

ELABORACIÓN DE MATERIALES DIDÁCTICOS PARA LOS TEMAS DE
ESTRUCTURA ATÓMICA Y ENSAYO DE TENSIÓN DE LA ASIGNATURA DE
CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS DE AQUINO -USTA

CAMILO ANDRES QUIROGA AVILA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISION DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2016

ELABORACIÓN DE MATERIALES DIDÁCTICOS PARA LOS TEMAS DE
ESTRUCTURA ATÓMICA Y ENSAYO DE Tensión DE LA ASIGNATURA DE
CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS DE AQUINO -USTA

CAMILO ANDRÉS QUIROGA AVILA

Proyecto de trabajo de grado en la modalidad de apoyo a docencia para optar al
título de Ingeniero Mecánico.

DIRECTOR
ING. MARCO ANTONIO VELASCO PEÑA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISION DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2016

Nota de aceptación:

Firma del presidente jurado

Firma jurado

Firma jurado

Bogotá D.C. Marzo de 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a:

Dios, por brindarme la fortaleza y sabiduría para afrontar todas las dificultades que se presentaron en el transcurso del proyecto de grado

A mi Madre y a mi Padre por su acompañamiento en los momentos difíciles de mi carrera, la fortaleza que me brindaron y la confianza que siempre han tenido en mí.

Al Ingeniero Marco Antonio Velasco Peña por su enseñanza y paciencia al compartir sus conocimientos de una forma asertiva y puntual, a su apoyo y acompañamiento como Asesor.

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que día a día sacrificaron todo por verme profesional, esas personas que me tendieron la mano cuando sentía que el camino se terminaba y no me dejaron desvanecer ante cualquier adversidad, siempre me acompañaron y me mostraron el camino correcto. Hoy en día doy gracias a Dios por haberme dado unos padres tan maravillosos y únicos. A ustedes mi corazón y mi total agradecimiento, gracias por ayudarme a materializar estos sueños y poder decir: lo he logrado.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESÚMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCION	14
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2 JUSTIFICACIÓN	17
3 OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL.	18
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
4 MARCO TEORICO	19
4.1 LA FORMACIÓN ACADÉMICA DEL INGENIERO EN EL SIGLO XXI	19
4.2 FORMAS DE ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA	19
4.3 APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS ABP	20
4.3.1 Generalidades del ABP	20
4.3.2 El ABP desde el punto de vista de un estudiante	20
4.3.3 El ABP desde el punto de vista de un profesor	21
4.3.4 El Aprendizaje basado en preguntas	21
4.4 ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA	21
4.5 ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS	23
4.5.1 Guías didácticas	23
4.5.2 Tutoriales en educación	23
4.5.3 Cuestionarios en educación	24
5 ANTECEDENTES	25

5.1 APRENDIZAJE EN CRISTALOGRAFÍA UTILIZANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS	25
5.1.1 Herramienta de construcción y visualización Java Structure Viewer	25
5.1.2 Herramienta de construcción y visualización Powder Cell	26
5.2 COMPARACION DE LAS HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE JAVA STRUCTURE VIEWER Y POWDER CELL	27
5.3 HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA SIMULAR EL ENSAYO DE TENSIÓN SOFTWARE MACROMEDIA FLASH	27
5.4 SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE TENSIÓN USANDO EL SOFTWARE LS – DYNA 2014	28
5.5 COMPARACION DE LAS HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE FLASH MACROMEDIA Y LS – DYNA	29
6 DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE	30
6.1 INICIATIVA CDIO CONCEBIR – DISEÑAR – IMPLEMENTAR – OPERAR PARA LA ENSEÑANZA EN INGENIERÍA	30
6.1.1 CDIO aplicado a la ciencia e ingeniería de materiales.	31
6.1.2 Las actividades de aprendizaje de apoyo a un programa de ciencia de los materiales CDIO	32
6.1.3 Las Actividades de aprendizaje que apoyan las etapas CDIO	33
6.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LOS TEMAS DE ESTRUCTURA ATÓMICA Y ENSAYO DE TENSIÓN DE LA ASIGNATURA CIENCIA DE LOS MATERIALES DE LA USTA.	35
6.2.1 Identificación de necesidades	35
6.2.2 Ideas preliminares	36
6.2.3 Perfeccionamiento del problema	36
6.2.4 Análisis	36
6.2.5 Decisión	36
6.2.6 Realización	36
6.3 PROCESO DE DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE PARA EL TEMA DE ESTRUCTURA ATÓMICA	36
6.3.1 Tabulación de los datos obtenidos de la encuesta para Estructura Atómica	37
6.3.2 Identificación de las necesidades	38
6.3.3 Ideas preliminares	39
6.3.4 Perfeccionamiento del problema	40

6.3.5 Análisis	40
6.3.6 Decisión	40
6.3.7 Realización	41
6.4 PROCESO DE DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE PARA EL TEMA DE ENSAYO DE TENSIÓN	41
6.4.1 Tabulación de los datos obtenidos para el tema de Ensayo de Tensión	41
6.4.2 Identificación de las necesidades	43
6.4.3 Ideas preliminares	44
6.4.4 Perfeccionamiento del problema	45
6.4.5 Análisis	45
6.4.6 Decisión	45
6.4.7 Realización	46
7 CONCLUSIONES	47
8 RECOMENDACIONES	49
9 BIBLIOGRAFÍA	50

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación de etapas del C.D.I.O. en Ciencia de Materiales	34
Tabla 2. Resultados obtenidos en la encuesta del tema de Estructura Atómica	37
Tabla 3. QFD de los temas de Estructura Atómica	38
Tabla 4. Ponderación QFD.	39
Tabla 5. Resultados obtenidos en la encuesta para el tema de ensayo de tensión.	42
Tabla 6. QFD de los temas de Ensayo de Tensión.	43
Tabla 7. Ponderación QFD	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 3. Ilustración de estructuras en el software Java Structure Viewer.	25
Figura 5. Interfaz de Macromedia flash aplicado al ensayo de tensión.	28
Figura 6. Simulación del ensayo de tensión en el software LS DYNA.	29
Figura 10. Implementación CDIO	31
Figura 11. Implementación CDIO a la ciencia de los materiales	32
Figura 12. Metodología de Diseño EARLE	35
Figura 13. Gráfica de resultados Tema Estructura Cristalina	37
Figura 14. Resultados Encuesta Tema Ensayo de Tensión	42

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta de los temas de estructura atómica y ensayo de tensión

Anexo 2. Guía de Estructura Atómica

Anexo 3. Guía de Ensayo de Tensión

RESÚMEN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo la elaboración de materiales didácticos, para los temas de Estructura Atómica y Ensayo de Tensión de la asignatura Ciencia de los Materiales de la Universidad Santo Tomás de Aquino (USTA).

Debido a la reforma del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomas, es de gran importancia el desarrollo de estos materiales didácticos, ya que por medio de estas herramientas los docentes facilitan y conducen el aprendizaje autónomo de los estudiantes, apoyando la implementación de Metodologías CDIO. Es transcendental que dentro de la reforma curricular, el diseño y la selección del material didáctico sea efectivo, para que permita un aprendizaje exitoso, significativo y una calidad objetiva.

En este orden de ideas, para llevar a cabo el presente trabajo de grado, se plantea una metodología de diseño de las experiencias de aprendizajes, de los temas Estructura Cristalina y Ensayo de Tensión, utilizando encuestas, la matriz QFD, con el fin de determinar las necesidades del cliente, en este caso de los estudiantes y el docente de la asignatura. Posteriormente, se elaboran los materiales didácticos, como guías didácticas, tutoriales en CAD, tutoriales de simulación de elementos finitos, cuestionarios interactivos, guías de laboratorio.

Por lo tanto, se pretende facilitar la enseñanza de la asignatura de Ciencia de materiales de la USTA, y potencializar el aprendizaje de los estudiantes, de manera que ellos adquieran los conocimientos de una forma dinámica y de interés, aprovechando los recursos disponibles en la USTA, como son: Laboratorios de física, química, ensayos mecánicos y salas de sistemas, para realizar prácticas con software de Ingeniería.

Palabras clave:

Material Didáctico, Aprendizaje autónomo, metodología de diseño, experiencias de aprendizaje

ABSTRACT

This degree work aims to develop teaching materials for the subjects of Atomic Structure and voltage test subject Materials Science at the University St. Thomas Aquinas (USTA).

Due to the reform of the curriculum of the race of Mechanical Engineering of the University of Santo Tomas, it is of great importance to develop these training materials, as these tools by teachers facilitate and lead the independent student learning, Methodologies supporting the implementation of CDIO. That is transcendental in curriculum reform, teaching material selection to be effective, to allow successful learning, meaningful and objective quality.

In this vein, to carry out this work degree, a design methodology of learning experiences, the issues and test voltage Crystalline structure using surveys, QFD matrix arises, in order to determine customer needs, in this case students and teachers of the subject. Subsequently, training materials, and teaching guides, tutorials CAD, tutorials finite element simulation, interactive quizzes, lab guides are developed.

Therefore, it is intended to facilitate the teaching of the subject of Materials Science of the USTA, and empower the student learning so that they acquire knowledge in a dynamic and interesting, using available resources in the USTA such as: Laboratory physics, chemistry, mechanical testing facilities and systems for software engineering practices.

Keywords:

Didactic Material, Auto Learning, Desing Methodology, Learning experiences.

INTRODUCCION

El presente trabajo de grado en la modalidad de apoyo a docencia tiene como objetivo desarrollar actividades y ayudas didácticas de clase, dentro de la unidad académica Ciencia de los Materiales, para los temas de Estructura Atómica y Propiedades Mecánicas de Tensión, del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás. Actualmente el programa está en proceso de una reforma curricular que va de la mano con la necesidad de implementar nuevas estrategias académicas en el aula de clase, de manera que el aula sea un lugar donde el estudiante aprenda de forma significativa y no solo con la clase magistral. La estrategia académica seleccionada es la implementación del CDIO, por medio del cual consiste en realizar diferentes actividades didácticas en el aula, para mejorar y dinamizar la instrucción y así generar aprendizajes experienciales.

En este orden de ideas el alcance de este proyecto, es generar ayudas didácticas de implementar las estrategias CDIO, para facilitar la enseñanza de la asignatura de Ciencia de los Materiales, potenciando los recursos disponibles en la USTA, como son: Laboratorios de física, química, ensayos mecánicos, salas de sistemas entre otros, para realizar prácticas que fomenten el aprendizaje significativo y de calidad en el estudiante

Actualmente existen diferentes estrategias y recursos para la enseñanza como las TIC (Tecnologías de la información y la Comunicación), las cuales son herramientas que ayudan al aprendizaje de los estudiantes de una forma didáctica, implementando recursos informáticos; otro muy importante, son las estrategias pedagógicas sustentativas básicamente en actividades realizadas por los docentes, para que la enseñanza sea eficaz y fluida, como lo es el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), también, se tiene como recurso los textos guía, donde se encuentran las diferentes temáticas y actividades académicas para una buena formación en ingeniería, entre otras.

El CDIO es una nueva visión para la educación en ingeniería que se desarrolló a partir de la brecha que se está generando entre las demandas del mundo real y la educación en ingeniería. Esta iniciativa, agrupa a las principales escalas de ingeniería de EE.UU, Europa, Canadá, Reino Unido, África, Asia y América latina, que consiste en generar en colaboración a nivel mundial para concebir y desarrollar una nueva visión de enseñanza de la ingeniería.

El CDIO se basa en una premisa comúnmente aceptada de que los graduados en ingeniería deberían ser capaces de Concebir – Diseñar – Implementar – Operar, sistemas complejos de ingeniería con valor agregado, en un ambiente moderno y basado en el trabajo en equipos, para crear sistemas y productos.

Lo más importantes de la iniciativa CDIO, es que es rica en proyectos estudiantiles, complementados por prácticas y posee experiencias de aprendizaje activo grupal

tanto en clases, como en talleres, laboratorios y trabajos externos, basados en rigurosos procesos de educación.

Por lo tanto, es de gran importancia realizar los materiales didácticos, recursos y ayudas que apoyen las clases de Ciencia de los Materiales, para que los estudiantes de ingeniería mecánica aprendan a Concebir, Diseñar, Implementar y Operar los conocimientos de los diferentes temas que se muestran en dicha asignatura.

Debido a la apertura económica, la globalización de los mercados, la implementación de los TLC y otras serie de estrategias que permiten el flujo a nivel mundial de productos y recursos, la competencia de dichos productos conlleva a seleccionar, implementar y diseñar dispositivos de forma óptima y económica, permitiendo así no solo ser una alternativa apropiada para el mercado, por el cumplimiento de los requerimientos del cliente, sino también, por el costo y la calidad del producto.

Por lo tanto, el ingeniero mecánico se vuelve un elemento vital para diseñar, procesar y seleccionar materiales, de tal manera que el producto cumpla la función para la que fue diseñado, al menor costo posible.

Con todo y lo anterior, el objetivo general de este proyecto es “la elaboración de Materiales Didácticos para los temas de Estructura Atómica y Ensayo de Tensión, de la Asignatura de Ciencia de los Materiales de la USTA”.

Para lo cual se planteó los objetivos específicos siguientes:

- Diseñar experiencias de aprendizaje para los temas de Estructura Atómica, teniendo en cuenta los contenidos y objetivos de formación.
- Diseñar experiencias de aprendizaje para los temas de Ensayo de tensión teniendo en cuenta los contenidos y objetivos de formación.
- Elaborar los Materiales Didácticos para la estructura atómica, usando documentos interactivos.
- Elaborar los materiales didácticos para el ensayo de tensión, apoyado en prácticas de laboratorio.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo actual la competencia entre instituciones de educación superior en la formación profesional de ingenieros ha sido un motivo de transformación en la docencia universitaria, especialmente en la reestructuración de las estrategias y técnicas de enseñanza - aprendizaje. Para lograr dicha transformación, se han realizado diseños y métodos de enseñanza – aprendizaje acorde al ejercicio de la ingeniería.

Las instituciones educativas públicas y privadas de Latinoamérica actualmente están sujetas por ciertos enfoques pedagógicos similares a los de la sociedad industrial clásica. Esto quiere decir que la enseñanza se basa principalmente en clases magistrales donde el protagonista es el docente, lo cual limita al estudiante a ser solamente espectador dentro de su proceso de aprendizaje y por ende, con obtener lo mínimo necesario en su conocimiento.

De igual manera los planes de estudio de las instituciones latinoamericanas son fragmentados; esto implica que en el desarrollo de la enseñanza no se tenga una correlación directa a partir de un hilo conductor; no existe una interrelación entre disciplinas y asignaturas [1].

Es por ello, que hoy en día se ha visto la importancia de implementar diferentes estrategias didácticas utilizadas por los profesores, generando frutos en el desarrollo y perfeccionamiento de los currículos de las asignaturas y las disciplinas, como en las formas y métodos de enseñanza – aprendizaje.

En este orden de ideas, el profesional en Ingeniería Mecánica debe tener la capacidad de investigar, desarrollar, aplicar conocimientos científicos y tecnológicos en las áreas de diseño, energía, fluidos, manufactura, automatización, materiales, etc.

Actualmente los materiales de ingeniería son de vital importancia, ya que a partir de su selección se diseñan y fabrican sistemas mecánicos y productos. Por tal motivo, el principal problema de este trabajo de grado, gira en torno a la ciencia de los materiales y los elementos didácticos, que promuevan su enseñanza y la obtención de competencias relacionadas con esta área de la carrera de Ingeniería Mecánica.

2 JUSTIFICACION

La gran importancia de realizar materiales didácticos, recursos y ayudas para llevar a cabo una clase de ciencia e ingeniería de materiales, radica en que los estudiantes de ingeniería mecánica, tengan una forma significativa y aplicable de adquirir los conocimientos de los diferentes temas, que se muestran en dicha asignatura.

De igual forma, se diseñan e implementan nuevas estrategias y técnicas de enseñanza como CDIO, en búsqueda de formar nuevos ingenieros que tengan la capacidad de solucionar problemas que se presenten, cuando empiecen a enfrentarse al campo laboral, así ser productivos y tener la capacidad de suplir las necesidades del mercado ingenieril, sirviéndole satisfactoriamente a la sociedad.

Por lo anterior, la elaboración de materiales didácticos se vuelve un elemento vital para la enseñanza de la ingeniería, ya que proporcionan experiencias de aprendizaje significativo, que los estudiantes puedan aprovechar para concebir, establecer semejanzas y diferencias, resolver problemas ingenieriles, y al mismo tiempo, sirve para que el docente se interrelacione de la mejor manera con el estudiante, siendo entonces la oportunidad para que el proceso enseñanza-aprendizaje sea más profundo.

De igual modo, se pretende promover el autoaprendizaje de los estudiantes y así ellos, tengan ciertas herramientas que les ayuden a realizar sus labores de estudio, de manera independiente, para comprender e interpretar los temas que se trabajen. De la misma forma, se procura que los estudiantes tengan pleno conocimiento para aplicarlo eficientemente a lo largo de la vida profesional.

En este orden de ideas se pretende innovar la metodología de enseñanza de la asignatura Ciencia de los Materiales de la Universidad Santo Tomás, con el propósito de orientar, reformar la enseñanza y el aprendizaje de la ingeniería, para formar en el futuro ingenieros innovadores que requiere el mundo crecientemente globalizado.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Elaborar Materiales Didácticos para los temas de Estructura Atómica y Ensayo de Tensión de la Asignatura de Ciencia e Ingeniería de Materiales de la USTA

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Diseñar Experiencias de Aprendizaje para los temas de Estructura Atómica teniendo en cuenta los contenidos y objetivos de formación.
- ✓ Diseñar Experiencias de Aprendizaje para los temas de Ensayo de tensión teniendo en cuenta los contenidos y objetivos de formación.
- ✓ Elaborar los Materiales Didácticos para Estructura Atómica usando documentos interactivos.
- ✓ Elaborar los Materiales Didácticos para Ensayo de Tensión apoyado en prácticas de laboratorio.

4 MARCO TEORICO

Actualmente existen diferentes recursos para la enseñanza de la ingeniería que ayudan al aprendizaje de los estudiantes de una forma didáctica. Las estrategias pedagógicas utilizadas por los docentes para que la enseñanza sea eficaz y fluida, son: La metodología CDIO, guías didácticas, cuestionarios educativos, entre otros. También se tiene como recurso los libros guía donde se encuentran las diferentes temáticas y actividades académicas para una buena formación en ingeniería. A continuación se mencionan los diferentes antecedentes de las estrategias de enseñanza en ingeniería.

4.1 LA FORMACIÓN ACADÉMICA DEL INGENIERO EN EL SIGLO XXI

En la actualidad la enseñanza de la ingeniería en la Educación superior tiene nuevos retos que enfrentar las tecnologías de la información y comunicación (TICS). Poseen un contexto globalizado socioeconómico, político y cultural, los cuales ofrecen posibilidades para hacer llegar el conocimiento a todas partes. En este orden de ideas el profesional en formación debe estar en la capacidad para afrontar grandes desafíos del mundo actual.

