter, Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition, McGraw-Hill

F.P. Beer and E.R. Johnston, Mechanics of Material, 3rd Edition, Tata McGraw Hill, New-Delhi, 2007.

ASTM E8/E8M – 11 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

ASTM E 9 – 89a (Reapproved 2000) Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature

ASTM E23-18 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials

IS 1717 (2012): Metallic Materials - Wire - Simple Torsion Test, Third Revision, 2012.

<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/List%20of%20experiments.html>