Por lo tanto, el reto está en favorecer el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes que le permitan interactuar con la sociedad e influir, hacia el desarrollo y equidad social; de igual manera el papel del docente y los planes de estudio bien diseñados es fundamental para lograr estos propósitos.

Hoy en día las industrias en cada nación elaboran productos más sofisticados que antes. Así mismo las instituciones educativas mejoran sus estrategias y metodologías de enseñanza en la ingeniería. Por lo tanto, surgen las Tecnologías de la información y comunicación TICS, que permiten una eficacia en la educación, teniendo en cuenta que el mundo actual está viviendo una transformación del tiempo y del espacio, donde se rigen las variables de velocidad, interconectividad y lo intangible [1].

4.2 FORMAS DE ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA

En el mundo actual existen muchas formas de la enseñanza de la ingeniería, escuelas en las que el aprendizaje enfatiza en el saber de los catedráticos; de igual forma existen academias en las que la enseñanza se fundamenta en la práctica y la experimentación. Hay otras formas de enseñar la ingeniería que básicamente el aprendizaje se desarrolla en las empresas, en donde allí los estudiantes realizan sus prácticas de una manera didáctica, activa, complementándolas con el componente teórico que en las mismas empresas ofrecen.

Al respecto se pretende decir, se quiere innovar el sistema de educación de la ingeniería, bajo la “Enseñanza basada en competencias”, las cuales abarcan una serie de estrategias didácticas y metodologías como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Por lo tanto, es de gran importancia aplicar dichas metodologías para facilitar la enseñanza por parte del docente, como el aprendizaje por parte del estudiante. A continuación se mencionan estas metodologías dentro de la “enseñanza estructurada en competencias”.

4.3 APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS ABP

La técnica de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es actualmente utilizada por colegios y universidades. Dicha técnica tiene un alto nivel de “autenticidad” en términos de cercanía con el desempeño profesional, lo cual conduce a que para los estudiantes y profesores, esta técnica tenga muchos rasgos del mundo adulto y puede poseer un significado concreto a las diferentes materias académicas.

El ABP puede ser asistido con TIC y da ciertas lecciones y estrategias que son de gran utilidad para los estudiantes como las siguientes) [2]:

- ✓ Aprender en un ambiente desafiante, multidisciplinario y auténtico
- ✓ Aprender como ejecutar, evaluar y diseñar proyectos durante un tiempo determinado
- ✓ Obtener más conocimientos y habilidades de la TI

4.3.1 Generalidades del ABP

La técnica de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es especializada en el aprendizaje basado en actividades didácticas como proyectos, talleres y actividades grupales. Esto implica una interacción del docente con los estudiantes de una manera fácil y efectiva. A continuación se muestran varios puntos de vista de la técnica Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) [2].

4.3.2 El ABP desde el punto de vista de un estudiante

Existen cinco formas con las que el estudiante se puede ver involucrado en esta técnica) [2].

- ✓ Está centrado en el estudiante y es motivado intrínsecamente.
- ✓ Promueve la colaboración y el aprendizaje cooperativo.
- ✓ Permite que los estudiantes realicen mejoras en incrementos y en forma continua en sus productos, presentaciones o ejecuciones.

- ✓ Está diseñado para que los estudiantes se comprometan activamente a hacer cosas en vez de aprender sobre algo.
- ✓ Es un reto con un enfoque en las habilidades de orden superior.

4.3.3 El ABP desde el punto de vista de un profesor

Típicamente un proyecto de curso se puede ejecutar en un periodo de tiempo corto, medio o largo. Una lección del ABP puede considerarse como una unidad de estudio desde el punto de vista del profesor) [2]:

- ✓ Tiene contenido y propósitos auténticos, con un énfasis mayor en pensamiento de orden superior y en relación de problemas.
- ✓ Utiliza la evaluación autentica, el profesor actúa como facilitador (pero el profesor es más un “guía a un lado” que un “sabio en el escenario”).
- ✓ Tiene metas educativas explícitas, está arraigado con el constructivismo (una teoría de aprendizaje social).
- ✓ Está diseñado para facilitar la transferencia de aprendizaje.

4.3.4 El Aprendizaje basado en preguntas

Los profesores que utilizan el aprendizaje basado en preguntas usan métodos de enseñanza basados en preguntas, esto es bastante importante ya que implica que los estudiantes estén en constante pensamiento científico y descubriendo nuevos conocimientos. Esta herramienta es generalmente utilizada en la educación científica, la cual permite dar un enfoque a los estudiantes a aprender sobre la generación y comprobación de hipótesis como en el método científico

En la educación en matemáticas también se utiliza la técnica del aprendizaje basado en preguntas, pero más que realizar preguntas se usa la estrategia de generación de hipótesis, en la cual los estudiantes aprenden a buscar patrones, desarrollar hipótesis acerca de los patrones y luego comprobar las hipótesis) [2].

4.4 ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA

Una estrategia es un conjunto de acciones que se llevan a cabo para lograr un determinado fin. Por lo tanto, las estrategias de enseñanza y aprendizaje, son herramientas que se les da a los alumnos para que reflexionen sobre su propia manera de aprender, ayudarlos a analizar las operaciones y decisiones mentales que realizan, con el fin de mejorar los procesos cognitivos que ponen en acción. Las estrategias de enseñanza se pueden clasificar en tres partes y son: Pre instruccionales, Construccionales, Pos instruccionales [3].

Las Pre instruccionales se basan en preparar y alertar al estudiante en relación a qué y cómo va a aprender; igualmente le permiten ubicarse en el contexto del aprendizaje pertinente. Dentro de estas estrategias se encuentran la activación del conocimiento y la experiencia previa. Por otro lado, las estrategias Coinstruccionales las cuales apoyan durante el proceso mismo de enseñanza, detectan la información principal, mantenimiento de la atención y motivación. Dentro de estas estrategias se encuentran las ilustraciones, mapas conceptuales y analogías. Por último, las estrategias Pos instruccionales forman una visión sintética, integradora e incluso crítica del material, valoran su propio aprendizaje. Dentro de estas estrategias se encuentran las preguntas intercaladas, resúmenes finales y mapas conceptuales [3].

Por lo tanto, la labor del docente entra a jugar un papel muy importante para mejorar la práctica pedagógica; igualmente la labor del docente en el proceso de enseñanza aprendizaje se basa en guiar, orientar, y facilitar los aprendizajes significativos en los estudiantes.

En este orden de ideas, existen métodos de enseñanza que van relacionados con: el método de enseñanza individualizado, el método de enseñanza de socialización, y el método de enseñanza globalizado. El método de enseñanza individualizado, se centra en las necesidades particulares del estudiante, como inquietudes, conocimientos previos, las estrategias o metodologías de enseñanza. El método de enseñanza de socialización, se centra en la dimensión social del proceso didáctico, donde se pueden incluir modelos de enseñanza como el método tradicional, estudios de caso, el seminario o trabajo colaborativo. El método de enseñanza globalizado, reúne los métodos que abordan la realidad de manera interdisciplinaria; también se encuentran la resolución de problemas o el trabajo basado en proyectos [3].

De acuerdo a lo anterior, existen métodos y técnicas de enseñanza centradas en: el profesor, el estudiante, el desempeño, el grupo, el objeto de conocimiento. El método de enseñanza centrado en el profesor, consiste en que el docente es el centro de aprendizaje, como experto y como informante de los receptores pasivos que son los estudiantes. El método que se centra en el estudiante, se basa en el enfoque cognitivo, buscan desarrollar un pensamiento crítico, el aprendizaje colaborativo o autoaprendizaje. El método del desempeño, consiste en buscar el aprendizaje significativo, vincula los conocimientos con la práctica, y desarrolla las competencias educativas. El método referente al grupo, consiste en intentar motivar y hacer dinámico el aprendizaje, se comparte la información, se discute y se determina el conocimiento del tema siempre en grupo. El método del objeto del conocimiento, se basa en establecer relaciones de causa- efecto en el aprendizaje, de modo que se compare, comprenda y evalúe la información. Se busca el dominio conceptual de un tema [3].

4.5 ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

Las estrategias didácticas son un conjunto de situaciones, actividades y experiencias a partir del cual el docente traza el recorrido pedagógico que necesariamente deberán transitar sus estudiantes junto con él para construir y reconstruir el propio conocimiento, ajustándolo a demandas socioculturales del contexto [4].

Por lo tanto, de manera general, las estrategias de aprendizaje son una serie de operaciones cognoscitivas y afectivas que el estudiante lleva a cabo para aprender con las cuales puede planificar y organizar sus actividades de aprendizaje. Las estrategias de enseñanza se refieren a las utilizadas por el profesor para mediar, facilitar, promover, organizar aprendizajes, esto es, en el proceso de enseñanza. A continuación se mencionan las estrategias didácticas más utilizadas para la enseñanza y aprendizaje [4].

4.5.1 Guías didácticas

Las guías didácticas son un documento que tiene como objetivo orientar al estudiante en una tarea a desarrollar dentro del aprendizaje virtual. Una guía didáctica es el instrumento que incluye toda la información necesaria para el correcto y provechoso desempeño de este, dentro de las actividades académicas de aprendizaje independiente.

Se nota entonces, que las funciones de la guía didáctica son: establecer las recomendaciones oportunas para conducir y orientar el trabajo del estudiante, aclarar en su desarrollo las dudas que previsiblemente puedan obstaculizar el progreso en el aprendizaje, propiciar la transferencia y aplicación de lo aprendido. Igualmente, las guías didácticas contienen actividades que permiten al estudiante desarrollar habilidades de pensamiento lógico, que impliquen diferentes interacciones para lograr su aprendizaje.

Para la elaboración de las guías didácticas hay que tener en cuenta una estructura, la cual se basa en la traducción de una metodología de enseñanza propia del docente que promueve aprendizajes significativos a los estudiantes. En este orden de ideas, los elementos de una guía didáctica son: Tener una introducción al tema de la asignatura, un objetivo general, unos objetivos específicos, una metodología de enseñanza/aprendizaje, una metodología de evaluación.

4.5.2 Tutoriales en educación

En el uso de los tutoriales en educación corresponde estar enmarcado, por actividades previas y posteriores al visionado y debe atender a estos dos aspectos

fundamentales: Es importante, para que los alumnos valoren la información que les suministra el tutorial, que identifiquen el contenido de éste con el programa de la asignatura, de forma que le otorguen la categoría de texto oficial. Además, si se advierten que los profesores han participado en la realización del tutorial, su apreciación e interés será mucho mayor. La estrategia didáctica es la que va a permitir que la utilización del medio no se quede en el simple hecho de contemplar un mensaje visual entretenido por parte de los alumnos, sino que se convierta en una clase con unos claros objetivos de aprendizaje que sean logrados correctamente.

Por tanto, un tutorial es una herramienta que muestra paso a paso los procedimientos a seguir para elaborar una actividad, facilita la comprensión de los contenidos más difíciles para los estudiantes, y a estar disponible en cualquier momento, permite al estudiante recurrir a él cuando desee y tantas veces como sea necesario. Hoy en día los tutoriales se han convertido en uno de los mejores recursos educativos, independientemente de cuál sea la especialidad en la que se aplique.

4.5.3 Cuestionarios en educación

El cuestionario es un género escrito que pretende acumular información por medio de una serie de preguntas, sobre un tema determinado, para dar puntuaciones globales sobre éste. De tal manera que se puede afirmar que es un instrumento de evaluación que se utiliza para cuantificar, universalizar y comparar la información recolectada. Como herramienta, el cuestionario es muy común en todas las áreas de estudio de la educación, porque resulta ser una forma no costosa de investigación, que permite llegar a un mayor número de participantes y facilita el análisis de la información que se está evaluando. Por ello, éste género textual es uno de los más utilizados por los docentes a la hora de evaluar a los estudiantes.

Por lo tanto, el cuestionario es una herramienta bastante común en el medio académico. Sin embargo, los estándares o las especificaciones del cuestionario varían de acuerdo con las disciplinas y las necesidades de cada investigación. En algunas áreas de estudio como la mercadotecnia, la economía o la antropología, se utiliza frecuentemente, como método de investigación o de análisis. En otras palabras, su función en el ámbito académico es recolectar información de utilidad para la sustentación de una indagación formal, que requiera de datos o tendencias de opinión.

5 ANTECEDENTES

Actualmente en la educación de ingeniería mecánica existen diferentes recursos y herramientas didácticas para la enseñanza – aprendizaje, de la asignatura Ciencia de los materiales, especialmente para los temas de Estructura Atómica y Ensayo de Tensión.

A continuación se mencionan algunas herramientas didácticas que se han desarrollado para la enseñanza – aprendizaje de los temas de Estructura Atómica y Ensayo de Tensión de la asignatura Ciencia de los Materiales.

5.1 APRENDIZAJE EN CRISTALOGRAFÍA UTILIZANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

En el proceso de aprendizaje actual por competencias, se necesita adaptar los contenidos a las nuevas tecnologías. Más allá de la simple adaptación, está el dotar al estudiante de los recursos necesarios para adquirir esas competencias [5].

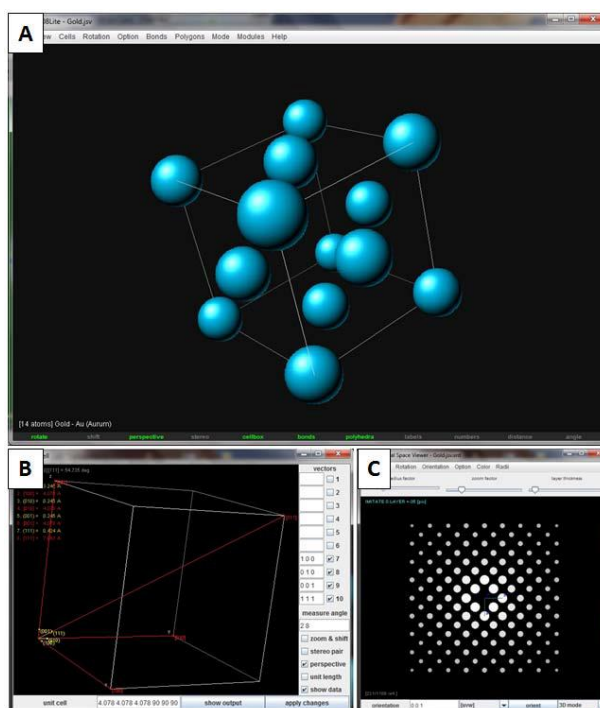
Actualmente el aprendizaje está centrado en dotar al alumno de las competencias que le van a habilitar para el posterior desarrollo de una actividad. En este ámbito, las tecnologías informáticas ofrecen nuevas posibilidades en la enseñanza de conceptos, de forma que permiten la exploración de nuevas formas de exposición de los contenidos [5].

5.1.1 Herramienta de construcción y visualización Java Structure Viewer

Se trata de un software escrito en código java, que comenzó a desarrollar Steffen Weber en el año 1999. A pesar de los años transcurridos ha sido una herramienta con total vigencia y sorprende por la gran calidad de los gráficos en la representación de la celda unidad. Permite su ejecución en Windows si previamente se instala una máquina virtual Java.

Este software permite construir o introducir los datos de una estructura cristalina por el estudiante, pudiendo elegir cualquier estructura de los 230 grupos espaciales. Además el software trae una numerosa colección de ejemplos de las fases cristalinas más comunes. Una vez introducidos los datos de la celda unidad, ésta se puede representar gráficamente de forma muy realista. También se puede representar la celda unidad de forma esquemática y visualizar los principales vectores de dirección cristalina, y los vectores de los planos cristalinos. Otras posibilidades son el cálculo del difractograma de rayos X tipo polvo, la visualización de la proyección estereográfica con polos y la posibilidad de representar proyecciones del espacio recíproco [5].

Figura 1. Ilustración de estructuras en el software Java Structure Viewer.



Fuente. Benito [5]

5.1.2 Herramienta de construcción y visualización Powder Cell

Es un software gratuito que también se ejecuta en Windows a través de una interface típica de este sistema operativo. En este paquete también se puede importar o construir una estructura cristalina a partir de la introducción de los datos de grupo espacial, de los datos de la celda unidad y de las posiciones atómicas [5].

Una vez introducidos estos datos, se puede visualizar la estructura cristalina, las posibilidades de visualización aparentan un poco más pobres que en JSV, ya que por ejemplo, para rotar la estructura se necesita hacer click con el mouse en unos iconos concretos; no se puede usar el mouse para rotar directamente la estructura en pantalla [5].

Sin embargo Powder Cell es una excelente herramienta para la enseñanza de la cristalografía, ya que facilita la simulación de la influencia de parámetros experimentales sobre el patrón de difracción de rayos X tipo polvo, también permite la visualización de determinados parámetros cristalinos tales como grupo espacial, simetría, posiciones especiales, leyes de extinción y subgrupos entre otros [5].

5.2 COMPARACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE JAVA STRUCTURE VIEWER Y POWDER CELL

Para el tema de Estructura Atómica se tienen en cuenta los software Java Structure Viewer y Powder Cell. El software Java Structure Viewer permite la visualización y construcción de las estructuras cristalinas introduciendo los datos de las características y propiedades de cada una; igualmente este software tiene incorporado una serie de ejemplos de las fases cristalinas más importantes. Otro recurso que tiene este software es el cálculo de difractograma de rayos x tipo polvo.

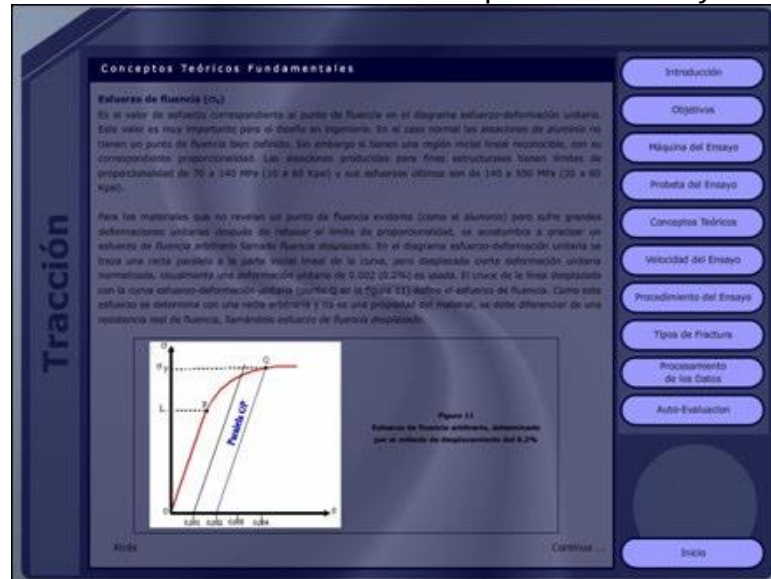
Por otra parte, el software Powder Cell permite construir e importar una estructura cristalina, a partir de la introducción de los datos de celda unidad, posiciones atómicas y grupo espacial. Así como se realiza en el software Java Structure Viewer, para la visualización de las estructuras cristalinas tienen mejor resolución y son más objetivas en Java Structure Viewer que en Powder cell. Este último es una buena herramienta para la enseñanza de la cristalografía, ya que al igual que en Java Structure Viewer se pueden realizar parámetros experimentales de difracción de rayos x.

5.3 HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA SIMULAR EL ENSAYO DE Tensión SOFTWARE MACROMEDIA FLASH

El software ha sido creado en Macromedia Flash versión 8.0 y diseñado en un ambiente ameno, es de fácil manejo, dispone de animaciones, videos e imágenes en la explicación de cada práctica planteada, logrando fortalecer el aprendizaje. El software abarca ensayos importantes para el análisis de propiedades de los materiales como son: tracción, compresión, corte directo, poisson, torsión, extensómetro, flexión, columnas y foto-elasticidad [6].

Adicionalmente, se han agregado tres botones, uno de estos provee la historia de los hombres que hicieron descubrimientos en el campo de la mecánica de los materiales y que hoy llevan su nombre. Diversos autores, entre ellos Godoy (2004), comparten la idea que esto genera un efecto positivo sobre los estudiantes, quienes podrán reflexionar sobre la manera y condiciones de vida en la que estos investigadores introdujeron nuevos puntos de vista a la ingeniería [6].

Figura 2. Interfaz de Macromedia flash aplicado al ensayo de tensión.



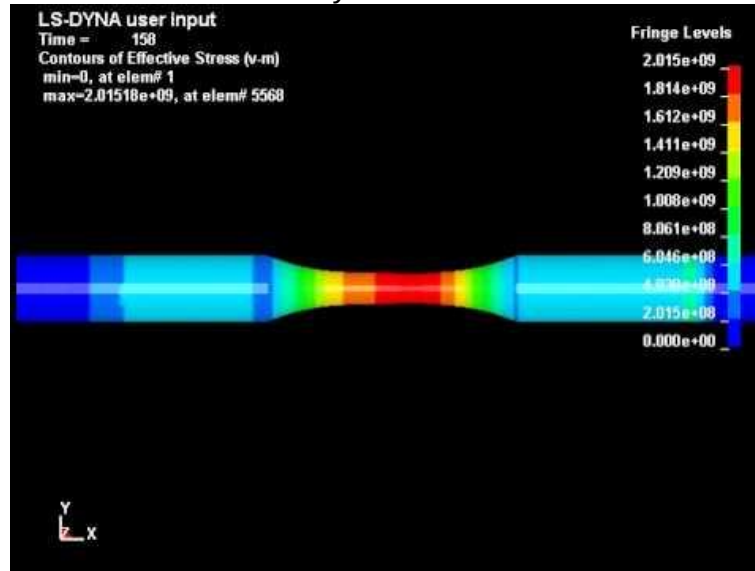
Fuente: Torres [6]

5.4 SIMULACIÓN DEL ENSAYO DE TENSIÓN USANDO EL SOFTWARE LS – DYNA 2014

En el software LS- DYNA 2014 se puede simular el ensayo de tensión mediante el modelo de los elementos finitos. Esto con el fin de mostrar al estudiante el fenómeno físico del ensayo de una manera virtual; igualmente el estudiante puede observar y analizar los esfuerzos que se generan en la probeta. A continuación se mencionan los pasos para la realización de la simulación del ensayo de tensión, por medio del método de los elementos finitos en el software LS DYNA

- ✓ Los datos del esfuerzo – deformación de ingeniería se modifican en la deformación plástica y el esfuerzo verdadero
- ✓ Usando el software LS DYNA se define el valor del límite de fluencia y la curva de endurecimiento del material
- ✓ Se realiza el enmallado de la probeta, en un extremo de la probeta se le aplica la carga uniaxial y en el otro extremo se aplica una restricción fija.
- ✓ Se aplica la solución para el análisis por elementos finitos, luego se pueden observar los esfuerzos y las deformaciones que se presentan en la probeta.

Figura 3. Simulación del ensayo de tensión en el software LS DYNA.



Fuente: Software LS DYNA

5.5 COMPARACION DE LAS HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE FLASH MACROMEDIA Y LS – DYNA

Para el tema de Ensayo de Tensión se tienen en cuenta el software de Flash Macromedia y el LS – DYNA. El software de Flash Macromedia es de fácil manejo, permite realizar animaciones y videos en el problema planteado a resolver logrando fortalecer el aprendizaje. Este software permite realizar simulaciones animadas de ensayos mecánicos de los materiales como el ensayo de tensión, dureza, impacto, compresión.

Por otro lado, el software LS – DYNA en comparación con el software Macromedia Flash, es un recurso didáctico en el cual se puede analizar el ensayo de tensión de una forma más ingenieril, es decir, además de simular el ensayo por medio del método de los elementos finitos, lo cual permite visualizar los esfuerzos que se generan durante el mismo, de este modo el estudiante tiene la opción de analizar los resultados que se obtienen en la práctica de laboratorio y confrontarlos con la simulación.

6 DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE

Para hablar del diseño de experiencias de aprendizaje es necesario definir qué es una experiencia de aprendizaje. Una Experiencia de aprendizaje es la oportunidad que se les da a los estudiantes para que aprovechen ciertas vivencias que los lleven a conocer, descubrir, crear, desarrollar destrezas y habilidades, en diferentes áreas del conocimiento. La principal característica de una experiencia de aprendizaje es que el protagonista sea el estudiante, que desarrolle su intelecto, habilidades y destrezas para resolver problemas, enfrentando desafíos que la experiencia de aprendizaje plantea [7].

En una experiencia de instrucción, el docente guía los procesos de aprendizaje. Su principal misión es enriquecer y crear ambientes educativos, es decir, escenarios de aprendizaje que sean significativos. Una experiencia de aprendizaje puede extenderse en varias fases y desafíos, que articulan entre si el sentido y significado para los estudiantes.

Por lo tanto, diseñar experiencias de aprendizaje implica que los estudiantes puedan iniciarse en el desarrollo de competencias y habilidades, mediante prácticas estructuradas de tal modo que en los procesos académicos les permitan aprender las temáticas. De igual forma facilitar el aprendizaje es introducir a los estudiantes en las conversaciones y reflexiones relevantes, entregarles distinciones y explicaciones poderosas, iniciarlos en un espacio de prácticas estructuras, que lo lleven a aprender de manera efectiva [7].

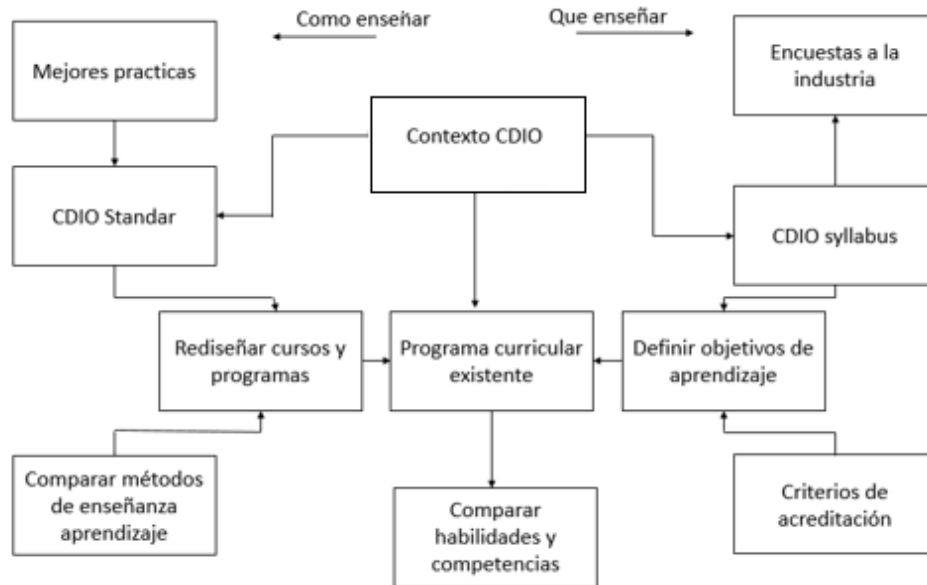
6.1 INICIATIVA CDIO CONCEBIR – DISEÑAR – IMPLEMENTAR – OPERAR PARA LA ENSEÑANZA EN INGENIERÍA

La iniciativa CDIO consiste en una premisa comúnmente aceptada de que los estudiantes de ingeniería deben ser capaces de: Concebir, Diseñar, Implementar y Operar sistemas complejos de ingeniería, basándose en el trabajo en equipos para crear productos. Se puede decir que el CDIO es un modelo educativo que enfatiza los fundamentos de la ingeniería, en la implementación de procesos [8].

De acuerdo a lo anterior, la metodología CDIO se puede estructurar en dos aspectos básicos que son: Qué enseñar y cómo enseñarlo. Para el primer aspecto (qué enseñar) se implementa un plan de estudios de enseñanza de acuerdo con el syllabus de la asignatura. Para el segundo aspecto (cómo enseñarlo) se propone un método de enseñanza didáctica teniendo como base los CDIO Standard [8].

A continuación se muestra el esquema de implementación del CDIO

Figura 4. Implementación CDIO



Fuente: Morales [8]

6.1.1 CDIO aplicado a la ciencia e ingeniería de materiales.

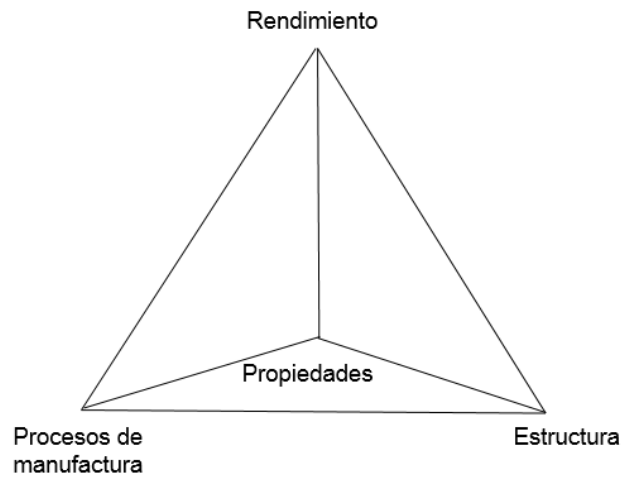
Durante los últimos años, la metodología CDIO se ha venido discutiendo, dando sugerencias y aportes a la enseñanza en Ciencia de los Materiales, haciendo un enfoque en la resolución de problemas de una manera práctica y factible, para el aprendizaje de los estudiantes. La implementación de la metodología CDIO en la ciencia de los materiales, tiene como objetivo un aprendizaje activo, tareas virtuales, laboratorios, cursos de proyectos. De igual manera esta metodología pretende tener un aprendizaje integrado, es decir, basado en la comunicación y el trabajo en equipo.

Al mismo tiempo, el modelo CDIO se basa en Concebir, Diseñar, Implementar, Operar; actualmente se han realizado proyectos basados en CDIO como en aeronáutica, ingeniería mecánica, ingeniería electrónica [9].

Por otro lado, en un material existen fuertes conexiones entre las propiedades, la fabricación y el diseño del mismo. Sin embargo, en un material no son tan fuertes las conexiones entre las propiedades, la estructura y la fabricación, de las cuales depende el rendimiento de la materia [9].

El siguiente tetraedro representa una aplicación del CDIO a la Ciencia e Ingeniería de materiales.

Figura 5. Implementación CDIO a la ciencia de los materiales



Fuente: Wedel [9]

La figura 2 muestra el tetraedro, en el que se describe el rendimiento del material, el cual depende de que tan fuertes sean las conexiones que existen entre las propiedades, la estructura y el proceso de fabricación. Se entiende por rendimiento, la medida del uso del material en condiciones reales teniendo en cuenta los costos económicos, sociales, y los beneficios.

Según estudios metodológicos se encontró que en algunas ocasiones existe una diferencia entre las actividades de los diseñadores y la selección de los materiales, que preocupa principalmente el rendimiento del material. Por lo tanto existe una diferencia entre la ciencia de los materiales con respecto a la Ingeniería Mecánica como disciplina.

6.1.2 Las actividades de aprendizaje de apoyo a un programa de ciencia de los materiales CDIO

En la metodología CDIO, existen diferentes tipos de aprendizaje, que sirven de apoyo para la enseñanza del programa de Ciencia de los materiales. A continuación se mencionan los diferentes aprendizajes de la metodología CDIO [9]:

✓ Aprendizaje Activo.

Está comprobado que el aprendizaje es mucho más efectivo, cuando los estudiantes están completamente comprometidos y responsables, con su propio aprendizaje. El aprendizaje activo es más eficaz cuando en el proceso de enseñanza, se aumenta la práctica y se disminuye la teoría. Por ejemplo disminuir el número de clases

magistrales o conferencias y aumentar el trabajo, en la especificación de procesos de unión para componentes específicos y prácticos [9].

✓ **Aprendizaje integrado de las competencias profesionales**

Esta segunda parte del aprendizaje, se refiere a la comunicación que debe existir entre los grupos de estudiantes, para una mejor integración del aprendizaje. Se deben desarrollar trabajos experimentales, presentaciones escritas y orales, apoyando el aprendizaje y la evaluación de habilidades.

✓ **Experiencias de diseño y construcción**

Este tercer elemento del aprendizaje tiene que ver con la realización de diseño y construcción de proyectos, donde se incluyan análisis del material con respecto a la composición, la búsqueda de parámetros de propiedades mecánicas y hacer sugerencias detalladas del proceso [9].

6.1.3 Las Actividades de aprendizaje que apoyan las etapas CDIO

Como se manifestó en el punto 6.1.2, el aprendizaje activo e integrado, o una experiencia de diseño y construcción sirven de apoyo para las etapas del CDIO.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de todas las etapas del CDIO, así:

Tabla 1. Aplicación de etapas del CDIO en Ciencia de Materiales

ETAPAS DEL CDIO	CIENCIA DE MATERIALES	ACTIVIDADES Y EJEMPLOS DE APRENDIZAJE
Concebir	Identificación y selección de los materiales Nuevos productos Desarrollo de materiales	Caracterización de propiedades El rendimiento Fatiga, fluencia, desgaste etc. Estructura basada en tareas virtuales, prácticas de laboratorio
Diseñar	Diseño de materiales Especificación de materiales Definir el proceso de diseño	Análisis de resultados Selección de materiales Proyectos virtuales Tratamientos de calor
Implementar	Realizar nuevos procesos de productos Inyección de plásticos Fundición, forja Ensayo a escala real de productos	Fabricación Cooperación Laboratorios especializados en la producción de polímeros Tratamiento de metales
Operar	Fallas en materiales Corrosión Fluencia Desarrollo de materiales reciclables Optimización de rendimiento	Recomendaciones de productos en el mercado Suministro de partes que fallaron por parte de la industria Realizar operaciones ecológicas para favorecer el medio

Fuente: Wedel [9]

Por lo anterior la iniciativa de CDIO es crear proyectos estudiantiles complementados por prácticas empresariales, aplicar experiencias de aprendizaje activo grupal tanto en clases como en talleres modernos de aprendizaje y laboratorios de prácticas.

Los objetivos de CDIO son:

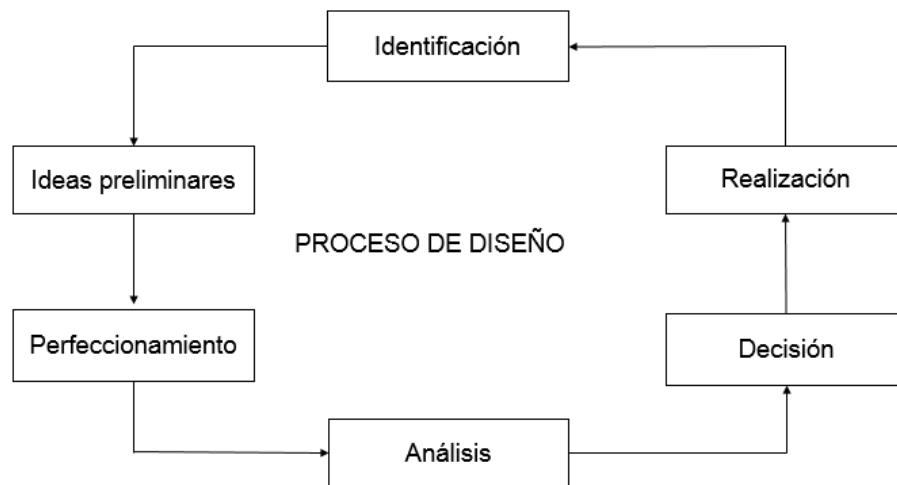
- ✓ Educar a los estudiantes para el dominio profundo y aplicado de los fundamentos técnicos.
- ✓ Educar a los ingenieros para liderar en la creación y operación de nuevos productos y sistemas.
- ✓ Realizar actividades didácticas que conlleven a un aprendizaje significativo

6.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LOS TEMAS DE ESTRUCTURA ATÓMICA Y ENSAYO DE TENSIÓN DE LA ASIGNATURA CIENCIA DE LOS MATERIALES DE LA USTA.

El método de diseño de Earle consiste en seguir una serie de pasos, para determinar el mejor producto para satisfacer las necesidades del cliente. Los pasos del método de diseño son: identificación de las necesidades, establecer unas ideas preliminares, perfeccionamiento de las ideas preliminares, análisis, decisión, finalmente, la realización del producto diseñado.

En la siguiente figura se muestra el esquema del proceso de diseño, para la realización de las experiencias de aprendizaje y actividades didáctica [10].

Figura 6. Metodología de Diseño EARLE



Fuente: Earle [10]

6.2.1 Identificación de necesidades

Todos los diseños se basan en necesidades existentes. Para justificar su manufactura, el diseñador debe identificar la necesidad y la función, que el producto debe ofrecer para satisfacer esa necesidad. La identificación de la necesidad de un diseño se puede basar en datos de varios tipos: estadísticas, entrevistas, datos históricos, observaciones personales, datos experimentales o proyecciones de conceptos actuales[10].

6.2.2 Ideas preliminares

Una vez que se ha definido y establecido el problema en forma clara, es necesario recopilar ideas preliminares a partir de las cuales se pueden asimilar los conceptos de diseño. El medio más fácil y útil para el desarrollo de ideas preliminares es el dibujo a mano alzada. La razón importante de realizar este paso es establecer y pensar en posibles soluciones para satisfacer las necesidades del cliente de una manera clara y concreta [10].

6.2.3 Perfeccionamiento del problema

La etapa de perfeccionamiento es el primer paso en la evaluación de ideas preliminares y se centra bastante en el análisis de limitaciones. Todos los esquemas, bosquejos y notas se revisan, combinan y perfeccionan con el fin de obtener varias soluciones razonables del problema [10].

6.2.4 Análisis

El análisis implica el repaso y evaluación de un diseño, en cuanto se refiere a factores humanos, apariencia comercial, resistencia, operación, cantidades físicas y economía dirigidos a satisfacer los requisitos del diseño [10].

6.2.5 Decisión

La decisión es la etapa en la cual el proyecto debe aceptarse o rechazarse, en todo o en parte. La decisión acerca de cuál diseño será el óptimo para una necesidad específica debe determinarse mediante experiencia técnica e información real [10].

6.2.6 Realización

El último paso del diseñador consiste en preparar y supervisar los planos y especificaciones finales, con los cuales se va a construir el diseño. Al presentar su diseño para la realización, debe tener en cuenta los detalles para fabricación, métodos de ensamblaje, materiales utilizados y otras especificaciones [10].

6.3 PROCESO DE DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE PARA EL TEMA DE ESTRUCTURA ATÓMICA

Para realizar el proceso de diseño de las experiencias de aprendizaje del tema de estructura atómica, se aplica una encuesta de los temas de Estructura Atómica a los 20 estudiantes del curso de Ciencia de los materiales de la USTA del semestre 2015-2. Esta encuesta se realizó el día 18 de Agosto de 2015, para determinar qué temas son de importancia y requieren de una implementación de estrategias

didácticas. A continuación se muestra la tabulación de datos obtenidos de encuesta aplicada. La encuesta se muestra en el anexo 1.

6.3.1 Tabulación de los datos obtenidos de la encuesta para Estructura Atómica

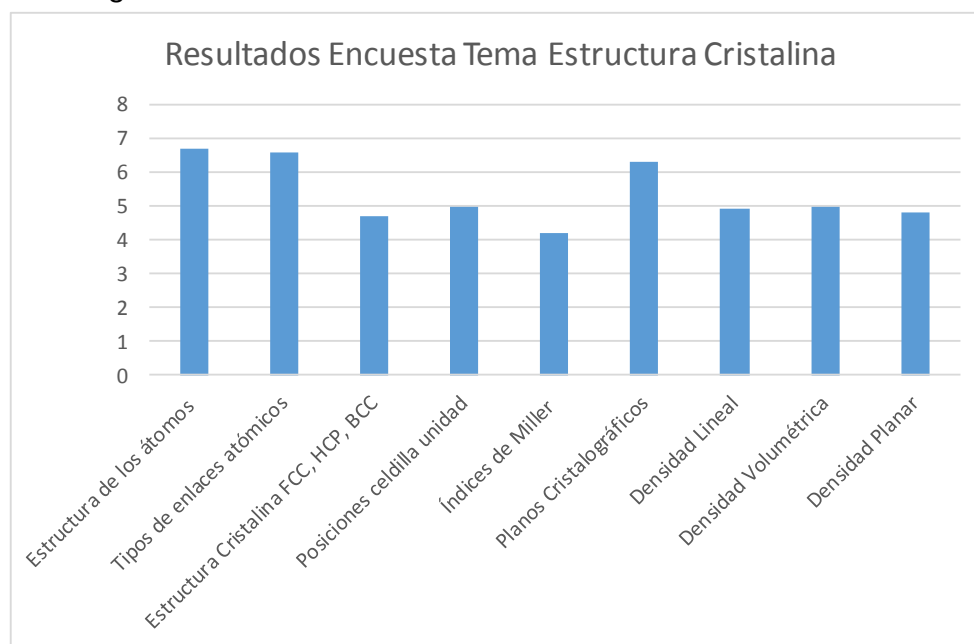
De acuerdo a los resultados de la encuesta aplicada, a continuación se muestra la tabulación de los datos obtenidos referentes a los temas de Estructura Atómica.

Tabla 2. Resultados obtenidos en la encuesta del tema de Estructura Atómica

UNIDAD TEMÁTICA ESTRUCTURA CRISTALINA	PROMEDIO
Estructura de los átomos	6,7
Tipos de enlaces atómicos	6,6
Estructura Cristalina FCC, HCP, BCC	4,7
Posiciones celdilla unidad	5,0
Índices de Miller	4,2
Planos Cristalográficos	6,3
Densidad Lineal	4,9
Densidad Volumétrica	5,0
Densidad Planar	4,8

Fuente: El Autor.

Figura 7. Gráfica de resultados Tema Estructura Cristalina



Fuente: El Autor.

De acuerdo a la tabla de datos de la encuesta realizada, se hizo un promedio de las respuestas dadas, para determinar el grado de importancia de cada tema de Estructura Atómica. Según la escala mencionada en la encuesta, 1 es el tema más importante y 10 el menos importante. Se puede observar en los resultados que los temas más importantes son: Índices de Miller, Estructuras BCC, FCC, HCP, densidades planar, volumétrica, lineal. A continuación se describe la metodología de diseño a utilizar.

6.3.2 Identificación de las necesidades

Para identificar las necesidades del cliente se realiza una encuesta de los temas que se estudian en la unidad temática de Estructura Atómica a los estudiantes del curso de materiales de la USTA y posteriormente una matriz QFD casa de la calidad, para observar las necesidades y requerimientos del cliente, los requerimientos de diseño, objetivos de diseño.

Tabla 3. QFD de los temas de Estructura Atómica

			1,8	1	1,3	1,6	1,6
QUE	COMO	IMPORT	Elaboracion tutoriales CAD	Elaboracion guias didacticas	cuestionarios interactivos	Practicas de laboratorio	Guias de laboratorio
Estructura de los Átomos	1		◆	×	■	■	■
tipos de enlaces atómicos	3		◆	×	◆	◆	◆
estructura cristalina fcc bcc hp	5		+	+	+	◆	◆
Posiciones en celdillas unidad	3		◆	◆	■	×	×
índices de Miller	5		+	+	★	×	■
planos cristalográficos	2		■	■	■	×	■
densidad planar	4		★	+	◆	×	×
densidad lineal	4		★	+	◆	×	×
densidad volumétrica	4		★	+	◆	×	×
Ponderacion Absoluta			129	228,6	128,7	83,2	85,7
Ponderacion Relativa			1,55	2,74	1,54	1	1,03
PRIORIDAD			2	1	3	5	4

Fuente: El Autor.

Para analizar la tabla del QFD, a continuación se mencionan las ponderaciones de importancia y prioridad. En la parte de los requerimientos del cliente, se puede observar la calificación para la ponderación de importancia, en cada uno de los temas, siendo la calificación 5 la más importante y la calificación de 1 la menos importante. Igualmente, para establecer la prioridad de actividades a realizar, la tabla QFD muestra la calificación para la ponderación de las prioridades, siendo 1 el más prioritario y 4 el menos prioritario.

Por lo tanto, de acuerdo a las calificaciones y resultados obtenidos en la tabla del QFD, se puede observar que en la parte de requerimientos del cliente, los temas de mayor importancia son: Estructuras Cristalinas BCC, HCP, FCC, Índices de Miller, densidad volumétrica, planar, lineal. De igual manera, los temas de menor importancia son: Estructura de los átomos, planos cristalográficos, tipos de enlaces atómicos.

De esta manera, se puede observar que para las prioridades, la estrategia didáctica más urgente para realizar es la elaboración de guías didácticas, la cual tiene una calificación de 1, en segundo lugar se encuentra la elaboración de los tutoriales CAD con una calificación de 2, en tercer lugar se encuentra los cuestionarios interactivos con una calificación de 3 y en último lugar se encuentra las guías de laboratorio con una calificación de 4.

✓ **Tabla de ponderación**

A continuación en la tabla de ponderación se muestran los símbolos y su correspondiente valor. El valor de 1 significa que es menos importante y el valor de 5 significa el más importante.

Tabla 4 Ponderación QFD

PONDERACION	SIMBOLO
1	×
2	■
3	◆
4	★
5	+

Fuente: El Autor.

6.3.3 Ideas preliminares

Con base en la matriz QFD se tiene una lista de lluvia de ideas para satisfacer los requerimientos del cliente y así darle solución al problema. Los requerimientos del diseño son los siguientes.

- Elaboración de guías didácticas

- Elaboración de tutoriales CAD
- Cuestionarios interactivos
- Guías de Laboratorio

Ahora bien, en la lista mostrada anteriormente y teniendo en cuenta la matriz QFD, en cuanto a la prioridad de actividades, las estrategias didácticas para llevar a cabo son: Una guía didáctica y cuestionarios interactivos en el software Hot potatoes.

6.3.4 Perfeccionamiento del problema

Teniendo en cuenta la lista de lluvia de ideas anteriormente planteada y la matriz QFD, se puede analizar respecto de las actividades que son prioridad y que pueden satisfacer las necesidades del cliente, para el tema de Estructura Atómica, sería realizar una guía didáctica para el tema de estructura cristalina BCC FCC HCP, igualmente realizar un tutorial CAD en el software solid edge para simular las estructuras cristalinas, y un cuestionario interactivo de conceptos en el software hot potatoes, esto con el fin de hacer más dinámica la enseñanza del docente.

6.3.5 Análisis

De acuerdo a la encuesta realizada a los estudiantes del curso de ciencia de los materiales de la USTA y a la matriz QFD del tema de estructura Atómica, se puede analizar que en los requerimientos del cliente, los subtemas que tienen mayor importancia son Índices de Miller y Estructuras Cristalinas FCC HCP BCC, con un valor de 5, después los subtemas de densidad planar, densidad volumétrica, densidad lineal, con un valor de 4. Los subtemas que menor importancia tienen son estructura de los átomos, planos cristalográficos y posiciones en las celdillas unidad.

Con todo y lo anterior, se pueden analizar las estrategias didácticas planteadas, correspondientes a los requerimientos de diseño, entre tanto, para satisfacer las necesidades del cliente se plantean las actividades didácticas como guías didácticas, tutoriales CAD, cuestionarios interactivos lo cual son herramientas que facilitan la enseñanza por parte del docente, como el aprendizaje del estudiante, volviéndose así, una estrategia didáctica bastante importante.

6.3.6 Decisión

Con base en la encuesta realizada al curso de ciencia de los materiales de la USTA la matriz QFD del tema de Estructura Atómica, observando los requerimientos del cliente, y de acuerdo al análisis planteado anteriormente, se aceptan los requerimientos de diseño que son las guías didácticas, tutoriales CAD y cuestionarios interactivos, ya que son herramientas que satisfacen al cliente de una manera práctica, efectiva para su aprendizaje y de igual manera, facilitar la enseñanza por parte del docente.

6.3.7 Realización

Finalmente después de haber seguido los pasos de la metodología de diseño EARLE y la matriz QFD, se llega a la conclusión de realizar las actividades propuestas, que son guías didácticas, tutorial CAD en el software solid edge, cuestionario interactivo de conceptos en el software hot potatoes.

En este orden de ideas se realiza una guía didáctica dentro del tema de Estructura Atómica, la cual se basa en una actividad que comprende los temas de estructuras Cristalinas, índices de Miller, Densidad lineal, planar y volumétrica, llevando a cabo los tutoriales del desarrollo de las estructuras cristalinas BCC, FCC, HCP, luego calcular de forma teórica y práctica el factor de empaquetamiento de dichas estructuras, validándolo en el software Solid Edge, de igual manera calcular de forma teórica y práctica las densidades planar, lineal, volumétrica por medio del software Solid Edge. Otra estrategia didáctica es realizar un cuestionario interactivo de conceptos con respuesta de selección múltiple en forma de Quiz en el software Hot potatoes.

Teniendo el proceso de diseño realizado anteriormente, para las experiencias de aprendizaje de los temas de Estructura Atómica, se puede concluir que las estrategias didácticas como, tutorial CAD, guías didácticas, cuestionario interactivo a desarrollar, son herramientas que satisfacen las necesidades y requerimientos de los estudiantes, de acuerdo a los resultados de la encuesta aplicada y a la matriz QFD. El desarrollo de dichas actividades didácticas suministra una motivación para que los estudiantes se muestren interesados en adquirir los conocimientos, de manera que su aprendizaje sea significativo, es decir que el aprendizaje este basado en los conocimientos previos, y así construir un nuevo aprendizaje.

6.4 PROCESO DE DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE APRENDIZAJE PARA EL TEMA DE ENSAYO DE TENSIÓN

Para realizar el proceso de diseño de las experiencias de aprendizaje del tema de Ensayo de Tensión, se aplica una encuesta de los temas de Ensayo de Tensión a los 20 estudiantes del curso de Ciencia de los materiales de la USTA del semestre 2015-2. Esta encuesta se realizó el día 18 de Agosto de 2015, para determinar qué temas son de importancia y requieren de una implementación de estrategias didácticas. A continuación se muestra la tabulación de datos obtenidos de la encuesta aplicada. La encuesta se muestra en el anexo 1.

6.4.1 Tabulación de los datos obtenidos para el tema de Ensayo de Tensión

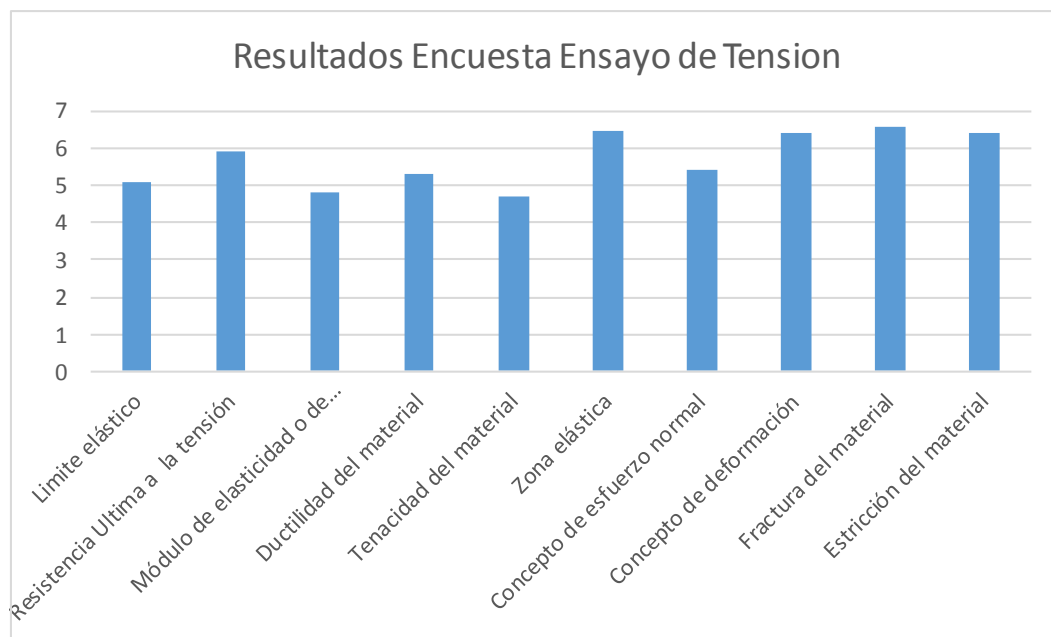
De acuerdo a los resultados de la encuesta aplicada, se tabulan los datos obtenidos referentes a los temas de Ensayo de Tensión. Como se muestra en la tabla 5

Tabla 5. Resultados obtenidos en la encuesta para el tema de ensayo de tensión.

UNIDAD TEMÁTICA ENSAYO DE Tensión	PROMEDIO
Limite elástico	5,1
Resistencia Ultima a la tensión	5,9
Módulo de elasticidad o de Young	4,8
Ductilidad del material	5,3
Tenacidad del material	4,7
Zona elástica	6,5
Concepto de esfuerzo normal	5,4
Concepto de deformación	6,4
Fractura del material	6,6
Estricción del material	6,4

Fuente: El Autor.

Figura 8. Resultados Encuesta Tema Ensayo de Tensión



Fuente: El Autor.

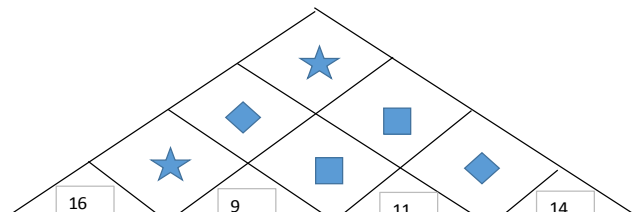
De acuerdo a la tabla de datos de la encuesta realizada, se creó un promedio de las respuestas dadas, para determinar el grado de importancia de cada tema de Ensayo de tensión, según la nomenclatura mencionada en la encuesta, 1 más importante, 10 menos importante. Se puede observar en los resultados que los temas más importantes son: Módulo de Young o elasticidad, Ductilidad de los

materiales, limite elástico. A continuación se describe la metodología de diseño a utilizar.

6.4.2 Identificación de las necesidades

Para identificar las necesidades del cliente se realiza una encuesta de los temas que se estudian en la unidad temática de Ensayo de Tensión, a los estudiantes del curso de materiales de la USTA y posteriormente una matriz QFD casa de la calidad, para observar los requerimientos del cliente, los requerimientos de diseño, objetivos de diseño. En la siguiente matriz QFD hay que mencionar que la ponderación para la prioridad es, 1 el más importante o prioritario y 4 el menos importante o prioritario.

Tabla 6. QFD de los temas de Ensayo de Tensión

						
QUE	COMO	IMPORT	1,8 elaboracion guias didacticas	1 elaboracion de tutoriales cad	1,3 cuestionarios interactivos	1,6 Guías de laboratorio
Limite elástico	1		■	✕	■	■
Resistencia ultima de tensión	2		■	✕	■	■
Módulo de Young o Elasticidad	5	★	★	◆	★	+
Ductilidad del material	2		■	✕	◆	+
Tenacidad del material	4	★	★	■	★	+
Zona elástica	3	◆	◆	■	■	★
Concepto de esfuerzo normal	2		■	✕	■	◆
Concepto de deformación	2		■	✕	■	■
Fractura del material	3		■	✕	◆	◆
Estricción del material	2		◆	✕	◆	◆
Ponderacion Absoluta			135	38	97,5	156,8
Ponderacion Relativa			3,55	1	2,56	4,12
PRIORIDAD			2	4	3	1

Fuente: El Autor.

Para analizar la tabla del QFD, a continuación se mencionan las ponderaciones de importancia y prioridad. En la parte de los requerimientos del cliente, se puede observar la calificación para la ponderación de importancia, como en cada uno de los temas, siendo la calificación de 5 la más importante y la calificación de 1 la

menos importante. Igualmente, para establecer la prioridad de actividades a realizar, la tabla QFD muestra la calificación para la ponderación de las prioridades, siendo 1 el más prioritario y 4 el menos prioritario.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla del QFD, se puede observar que en la parte de requerimientos del cliente, los temas de más importancia son: Modulo de Young o elasticidad, limite elástico, tenacidad del material, de igual manera los temas de menor importancia son: Estricción del material, ductilidad del material, concepto de deformación.

Por otro lado, se puede observar que para la prioridad, la estrategia didáctica más urgente por realizar es la elaboración de guías de laboratorio, la cual tiene un valor de 1, en segundo lugar se encuentra la elaboración de guías didácticas, con un valor de 2, en tercer lugar se encuentran los cuestionarios interactivos con un valor de 3 y en último lugar se hallan las elaboración de tutoriales CAD con un valor de 4.

✓ **Tabla de Ponderación**

En la siguiente tabla de ponderación se muestran los símbolos y su correspondiente valor. El valor de 1 significa que es menos importante y el valor de 5 significa el más importante.

Tabla 7. Ponderación QFD

PONDERACION	SIMBOLO
1	
2	
3	
4	
5	

Fuente: El Autor.

6.4.3 Ideas preliminares

Con base en la matriz QFD se tiene una lista de lluvia de ideas para satisfacer los requerimientos del cliente y así, darle solución al problema. La lluvia de ideas es la siguiente:

- Elaboración de guías didácticas
- Elaboración de tutoriales CAD
- Cuestionarios interactivos
- Guías de laboratorio

Con base en la lista mostrada anteriormente y teniendo en cuenta la matriz QFD, en cuanto a la prioridad de actividades, las estrategias didácticas para llevar a cabo

son: Una guía de laboratorio y un cuestionario interactivo en el software Hot potatoes.

6.4.4 Perfeccionamiento del problema

Teniendo en cuenta la lista de lluvia de ideas anteriormente planteadas y la matriz QFD, se puede analizar que las actividades que son prioridad y que pueden satisfacer las necesidades del cliente, para el tema de Ensayo de Tensión, se tendría en cuenta la realización de una guía de laboratorio, que incluya ejercicios de cálculos en Excel, un video ilustrativo del Ensayo de Tensión e igualmente formalizar un cuestionario interactivo en hot potatoes, como un crucigrama, esto con el fin de hacer más dinámica la enseñanza del docente.

6.4.5 Análisis

De acuerdo a la encuesta realizada a los estudiantes del curso de ciencia de los materiales de la USTA y a la matriz QFD del tema de Ensayo de Tensión, se puede analizar que en los requerimientos del cliente, los subtemas que tienen mayor importancia son el módulo de Young o elasticidad, con un valor de 5, luego, la tenacidad del material con un valor de 4 después la zona elástica, con un valor de 3. De igual forma los subtemas que tienen menor importancia son estricción del material, fractura del material, limite elástico.

Con base a lo anterior, se pueden analizar las estrategias didácticas planteadas correspondientes a los requerimientos de diseño, por lo tanto para satisfacer las necesidades del cliente, se plantean las actividades didácticas como guía de laboratorio, incluyendo un video ilustrativo del ensayo de tensión, cuestionarios interactivos como quiz, crucigramas en el software Hot potatoes, lo cual son herramientas que facilitan la enseñanza por parte del docente, como el aprendizaje del estudiante y así se materialice en una estrategia didáctica suficientemente, importante.

6.4.6 Decisión

Con respecto a la encuesta realizada al curso de ciencia de los materiales de la USTA y a la matriz QFD del tema de Ensayo de Tensión, observando los requerimientos del cliente, y de acuerdo al análisis planteado anteriormente, se aceptan los requerimientos de diseño que son, la guía de laboratorio incluyendo un video ilustrativo del Ensayo de Tensión y cuestionarios interactivos, en el software Hot Potatoes; ya que son herramientas que satisfacen al cliente de una manera práctica, efectiva para su aprendizaje y de igual manera facilita la enseñanza por parte del docente.

6.4.7 Realización

Finalmente, después de haber seguido los pasos de la metodología de diseño EARLE y la matriz QFD, se llega a la conclusión de realizar las actividades propuestas que son la guía de laboratorio ilustrativo y los cuestionarios.

En este orden de ideas, se realiza una guía de laboratorio ilustrativa, que contiene el marco teórico del Ensayo de Tensión, el diagrama esfuerzo deformación, descripción y partes de la máquina utilizada, igualmente, se tiene un video que muestra el Ensayo de Tensión de una manera dinámica, explicando las deformaciones que va sufriendo el material junto con el diagrama esfuerzo – deformación, finalmente, se plantea una actividad didáctica para realizar los cálculos referentes al Ensayo de Tensión, por medio de Excel. Otra actividad didáctica a realizar es el cuestionario interactivo en forma de crucigrama, dentro de este crucigrama se encontraran los diferentes conceptos del Ensayo de Tensión, para que los estudiantes se interesen y motiven por adquirir los conocimientos de una manera práctica y dinámica.

Durante el proceso de diseño de experiencias de aprendizaje, para el tema de Ensayo de Tensión, se puede concluir que los resultados de la encuesta aplicada al curso de ciencia de los materiales de la USTA, y la matriz QFD, las actividades planteadas a desarrollar, convencen los requerimientos y necesidades de los estudiantes, siendo una oportunidad para que ellos tengan un ambiente dinámico, en la adquisición de los conocimientos.

Por lo tanto, realizar una guía de laboratorio ilustrativa, desarrollar cuestionarios interactivos de forma lúdica, proporciona al estudiante un gusto e interés por la asignatura y principalmente, construyendo de forma satisfactoria su formación profesional.

7 CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo con el trabajo de grado presentado se puede concluir que las herramientas de enseñanza para los temas de Estructura Atómica y Ensayo de Tensión aplican y siguen los parámetros y criterios de la iniciativa CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), la cual se entiende como un modelo educativo que enfatiza los fundamentos de la ingeniería en la implementación de procesos, con la que se estructuran dos aspectos básicos: uno, el qué enseñar, y dos, cómo enseñarlo.
- ✓ Las encuestas realizadas como un sondeo en el estudio permitieron diagnosticar los temas de Estructura Atómica y de Ensayo de Tensión como los principales a tener en cuenta para el diseño de experiencias de aprendizaje, así como las respectivas didácticas para su enseñanza, como tutoriales, aspectos teóricos, ejemplos y ejercicios prácticos.
- ✓ La casa de la calidad QFD permitió ratificar los temas a abordar tanto en las estrategias de enseñanza como en el diseño de las didácticas a emplear, para las que se tuvieron en cuenta tutoriales CAD, guías didácticas, cuestionarios interactivos y prácticas de laboratorio. Para ello se tomaron como base los requerimientos de los estudiantes (clientes) en cuanto a los subtemas de las temáticas de Estructura Atómica y de Ensayo de Tensión.
- ✓ La aplicación del método Earle fue acertado en la preparación de las estrategias de enseñanza de los temas de Estructura Atómica y Ensayo de Tensión, lo cual permitió pronosticar la posibilidad de implementarlas de manera adecuada mediante el desarrollo de las diferentes herramientas didácticas diseñadas.
- ✓ Para la guía de Estructura Atómica, que se muestra en el Anexo 2, fueron incluidas de manera satisfactoria una parte teórica, un tutorial interactivo con el software Solid Edge (para modelar las estructuras cristalinas BCC FCC HCP), ejemplos de problemas y ejercicios prácticos, con el propósito de facilitar su proceso de enseñanza - aprendizaje.
- ✓ El tutorial de Solid Edge, que se realizó en la guía de Estructura Atómica, se consideró un elemento diferenciador que puede incidir de manera importante en el mejoramiento del entendimiento, por parte de los estudiantes, en cuanto a los elementos de cada unidad.
- ✓ La escogencia del software Crystal Maker fue ideal para entender, construir y proyectar las estructuras cristalinas debido a que permite, dentro de su

dinámica, desarrollar la geometría y propiedades tales como densidad volumétrica, densidad planar y lineal de las estructuras cristalinas BCC, FCC y HCP.

- ✓ Para la guía de Ensayo de Tensión, que se muestra en el Anexo 3, fueron incluidas de manera satisfactoria una parte teórica, una guía para la práctica de laboratorio, un tutorial para el modelamiento por el método de elementos finitos por medio del software ANSYS y un ejercicio práctico, todos orientados a facilitar y promover el proceso de enseñanza aprendizaje.
- ✓ El diseño de la práctica del Ensayo de Tensión permite el empleo de diferentes tipos de materiales tales como Acero 1020, Aluminio 7075 y Bronce SAE 40, entre otros, con lo cual, el modelo puede permitir la elaboración de los diagramas de esfuerzo – deformación, el cálculo del Módulo de Young y la determinación del límite elástico de los diferentes materiales, facilitando el proceso de enseñanza aprendizaje a maestros y estudiantes, respectivamente.
- ✓ El tutorial interactivo sobre la simulación del Ensayo de Tensión por método de los elementos finitos en el software ANSYS permite modelar y predecir los resultados, así como llevar a cabo su correspondiente contrastación con aquellos que se obtengan de las prácticas de laboratorio, enriqueciendo así el proceso de aprendizaje mediante una estrategia de enseñanza que facilita el entendimiento por parte de los estudiantes.

8 RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar herramientas didácticas de otros subtemas como enlaces químicos, propiedades ópticas de los materiales, propiedades térmicas de los materiales y diagramas de fase.
- ✓ Garantizar que las máquinas y equipos para la realización de ensayos mecánicos de la USTA, cuenten con los accesorios necesarios tales como las galgas extensiométricas para así tener poder medir de forma adecuada el módulo de Poisson.
- ✓ Se sugiere estudiar, analizar y promover la utilización de otros tipos de software para poder incluir en la propuesta de mejoramiento del proceso enseñanza - aprendizaje otros temas de la asignatura como difracción en rayos x, diagramas de fase, materiales superconductores, materiales magnéticos y materiales ópticos, entre otros.
- ✓ Seguir trabajando e indagando acerca de la manera de generar nuevos materiales didácticos y agradables que faciliten el entendimiento por parte del estudiante y que brinden las herramientas para despertar su interés y el tránsito hacia la aplicación en la vida real de lo obtenido tanto en la simulación, como en la práctica y la teoría.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Álvarez, "Problemática actual en la enseñanza de la ingeniería: una alternativa para su solución," *Ingenierías*, vol. II, no. 3, pp. 10–15, 1999.
- [2] D. Moursund, *Aprendizaje Basado en Proyectos*, 2da Edicio. 2003.
- [3] H. Rodríguez, *033 Estrategias De Ensenanza Y Aprendizaje*. .
- [4] E. Metodol, "Estrategias didácticas para la enseñanza," pp. 1–27, 1991.
- [5] Monsalve O Martha, "Implementacion de las TIC como estrategia didactica para generar aprendizaje significativo de los procesos celulares en los estudiantes de grado sexto de la institución educativa san andres del municipio de girardota," vol. IV, no. c, p. 70, 2011.
- [6] J. Benito and R. González, *GRATUITAS*, 2 edicion. 2006.
- [7] M. E. De, "Módulo 5. experiencias de aprendizaje." [Online]. Available: <http://www.uned.ac.cr/academica/images/PACE/recursos/Semana5Experiencias.pdf>.
- [8] E. Morales and P. Poblete, "Iniciativa CDIO : Un Nuevo Paradigma en la Formación de Ingenieros a Nivel Global," 2013.
- [9] M. K. Wedel and P. Goodhew, "Cdio Applied in the Context of Materials Science," *Proc. 3rd Int. CDIO Conf. MIT, Cambridge, Massachusetts, June 11-14, 2007*, 2007.
- [10] J. H. Earle, *Diseño en Ingenieria James H. Earle*, 2 edicion. Texas A&M University, 2003.

Anexo 1. ENCUESTA UNIDAD TEMATICA

CIENCIA DE LOS MATERIALES

La presente encuesta se realiza con el fin de servir como punto de partida y para la generación de los requisitos de cliente en los temas de estructura atómica y Ensayo de tensión, dentro del proyecto de grado "Materiales didácticos y ayudas de clase para la Unidad Temática "Ciencia de los Materiales". Le pedimos contestar de forma clara y a conciencia.

Agradecemos de antemano su colaboración y apoyo para con esta actividad.

CONCEPTOS SOBRE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS APLICADOS EN LA ENCUESTA

Clases Magistrales: es una clase llevada a cabo en un aula universitaria por un profesor acreditado.

Estudios de caso: es un instrumento o método de investigación con origen en la investigación médica, ingeniería, psicológica se utiliza en áreas de ciencias sociales, ciencias naturales como método de evaluación cualitativa.

Aprendizaje Basado en Proyectos: El ABP puede ser asistido con TIC y da ciertas lecciones y estrategias que son de gran utilidad para los estudiantes como las siguientes: Aprender en un ambiente de cooperación, realizar ejercicios sobre problemas reales.

Enseñanza Problemática: Es la actividad del profesor encaminada a la creación de un sistema de situaciones polémicas, a la exposición del material profesor y a su explicación (total o parcial) y a la dirección de la actividad de los alumnos en lo que respecta a la asimilación de conocimientos nuevos.

Implementación de modelos de simulación: Es la aplicación de un instrumento que permite imitar el comportamiento de un sistema real mediante un artificio físico o matemático.

Contrato de Aprendizaje: Técnica para facilitar la individualización del aprendizaje, consiste en un acuerdo formal escrito entre la organización ofertante de la educación a distancia y el estudiante que detalla sus expectativas.

Aprendizaje Colaborativo: El aprendizaje colaborativo, busca propiciar espacios en los cuales se dé el desarrollo de habilidades individuales y grupales a partir de la discusión entre los estudiantes al momento de explorar nuevos conceptos.

Aprendizaje Cooperativo: El Aprendizaje cooperativo es un enfoque que trata de organizar las actividades dentro del aula para convertirlas en una experiencia social y académica de aprendizaje.

Implementación del CAD: Aplicación de diseños de modelos físicos y matemáticos mediante un software computarizado de modelación 3D, con el fin de dar solución a un problema de ingeniería

Guías académicas: Documento en el cual se plantean actividades de resolución de problemas, teniendo como base un marco teórico.

- Ordene de 1 a 10 según usted considere el nivel de importancia de los temas vistos en la Unidad Temática Ciencia de los Materiales en el tema de Estructura atómica de los materiales. No puede repetir valor. (1 es el más importante, 10 el menos importante)

Tabla 1. Nivel de importancia de los temas de Estructura Cristalina

UNIDAD TEMATICA ESTRUCTURA CRISTALINA	ORDEN
Estructura de los átomos	
Tipos d enlaces Atómicos	
Estructura Cristalina FCC, HCP, BCC	
Posiciones celdilla unidad	
Índices de Miller	
Planos Cristalográficos	
Densidad lineal	
Densidad Volumétrica	
Densidad Planar	

Fuente: El Autor

- Ordene de 1 a 10 según usted considere el nivel de importancia de los temas vistos en la Unidad Temática Ciencia de los Materiales en el tema de Ensayo de Tensión No puede repetir valor. (1 es el más importante, 10 el menos importante)

Tabla 2. Nivel de importancia de los temas de Ensayo de Tensión

UNIDAD TEMATICA ENSAYO DE TENSIÓN	ORDEN
Limite elástico	
Resistencia ultima de tensión	
Módulo de Young o Elasticidad	

Ductilidad del material	
Tenacidad del material	
Zona elástica	
Concepto de esfuerzo normal	
Concepto de deformación	
Fractura del material	
Estricción del material	

Fuente: El Autor

- Valore de 1 a 5 las siguientes estrategias didácticas a partir de su concepto de como inciden en el mejor aprendizaje dentro de la Unidad Temática Ciencia de los Materiales? (1 en poca cantidad y 5 en gran cantidad)

Clases Magistrales	
Estudio de Casos	
Aprendizaje orientado a proyectos	
Enseñanza problémica	
Resolución de ejercicios y problemas	
Implementación de modelos de simulación	
Contrato de aprendizaje	
Aprendizaje colaborativo	
Aprendizaje basado en problemas	
Aprendizaje cooperativo	
Implementación del CAD	
Guías académicas	

Cuál es su conocimiento sobre el software Excel 1 poco 5 mucho ☐

Cuál es su conocimiento sobre la simulación por elementos finitos 1 poco 5 mucho ☐

Cuál es su conocimiento sobre el software nx 1 poco 5 mucho ☐

Anexo 2. Guía de Estructura Atómica

CIENCIA DE LOS MATERIALES

Guía didáctica

ESTRUCTURA CRISTALINA DE LOS MATERIALES

OBJETIVO GENERAL

- El estudiante entiende y comprende las estructuras cristalinas

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar y observar cómo están conformadas las estructuras cristalinas BCC, FCC, HCP
- Conocer y aplicar el concepto del factor de empaquetamiento
- Conocer y aplicar los índices de Miller y ubicación de los átomos en las estructuras

COMPETENCIAS

- Realiza un análisis sobre los materiales metálicos en Colombia
- Relaciona apropiadamente los conceptos de propiedades, materiales y procesos de manufactura
- Elabora modelos geométricos virtuales para realizar estructuras cristalinas
- Preserva el estado de calibración de los equipos
- Realiza ensayos siguiendo los procedimientos establecidos
- Aplica normas cuando sea requerido
- Usa bata durante las prácticas de laboratorio
- Planea y ejecuta con el tiempo suficiente los trabajos de laboratorio
- Entrega puntualmente los trabajos en las fechas concertadas

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 MARCO TEORICO	8
1.1 LA MATERIA	8
1.1.1 Estados de la materia	8
1.1.2 Propiedades de la materia	8
1.2 EL ATOMO	8
1.2.1 El átomo y sus componentes	8
1.3 ENLACES QUIMICOS	10
1.3.1 Enlace Iónico	10
1.3.2 Enlace covalente	11
1.3.3 Enlace metálico	12
1.4 REDES DE BRAVAIS	12
1.5 ESTRUCTURA CRISTALINA DE LOS MATERIALES	16
1.5.1 Estructura Cristalina BCC	16
1.5.2 Estructura Cristalina FCC	17
1.5.3 Estructura cristalina HCP	18
1.6 POSICIONES ATOMICAS EN LAS CELDAS UNIDAD	19
1.6.1 Ejemplo	19
1.7 DIRECCIONES EN CELDAS UNIDAD CUBICAS	20
1.7.1 Ejemplo	20
1.8 INDICES DE MILLER DE ESTRUCTURAS CRISTALINAS	22
1.8.1 Ejemplo	22
1.9 DENSIDAD VOLUMETRICA	24
1.10 DENSIDAD PLANAR	24
1.11 DENSIDAD LINEAL	25
2 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD DE ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	26

2.1 FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO TEORICO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	26
2.2 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR EL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	28
2.3 DENSIDAD VOLUMÉTRICA TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	32
2.4 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD VOLUMETRICA EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	33
2.5 DENSIDAD PLANAR TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	35
2.6 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD PLANAR EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	36
2.7 DENSIDAD LINEAL DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC EN SOLID EDGE	39
 3 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD DE ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	 41
3.1 FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO TEORICO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	41
3.2 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR EL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	43
3.3 DENSIDAD VOLUMÉTRICA TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	45
3.5 DENSIDAD PLANAR TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	47
3.4 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD PLANAR EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	49
3.6 DENSIDAD LINEAL DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC EN SOLID EDGE	51
 4 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD DE ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	 54
4.1 FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO TEORICO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	54
4.2 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR EL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	56
4.3 DENSIDAD VOLUMÉTRICA TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	58
4.4 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD VOLUMETRICA EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	59

4.5 DENSIDAD PLANAR TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	61
4.7 DENSIDAD LINEAL DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP EN SOLID EDGE	64
5 ACTIVIDAD DIDACTICA	66
5.1 TUTORIAL ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	66
5.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CORTES A LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC	70
5.3 TUTORIAL ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	71
5.4 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CORTES DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC	81
5.5 TUTORIAL ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	81
5.6 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CORTES DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP	86
6 ACTIVIDAD PRACTICA ESTRUCTURA CRISTALINA USANDO EL SOFTWARE CRYSTAL MAKER	88
6.1 EJEMPLO	88
6.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR Y VISUALIZAR UNA ESTRUCTURA CRISTALINA EN CRYSTAL MAKER	88
6 ACTIVIDAD PRÁCTICA EN EL SOFTWARE CRYSTAL MAKER	95
7 ACTIVIDAD PRACTICA ESTRUCTURA CRISTALINA EN SOLID EDGE	96
8 CUESTIONARIO	97
9 GLOSARIO DE TERMINOS	98
10 BIBLIOGRAFIA	99

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Numero Atómico del Carbono	9
Figura 2. Número másico del Carbono	10
Figura 3. Enlace Iónico	11
Figura 4. Enlace Covalente	11
Figura 5. Enlace metálico Sistema cúbico simple	12
Figura 6. Estructura cristalina BCC	17
Figura 7. Estructura cristalina FCC	18
Figura 8. Posiciones de los átomos en la estructura cristalina FCC	20
Figura 9. Vector de dirección [100]	21
Figura 10. Vector de dirección [110]	21
Figura 11. Plano cristalográfico de Miller [101]	23
Figura 12. Plano cristalográfico de Miller [221]	24
Figura 13. Dibujo del círculo con radio 6,567 mm ³	28
Figura 14. Trazo de la línea por la mitad del círculo	29
Figura 15. Aplicación de la opción recortar (trim)	29
Figura 16. Dibujo de la esfera	30
Figura 17. Validación del volumen de la esfera	31
Figura 18. Validación del volumen de la estructura cristalina BCC	32
Figura 19. Validación Densidad Volumétrica (masa)	34
Figura 20. Validación Densidad Volumétrica (volumen)	34
Figura 21. Numero de átomos del área seleccionada	35
Figura 22. Selección del plano del corte	37
Figura 23. Opción cortar y dibujar un cuadrado que cubra toda la estructura	37
Figura 24. Ejecución del plano de corte	38
Figura 25. Plano de corte de la estructura cristalina BCC	38
Figura 26. Numero de átomos intersectados por la longitud	39
Figura 27. Validación de la densidad lineal (longitud)	40
Figura 28. Dibujo de esfera	43
Figura 29. Validación del volumen de la esfera	44
Figura 30. Validación del volumen de la estructura FCC	44
Figura 31. Validación de la densidad volumétrica (masa)	46
Figura 32. Validación densidad volumétrica (volumen)	47
Figura 33. Numero de átomos de la estructura cristalina FCC	48
Figura 34. Plano de corte	49
Figura 35. Dibujo del cuadrado alrededor de la estructura cristalina	50
Figura 36. Plano de corte	50
Figura 37. Plano de corte [100] de la estructura cristalina FCC	51
Figura 38. Numero de átomos intersectados por la longitud de línea	52
Figura 39. Validación de la densidad lineal (Longitud)	52

Figura 40. Dibujo de la esfera	56
Figura 41. Validación del volumen de la esfera	57
Figura 42. Validación del volumen de la estructura HCP	58
Figura 43. Validación de la densidad volumétrica (masa)	60
Figura 44. Validación densidad volumétrica (volumen)	60
Figura 45. Numero de átomos de la estructura cristalina HCP	61
Figura 46. Selección del plano de corte	63
Figura 47. Plano de corte	63
Figura 48. Plano [100]	64
Figura 49. Numero de átomos intersectados por la longitud de línea	65
Figura 50. Validación densidad lineal (Longitud)	65
Figura 51. Dibujo de círculo de diámetro D	66
Figura 52. Dibujo del semicírculo	67
Figura 53. Revolución de la esfera	67
Figura 54. Dibujo de las dos líneas a 45°	68
Figura 55. Dibujo de los dos semicírculos	68
Figura 56. Revolución de los círculos	69
Figura 57. Proceso de simetría	69
Figura 58. Proceso de simetría y resultado de la estructura cristalina BCC	70
Figura 59. Estructura BCC cortada	71
Figura 60. Dibujo del círculo D	71
Figura 61. Dibujo de las dos líneas a 45°	72
Figura 62. Dibujo de los dos círculos tangentes	73
Figura 63. Dibujo de las líneas horizontales	73
Figura 64. Dibujo de las medias circunferencias	74
Figura 65. Uso de la opción de colinealidad	74
Figura 66. Revolución de las esferas	75
Figura 67. Esfera sin simetría	75
Figura 68. Esfera con simetría	76
Figura 69. Proceso de simetría de las esferas	76
Figura 70. Medición de la distancia entre las esferas	77
Figura 71. Proceso de simetría de las esferas	77
Figura 72. Dibujo del medio círculo	78
Figura 73. Revolución del medio círculo	78
Figura 74. Simetría de la esfera	79
Figura 75. Dibujo de la circunferencia	79
Figura 76. Revolución de la esfera	80
Figura 77. Estructura FCC	80
Figura 78. Estructura FCC cortada	81
Figura 79. Dibujo del semicírculo	82
Figura 80. Dibujo de los dos semicírculos a los lados	82
Figura 81. Dibujo de los semicírculos de 60° y 120°	83
Figura 82. Semicírculo a 60°	83

Figura 83. Revolución de los semicírculos	83
Figura 84. Dibujo de las esferas del centro	84
Figura 85. Dibujo de los tres semicírculos	84
Figura 86. Revolución de los semicírculos	85
Figura 87. Proceso de simetría y Estructura HCP	86
Figura 88. Estructura HCP cortada	87
Figura 89. Tabla periódica de periodn.com	89
Figura 90. Datos cristalográficos de las celdas	89
Figura 91. Abrir file y nuevo	90
Figura 92. Selección del tipo de estructura	91
Figura 93. Introducción del parámetro de red	91
Figura 94. Visualización de la estructura cristalina	92
Figura 95. Medida de la densidad	92
Figura 96. Medida del radio atómica	93
Figura 97. Medida de la distancia entre átomos	93

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Redes de Bravais

13

Tabla 3. Estructuras Cristalinas

16

1 MARCO TEORICO

1.1 LA MATERIA

La materia es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio, posee masa, volumen, energía y es cuantificable, lo que hace que se puedan medir algunas de sus propiedades [1].

1.1.1 Estados de la materia

Existen 3 principales estados de la materia que son: Sólido, Líquido y Gaseoso. En el estado Sólido las partículas se atraen con mucha fuerza entre sí, lo cual hace que estén fuertemente unidas. En el estado Líquido las partículas se atraen con una fuerza intermedia entre si y están unidas pero se mueven unas con respecto a otras. En el estado Gaseoso las partículas se atraen poco entre si y están separadas [1].

1.1.2 Propiedades de la materia

Las principales propiedades de la materia son la masa, el volumen y la densidad. La masa es la cantidad de materia que tiene un cuerpo, el volumen es el espacio que ocupa un cuerpo y la densidad es la cantidad de masa en un determinado volumen de un cuerpo o sustancia, es decir, la razón entre la masa y el volumen [1].

1.2 EL ÁTOMO

El átomo es la parte más pequeña en la que se puede obtener materia estable, ya que las partículas subatómicas que lo componen no pueden existir aisladamente salvo en ocasiones especiales. De igual manera el átomo se puede definir como la unidad constituyente más pequeña de la materia que tiene las propiedades de un elemento [1].

1.2.1 El átomo y sus componentes

- **EL PROTÓN**

Es la partícula elemental con carga eléctrica positiva igual a $1,67 \times 10^{-19}$ C; su masa es $1,66 \times 10^{-28}$ g y se simboliza con la letra p [1].

- **EL NEUTRÓN**

Es la partícula elemental eléctricamente neutra, su masa es $1,67 \times 10^{-27}$ g y se simboliza con la letra n [1].

- **EL ELECTRÓN**

Es la partícula elemental con carga eléctrica negativa igual a $-1,60 \times 10^{-19}$ C, su masa es $9,22 \times 10^{-28}$ g y se simboliza con la letra e [1].

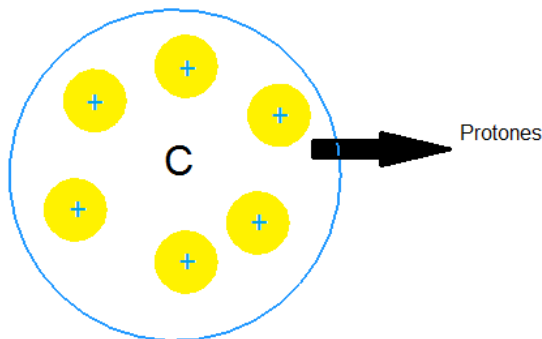
- **EL NUMERO ATÓMICO**

Es el número total de protones que tiene cada átomo en un elemento químico. Se representa con la letra Z. Los átomos de diferentes elementos químicos tienen distintos números de electrones y protones [1].

Por ejemplo:

El número atómico Z del carbono es 6, es decir, el número de protones dentro del núcleo es igual a 6 como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1. Numero Atómico del Carbono



Fuente: El Autor

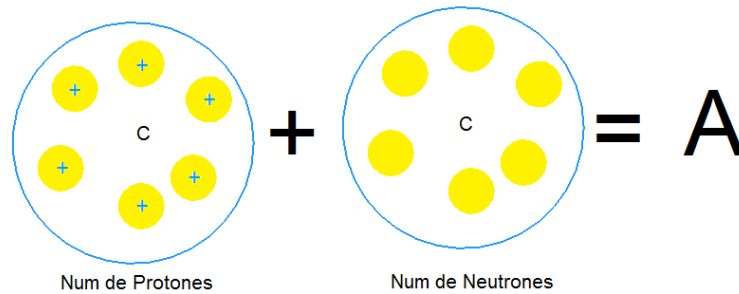
- **EL NUMERO MÁSIKO:**

Es la suma del número de protones y el número de neutrones. Se simboliza con la letra A, el uso de esta letra proviene del alemán Atomgewicht [1].

Por ejemplo:

El Numero Másico del Carbono es 12, es decir, la suma del número de protones y neutrones es igual a 12 como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2. Número másico del Carbono



Fuente: El Autor

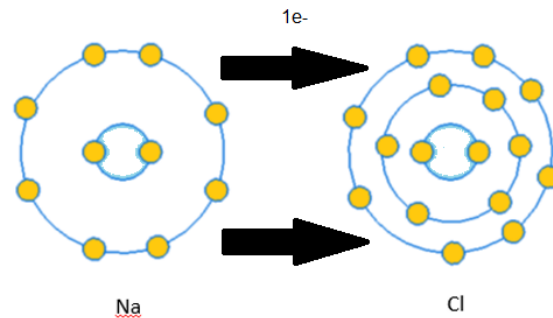
1.3 ENLACES QUIMICOS

Los enlaces químicos son las fuerzas que mantienen unidos a los átomos; cuando los átomos se enlazan entre sí, ceden, aceptan o comparten electrones. Existen tres tipos de enlaces químicos que son: enlace iónico, enlace covalente y enlace metálico[2].

1.3.1 Enlace Iónico

El enlace iónico es el tipo de enlace en el cual interactúan un metal y un no metal; los metales ceden electrones formando cationes y los no metales aceptan electrones formando aniones. En la figura 1 se muestra un enlace iónico entre el sodio y el cloro, en donde el sodio ($Z=11$) cede un electrón de valencia al cloro ($Z=17$) de manera que ambos quedan con ocho electrones estables en su exterior. Algunos ejemplos de enlaces iónicos en materiales de ingeniería son los cerámicos y la fibra de carbono [3].

Figura 3. Enlace Iónico



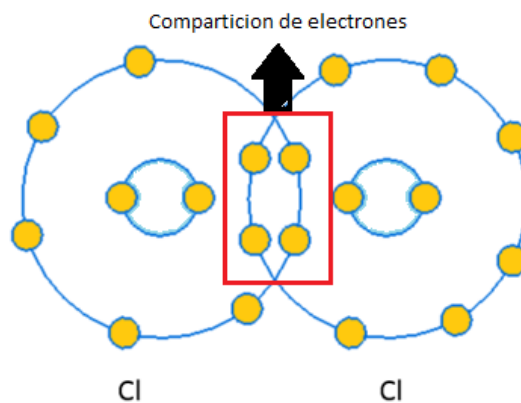
Fuente: El Autor

1.3.2 Enlace covalente

El enlace Covalente se basa en la compartición de electrones; los átomos no ganan ni pierden electrones sino los comparten; en este tipo de enlace los átomos se encuentran empaquetados relativamente muy juntos. En la figura 2 se muestra un enlace covalente entre dos átomos de cloro [2].

Algunos ejemplos de enlaces covalentes en materiales de ingeniería son: los adhesivos, las gomas, los plásticos.

Figura 4. Enlace Covalente



Fuente: El Autor

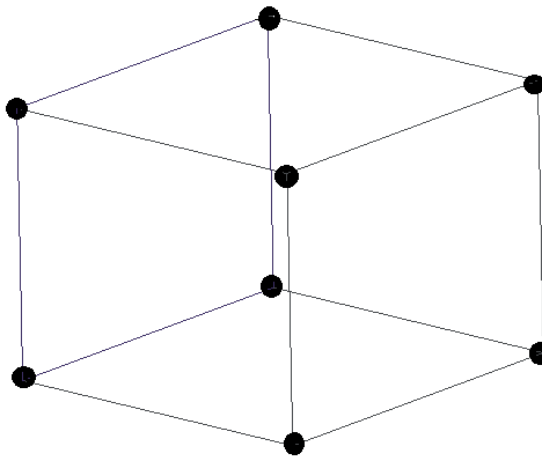
1.3.3 Enlace metálico

Un enlace metálico es un enlace químico que mantiene unidos los átomos de los metales entre sí (unión entre núcleos atómicos y los electrones de valencia, que se juntan alrededor de éstos como una nube) [2].

El enlace metálico forma diferentes cuerpos geométricos que se repiten a lo largo del retículo formando el cristal como por ejemplo el sistema cubico simple que se muestra en la siguiente figura [2].

Algunos ejemplos de enlaces metálicos en materiales de ingeniería son: Hierro, Zinc, Cobre y aleaciones como el acero.

Figura 5. Enlace metálico Sistema cúbico simple



Fuente: El Autor

1.4 REDES DE BRAVAIS

Las redes cristalinas están constituidas por celdas unidad. Una celda unidad es la porción más simple de la estructura cristalina que al repetirse mediante traslación reproduce toda la red.

Los enlaces entre átomos forman redes ordenadas las cuales representan la cristalografía de los materiales, éstas redes se denominan redes de Bravais, en honor al físico francés August Bravais, en estas redes se pueden construir celdas unidad de diferentes tipos. Existen siete sistemas cristalinos y son:

El sistema cubico, en el cual hay tres tipos de celdas unidad: cubica simple, cubica centrada en el cuerpo y cubica centrada en las caras; el sistema ortorrómbico, en

el cual hay cuatro tipos de celda unidad: ortorrómbica simple, ortorrómbica centrada en las caras, ortorrómbica centrada en el cuerpo y ortorrómbica centrada en las bases; el sistema tetragonal, en el cual hay dos tipos de celda unidad: Tetragonal simple y Tetragonal centrada en el cuerpo; el sistema monoclinico, en el cual hay dos celdas unidad: Monoclinico simple, Monoclinico centrada en la base; el sistema hexagonal, en el cual hay una celda unidad: hexagonal tridimensional; el sistema trigonal, en el cual hay una celda unidad: Trigonal tridimensional; y el sistema triclinico, en el cual hay una celda unidad, Triclinico hexagonal [4].

A continuación se muestran los siete sistemas cristalinos de las redes de Bravais

Tabla 1. Redes de Bravais

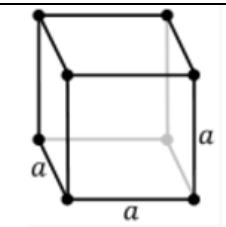
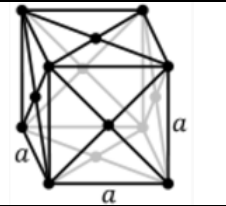
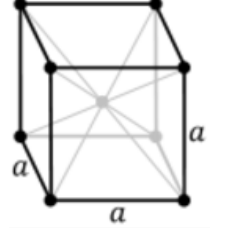
SISTEMA CRISTALINO	EJES	ANGULOS ENTRE EJES	CLASIFICACION	FIGURA
CUBICO	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple	
			Centrada en las caras	
			Centrada en el cuerpo	

Tabla 1. (Continuación)

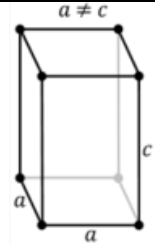
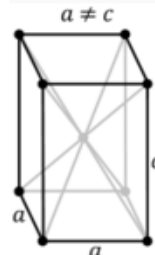
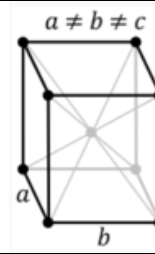
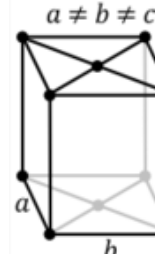
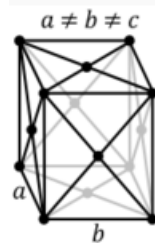
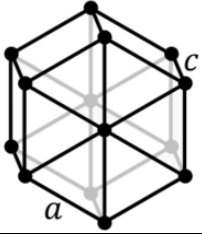
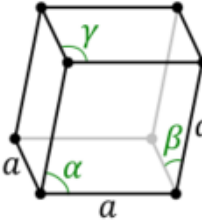
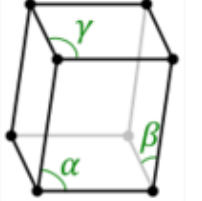
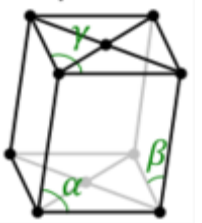
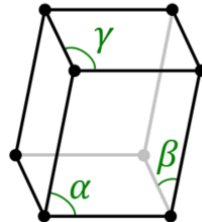
TETRAGONAL	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Simple	
			Centrado en el cuerpo	
ORTORROMBICO	$a \neq b \neq c$ $c \neq a$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple	
			Centrado en el cuerpo	
			Centrado en las bases	
			Centrado en las bases	

Tabla 1. (Continuación)

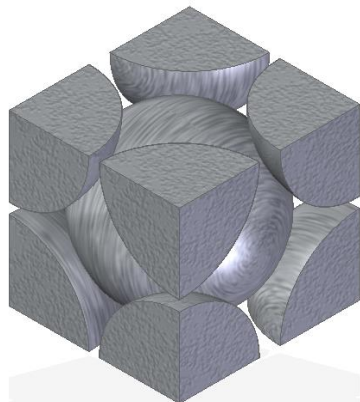
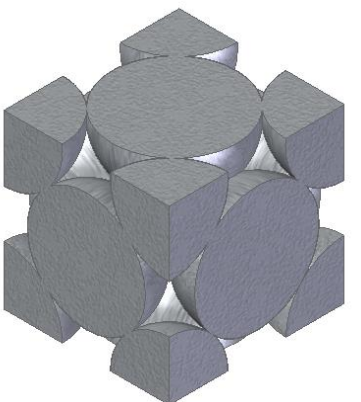
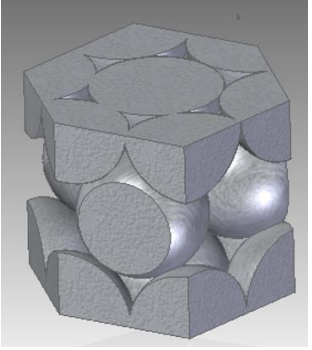
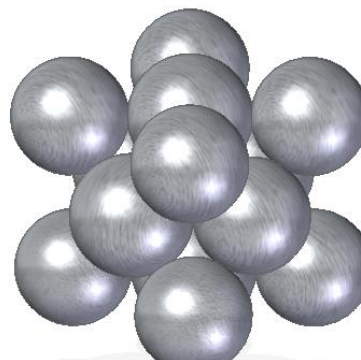
HEXAGONAL	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Tridimensional	
TRIGONAL	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Romboédrica	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ 
MONOCLINICO	$a \neq b \neq c \neq a$	$\alpha = \gamma = 90^\circ$	Simple	$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 
			Centrado en las bases	$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 
TRICLINICO	$a \neq b \neq c \neq a$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$	Tridimensional	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 

Fuente: El autor

1.5 ESTRUCTURA CRISTALINA DE LOS MATERIALES

La mayor parte de los metales elementales, se cristalizan al solidificar en tres estructuras cristalinas de empaquetamiento compacto que son: Cubica Centrada en el Cuerpo (BCC), Cubica Centrada en las Caras (FCC), y Hexagonal Compacta (HCP)[4].

Tabla 2. Estructuras Cristalinas

ESTRUCTURA BCC	ESTRUCTURA FCC	ESTRUCTURA HCP
		
		

Fuente: El Autor

1.5.1 Estructura Cristalina BCC

La estructura cristalina BCC (Cubica Centrada en el cuerpo) representa los metales alcalinos y los metales Bario, Radio, Vanadio, Tantalio. En esta estructura los átomos se encuentran en cada uno de los 8 vértices de un cubo y 1 en el centro del mismo, como se ve en la tabla 3. Los átomos en las celdas BCC hacen contacto entre sí a través de la diagonal del cubo de tal manera que la relación entre la longitud de lado del cubo y el radio atómico es [4]:

$$\sqrt{3}a = 4R \quad (1)$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

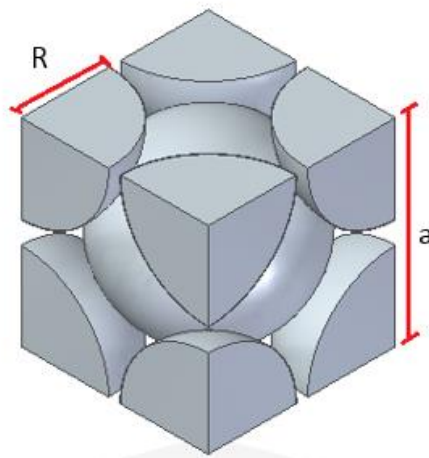
Dónde: a = Lado del cubo
 R = Radio atómico

Factor de empaquetamiento: El factor de empaquetamiento es la fracción de volumen en una celda unidad que está ocupada por sus átomos.

El factor de empaquetamiento se representa mediante la siguiente ecuación:

$$APF = \frac{\text{Volumen de átomos en la celda unidad BCC}}{\text{Volumen de la celda unidad BCC}} \quad (3)$$

Figura 6. Estructura cristalina BCC



Fuente: El Autor

1.5.2 Estructura Cristalina FCC

La Estructura Cristalina FCC está constituida por un átomo en cada vértice y un átomo en cada cara del cubo como se ve en la tabla 3. Los metales que se cristalizan en esta estructura son: hierro gama, cobre, plata, platino, oro, plomo y níquel. Cada átomo está rodeado por doce átomos adyacentes y los átomos de las caras están en contacto. Los átomos de la celda FCC se unen entre sí a través de la diagonal de la cara del cubo, su radio atómico es [4]:

$$\sqrt{2}a = 4R \quad (4)$$

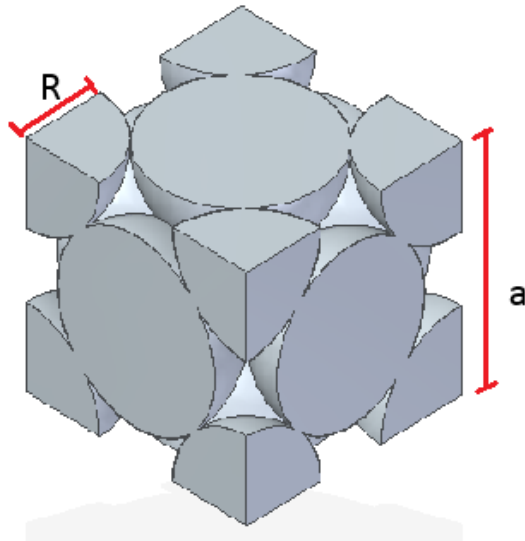
$$a = \frac{4R}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Donde a = lado del cubo
 R = Radio atómico

El factor de empaquetamiento de la estructura FCC es 0,74. Muchos metales como el aluminio, cobre, plomo, níquel, a elevadas temperaturas cristalizan en una estructura FCC

$$APF = \frac{\text{Volumen de átomos en la celda unidad FCC}}{\text{Volumen de la celda unidad FCC}} \quad (6)$$

Figura 7. Estructura cristalina FCC



Fuente: El Autor

1.5.3 Estructura cristalina HCP

Esta estructura está determinada por un átomo en cada uno de los vértices de un prisma hexagonal, un átomo en las bases del prisma y tres átomos dentro de la celda unitaria. Cada átomo está rodeado por doce átomos y estos están en contacto según los lados de los hexágonos bases del prisma hexagonal, como se observa

en la tabla 3. Los metales que cristalizan en esta forma de estructura son: titanio, magnesio, zinc, berilio, cobalto, circonio y cadmio.

En la estructura cristalina HCP los átomos pueden alcanzar un estado menor de energía y unas condiciones más estables formando la estructura HCP, el factor de empaquetamiento de la estructura HCP es 0,74 [4].

$$APF = \frac{\text{Volumen de átomos en la celda unidad HCP}}{\text{Volumen de la celda unidad HCP}} \quad (7)$$

1.6 POSICIONES ATOMICAS EN LAS CELDAS UNIDAD

La estructura cristalina exige que muchos materiales tengan una celda unidad de geometría cubica con los átomos localizados en los vértices del cubo y en las caras del cubo. A la arista del cubo se le conoce como parámetro de red y es una propiedad de la celda unidad.

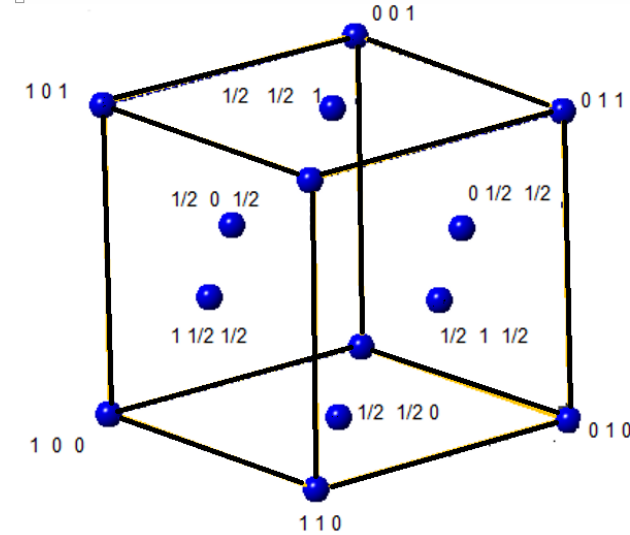
En el interior de un sólido cristalino existe una estructura cristalina formada por una red espacial, en cada punto de dicha red se sitúan grupos de átomos idénticos en composición y orientación. La geometría de la red espacial debe permitir que se llene todo el espacio de átomos sin dejar huecos. Para localizar las posiciones atómicas en las celdillas unitarias cubicas se utiliza un sistema $X Y Z$. Las posiciones atómicas se localizan usando distancias unitarias a lo largo de los ejes $X Y Z$ [4].

1.6.1 Ejemplo

Ubique las posiciones atómicas de la estructura cristalina FCC

La siguiente figura representa la posición de los átomos en la estructura cristalina FCC

Figura 8. Posiciones de los átomos en la estructura cristalina FCC



Fuente: El Autor

1.7 DIRECCIONES EN CELDAS UNIDAD CUBICAS

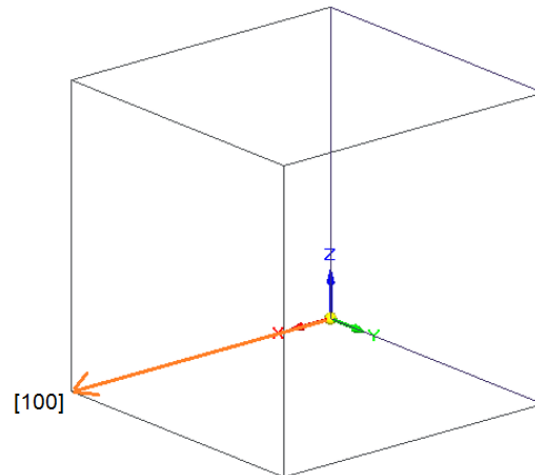
Al hablar de materiales cristalinos, es conveniente especificar algún plano cristalográfico particular de átomos o alguna dirección cristalográfica. Convencionalmente se ha establecido que para designar las direcciones y planos se utilizan tres índices enteros. Los valores de los índices se determinan basándose en un sistema de coordenadas cuyo origen está situado en un vértice de la celda unitaria y cuyos ejes X Y Z , los cuales coinciden con las aristas de la celda unitaria. En los sistemas cristalinos hexagonal, romboédrico y triclinico, los tres ejes no son perpendiculares entre sí, como ocurre en el sistema de coordenadas cartesianas. Para indicar en un diagrama una dirección de una celdilla unidad cubica se dibuja un vector de dirección desde el origen hasta que salga a la superficie del cubo. A continuación se muestra un ejemplo de las direcciones en celdillas unidad.

1.7.1 Ejemplo

- Dibujar los siguientes vectores de dirección en una celda unidad cubica
[100]; [110]

Para el vector de dirección [100] las coordenadas de posición son (100) en la siguiente figura se muestra la correspondiente dirección.

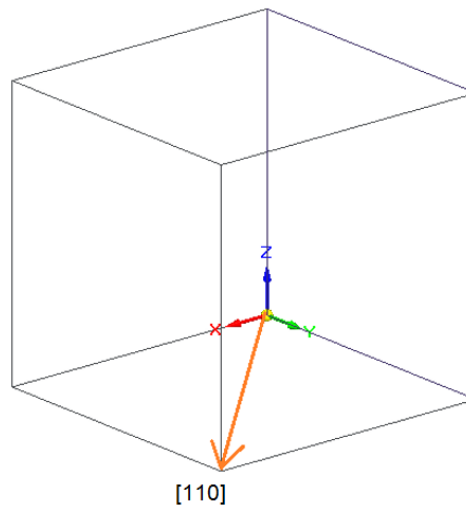
Figura 9. Vector de dirección [100]



Fuente: El Autor

Para el vector de dirección [110] las coordenadas de posición son (110), en la siguiente figura se muestra la correspondiente dirección.

Figura 10. Vector de dirección [110]



Fuente: El Autor

1.8 INDICES DE MILLER DE ESTRUCTURAS CRISTALINAS

Los Índices de Miller fueron presentados por primera vez por el mineralogista británico William Hallowes Miller en 1839. En estructuras cristalinas cúbicas se utiliza este sistema de notación para identificar los planos cristalinos. Los índices de Miller de un plano cristalino se definen como los recíprocos (inverso multiplicativo) de las intersecciones fraccionales de los planos hechos con los tres planos cristalográficos $X Y Z$ y las tres aristas no paralelas de la celda unidad cúbica [5].

El procedimiento para determinar los Índices de Miller para un plano de un cristal cúbico es el siguiente:

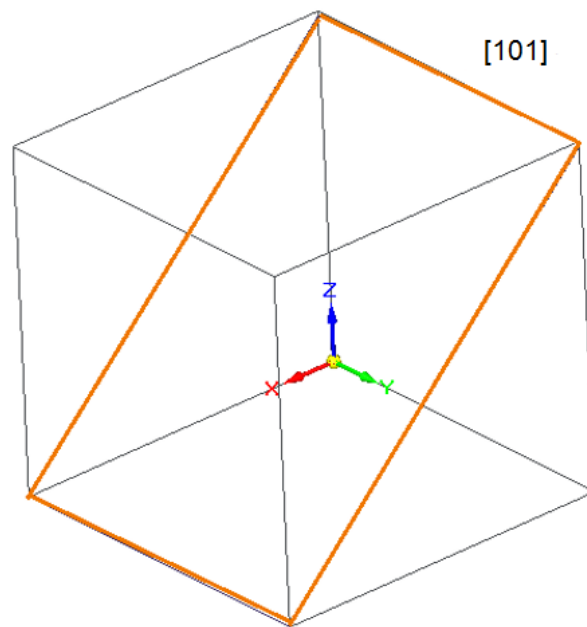
- Se elige un plano que no pase por el origen en $[000]$
- Se determinan las intersecciones del plano con los tres ejes cristalográficos $X Y Z$ para un cubo unidad. Estas intersecciones pueden ser fracciones
- Se obtienen los recíprocos de estas intersecciones
- Se eliminan fracciones y se determina el conjunto más pequeño de números enteros que estén entre sí en la misma relación que las intersecciones. Estos números enteros son los índices de Miller de un plano cristalográfico y se encierran entre paréntesis sin usar comas.

1.8.1 Ejemplo

Dibujar los siguientes planos cristalográficos en celdas unidad cúbicas: $[101]$; $[221]$.

Para el plano Cristalográfico $[101]$ primero se determinan los recíprocos de los Índices de Miller, los cuales son 1, infinito, 1; es decir, que el plano cristalográfico $[101]$ tiene que pasar a través del cubo unidad con intersecciones $X = 1$, $Z = 1$ y ser paralelo al eje Y , pues el infinito obtenido anteriormente implica que no hay cruce del plano con el eje. La siguiente figura muestra la representación del plano cristalográfico $[101]$

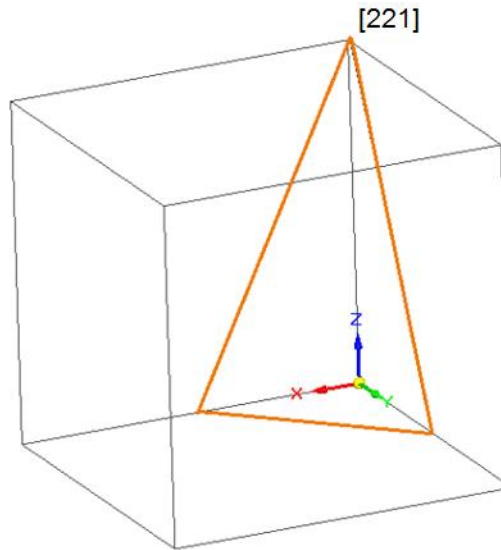
Figura 11. Plano cristalográfico de Miller [101]



Fuente: El Autor

Para el plano Cristalográfico [221] primero se determinan los recíprocos de los Índices de Miller, los cuales son $[1/2 \ 1/2 \ 1]$ es decir que el plano cristalográfico [221] tiene que pasar a través del cubo unidad con intersecciones $X = 1/2$, $Y = 1/2$ y $Z = 1/2$. La siguiente figura muestra la representación del plano cristalográfico [221].

Figura 12. Plano cristalográfico de Miller [221]



Fuente: El Autor

1.9 DENSIDAD VOLUMETRICA

La densidad se define como la cantidad de masa en un determinado volumen de la materia. La ecuación que describe la densidad volumétrica para las estructuras cristalinas es [3]:

$$\rho_v = \frac{\text{masa/celda unidad}}{\text{volumen/celda unidad}} \quad (8)$$

1.10 DENSIDAD PLANAR

En los planos metalográficos se puede establecer que la densidad planar es la razón entre la cantidad de átomos con respecto al área del plano metalográfico donde están localizados. La ecuación que describe la densidad planar para la estructura cristalina es [3]:

$$\rho_p = \frac{\text{Num de atomos del area selecci}}{\text{area seleccionada}} \quad (9)$$

1.11 DENSIDAD LINEAL

Es la cantidad de puntos de red o átomos por unidad de longitud a lo largo de una dirección específica. La ecuación que describe la densidad lineal en la estructura cristalina es[3]:

$$\rho_l = \frac{\text{num de atomos intersectados}}{\text{Long.de la linea seleccionada}} \quad (10)$$

2 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD DE ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Realizar la estructura cristalina BCC siguiendo el tutorial en Solid Edge teniendo en cuenta las dimensiones del radio atómico y la constante de red que se muestra en el siguiente ejemplo:

El hierro es una estructura cristalina BCC, su radio atómico es de $0,6552 \text{ nm}$ ($6,552 \times 10^{-7} \text{ mm}$) y una constante de red de $1,516 \text{ nm}$ ($15,156 \times 10^{-7} \text{ mm}$)

Nota: Se debe multiplicar $6,552 \times 10^{-7} \text{ mm}$ y $15,156 \times 10^{-7} \text{ mm}$ por 10^7 para convertir los nanómetros en milímetros y así poder realizar la estructura cristalina BCC en el software Solid Edge, ya que este software no maneja unidades en nanómetros sino en milímetros.

Calcular:

- El factor de empaquetamiento teórico validándolo de forma práctica en Solid Edge.
- Calcular las densidades volumétrica, lineal, planar teóricas de la estructura cristalina BCC, validando los resultados en Solid Edge. Para las densidades lineal y planar tener en cuenta el plano [100]

2.1 FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO TEORICO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

- Para calcular el factor de empaquetamiento teóricamente de la estructura cristalina BCC se utiliza la siguiente ecuación:

$$APF = \frac{\text{Volumen de atomos en la celda unidad BCC}}{\text{Volumen de la celda unidad BCC}} \quad (11)$$

Se determina el volumen de los átomos de la estructura cristalina BCC, tomándolos como esferas, el volumen de la esfera se multiplica por 2 ya que la estructura cristalina BCC tiene 2 átomos como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_{\text{atomo}} = \frac{4}{3} \pi R^3 (2) \quad (12)$$

Donde R = radio atómico

Se determina el volumen de la celda unidad de la estructura cristalina BCC. Con la ecuación:

$$V_{celdilla} = a^3 \quad (13)$$

Donde a = constante de red

Reemplazando datos se obtiene

$$V_{esfera} = \frac{4}{3}\pi (6,562 \text{ mm})^3 \quad (14)$$

$$V_{esfera} = 1183,3 \text{ mm}^3$$

Como la estructura cristalina BCC tiene 2 átomos se obtiene:

$$V_{atomo} = \frac{4}{3}\pi (6,562 \text{ mm})^3 (2) \quad (15)$$

$$V_{Atomo} = 2366,8 \times 10^{-18} \text{ mm}^3$$

Se determina el volumen de la celda unidad con la ecuación

$$V_{celdilla} = a^3 \quad (16)$$

Reemplazando datos se obtiene

$$V_{celdilla} = (15,156 \text{ mm})^3 \quad (17)$$

$$V_{celdilla} = 3481,9 \text{ mm}^3$$

Para calcular el factor de empaquetamiento se reemplazan los valores en la siguiente ecuación:

$$APF = \frac{\text{Volumen de atomos en la celda unidad BCC}}{\text{Volumen de la celda unidad BCC}} \quad (18)$$

$$APF = \frac{2366,8 \text{ mm}^3}{3481,9 \text{ mm}^3} \quad (19)$$

$$APF = 0,679 \sim 0,68$$

2.2 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR EL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Para validar el cálculo teórico del factor de empaquetamiento de manera práctica en el software Solid Edge se sigue el siguiente procedimiento:

- Se determina el volumen de los átomos de la estructura cristalina BCC, tomándolos como esferas y se multiplica por 2 ya que la estructura BCC tiene 2 átomos con la siguiente ecuación:

$$V_{\text{atomo}} = \frac{4}{3} \pi R^3(2) \quad (20)$$

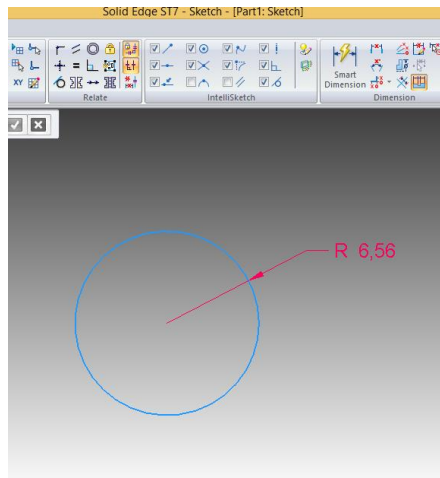
Anteriormente se halló el volumen de los átomos en la parte teórica, el resultado es $2,3663 \times 10^{-7} \text{ mm}^3$. Para validar este resultado en Solid Edge, primero se debe validar el volumen de un átomo o esfera de la siguiente manera:

- Dibujar una esfera de la estructura cristalina BCC, con el radio atómico determinado que es de $6,562 \text{ mm}$

Para dibujar la esfera en Solid Edge se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Dibujar un círculo de radio $6,562 \text{ mm}$ como se observa en la siguiente figura:

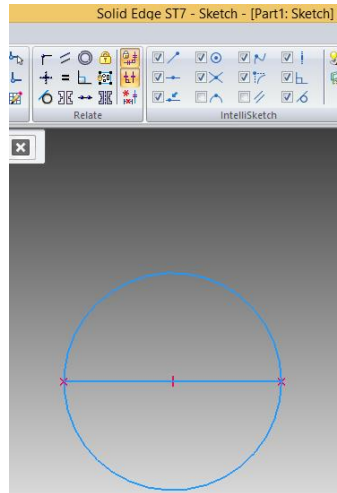
Figura 13. Dibujo del círculo con radio $6,567 \text{ mm}^3$



Fuente: El Autor

- Trazar una línea por la mitad del círculo como se aprecia en la siguiente figura.

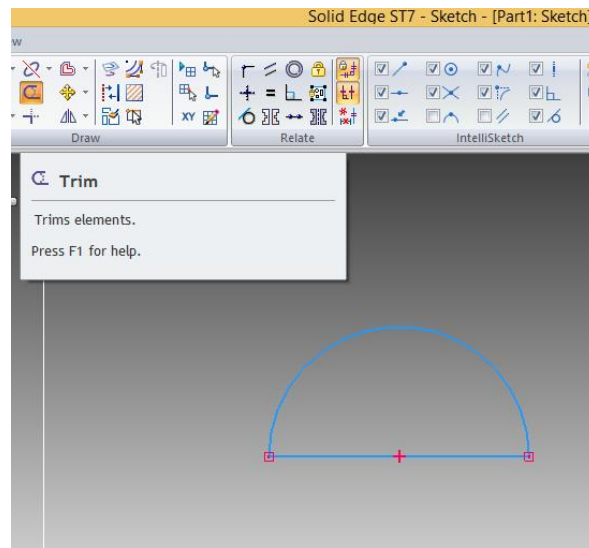
Figura 14. Trazo de la línea por la mitad del círculo



Fuente: El Autor

- Con la opción de recortar (*trim*), eliminar la parte inferior del círculo dando como resultado medio círculo como se observa en la siguiente figura.

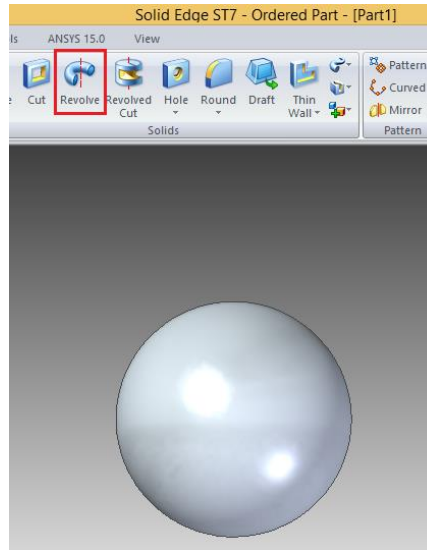
Figura 15. Aplicación de la opción recortar (*trim*)



Fuente: El Autor

- Con la opción de revolucionar (revolve), hacer una revolución de 360° al medio círculo, para que finalmente se obtenga la esfera como se muestra en la siguiente figura.

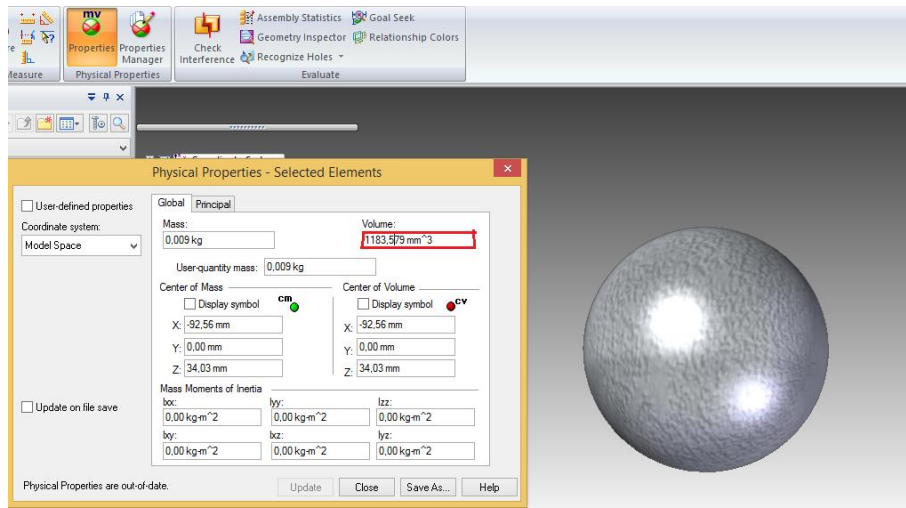
Figura 16. Dibujo de la esfera



Fuente: El Autor

- Abrir la esfera en el ambiente conjunto ISO, luego seleccionar la esfera, y hacer click en inspeccionar, enseguida hacer click en propiedades, aparece la ventana donde se observa el volumen de la esfera, como se observa en la siguiente figura.

Figura 17. Validación del volumen de la esfera

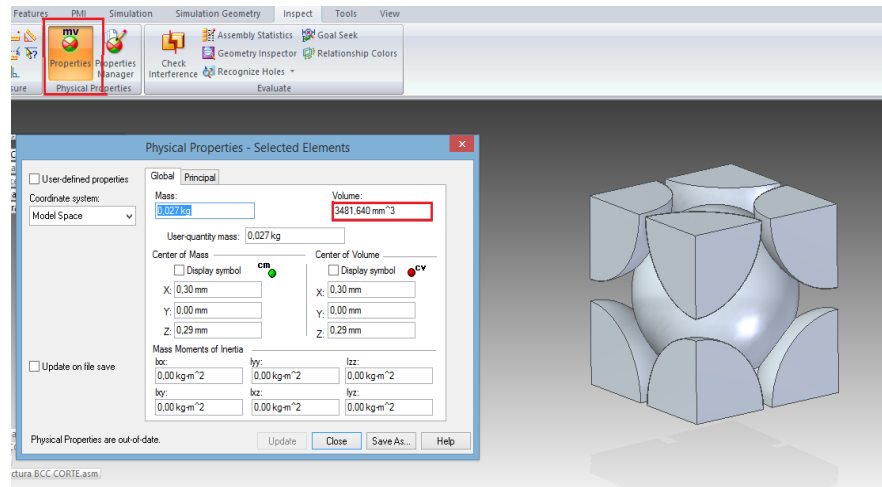


Fuente: El Autor

El volumen de la esfera es $1183,7 \text{ mm}^3$. Para calcular el volumen de los átomos se multiplica por 2 el valor del volumen resultante, ya que la estructura cristalina tiene dos átomos, dando como resultado $2366,3 \text{ mm}^3$.

Para validar el volumen de la celdilla unidad en el software Solid Edge, se abre el archivo de la estructura cristalina BCC en el ambiente conjunto ISO. Luego hacer click sobre la estructura, enseguida hacer click en inspeccionar y en propiedades, aparecerá la ventana de información que muestra el volumen de la celdilla unidad, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 18. Validación del volumen de la estructura cristalina BCC



Fuente: El Autor

Se puede observar que el volumen de la celda unidad es de $3481,4 \text{ mm}^3$

Finalmente para hallar el factor de empaquetamiento se divide el volumen de los átomos entre el volumen de la celda unidad.

$$APF = \frac{2366,3 \text{ mm}^3}{3486,4 \text{ mm}^3} \quad (21)$$

$$APF = 0,68$$

Para calcular las densidades volumétrica, lineal, planar, de la estructura cristalina BCC de manera práctica se utilizan las ecuaciones que se muestran en los siguientes numerales.

2.3 DENSIDAD VOLUMÉTRICA TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Para calcular la densidad volumétrica de la estructura cristalina BCC se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_V = \frac{\text{Masa celda unidad}}{\text{Volumen celda unidad}} \quad (22)$$

En la estructura cristalina BCC hay 2 átomos de hierro, cada átomo tiene una masa de $55,85 \text{ g/mol}$ / $4,137 \times 10^3 \text{ átomos/mol}$ entonces la masa del hierro de la celda unidad es:

$$m = \frac{(2 \text{ atomos})\left(\frac{55,85g}{mol}\right)}{\frac{4,137 \times 10^6 \text{ Atomos}}{mol}} \quad (23)$$

$$m = 2,5 \times 10^{-5} Mg = 0,025 kg$$

Por lo tanto, el volumen de la celda unidad es:

$$V = a^3 \quad (24)$$

Como el parámetro de red a es $15,156 \text{ mm}$ el volumen de la celda unidad es:

$$V = (15,156 \text{ mm})^3 \quad (25)$$

$$V = 3481,6 \text{ mm}^3$$

Entonces la densidad volumétrica queda de la siguiente manera

$$\rho_V = \frac{0,025kg}{3481,6 \text{ mm}^3} \quad (26)$$

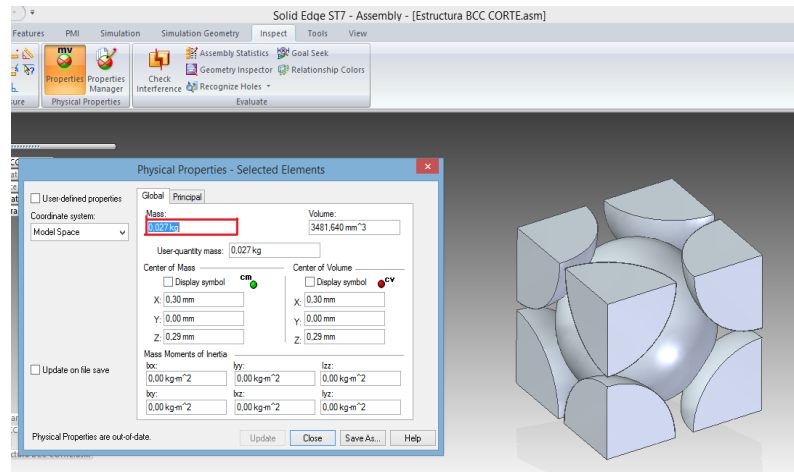
$$\rho_V = 7,18 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

2.4 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD VOLUMETRICA EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Para determinar la densidad volumétrica de forma práctica en el software Solid Edge se determina la masa y el volumen de la celdilla unidad BCC, con el siguiente procedimiento.

- Abrir la estructura cristalina BCC en el ambiente conjunto ISO, luego hacer click en inspeccionar y después click en propiedades, donde aparece la ventana de información que muestra la masa de la estructura cristalina, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 19. Validación Densidad Volumétrica (masa)

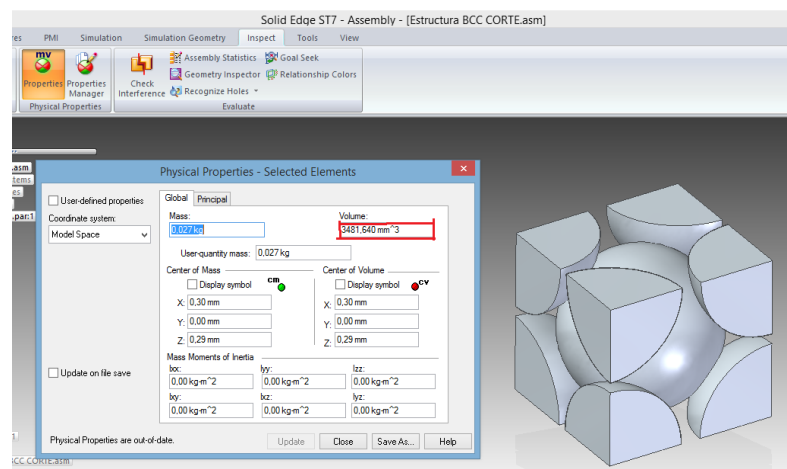


Fuente: El Autor

La masa de la estructura cristalina es de 0,027kg

Para determinar el volumen de la estructura BCC se realiza el mismo procedimiento del punto anterior con el que se halló el factor de empaquetamiento.

Figura 20. Validación Densidad Volumétrica (volumen)



Fuente: El Autor

El volumen de la estructura cristalina BCC es $3481,6 \text{ mm}^3$

Teniendo la masa y el volumen de la estructura cristalina BCC se halla la densidad volumétrica de la siguiente forma:

$$\rho_V = \frac{0,027 \text{ kg}}{3481,64 \text{ mm}^3} \quad (27)$$

$$\rho_V = 7,18 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

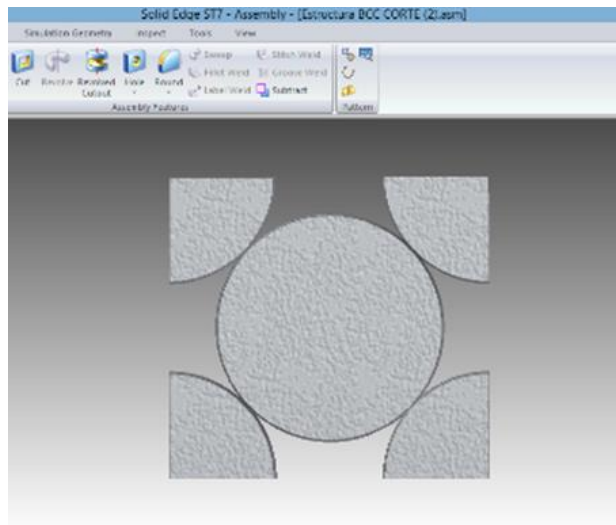
2.5 DENSIDAD PLANAR TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Para calcular la densidad planar de la estructura cristalina BCC se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_P = \frac{\text{Num Atomos del area selec}}{\text{Area seleccionada}} \quad (28)$$

El número de átomos del área seleccionada intersectada por el plano [100] son 1 átomo en el centro más 4 cuartos de átomo en los vértices del plano teniendo un total de 2 átomos como se observa en la siguiente figura:

Figura 21. Numero de átomos del área seleccionada



Fuente: El Autor

El área intersectada por el plano [100] es:

$$area = a \times a \quad (29)$$

Donde a = el parámetro de red

El parámetro de red es 15,156 mm y reemplazando valores se tiene:

$$area = 15,156 \times 15,156 \quad (30)$$

$$area = 2297 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, la densidad planar queda de la siguiente forma:

$$\rho_P = \frac{2 \text{ atomos}}{2297 \text{ mm}^2} \quad (31)$$

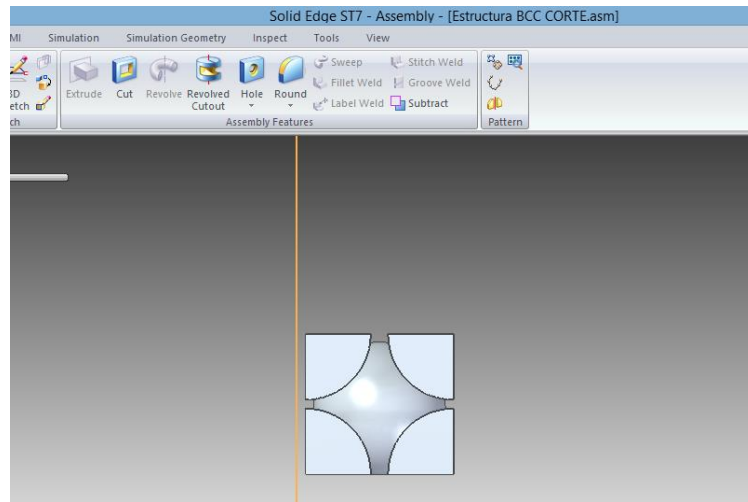
$$\rho_P = 8,70 \times 10^{-4} \text{ Atomos/mm}^2$$

2.6 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD PLANAR EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Para determinar la densidad planar de la estructura cristalina BCC en Solid Edge, se realiza un plano de corte a la estructura, teniendo en cuenta el plano [100]. Para realizar el plano de corte y su ubicación se sigue el siguiente procedimiento.

- La dirección del plano es [100]. Este plano se obtiene realizando un corte sobre la estructura cristalina BCC estando en el ambiente conjunto ISO del software Solid Edge. Para realizar el corte se selecciona el plano que se ubica al lado de la estructura cristalina, la línea vertical indica el plano de corte como se muestra en la siguiente figura:

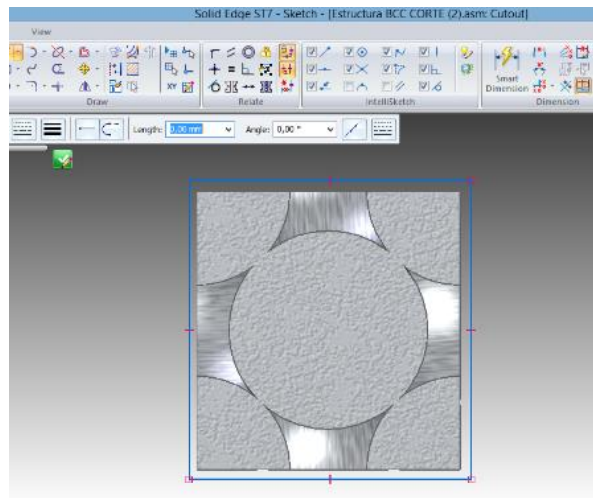
Figura 22. Selección del plano del corte



Fuente: El Autor

- Luego hacer click en la opción cortar, seleccionar el plano, y dibujar un cuadrado que cubra toda la estructura cristalina, como se muestra en la siguiente figura:

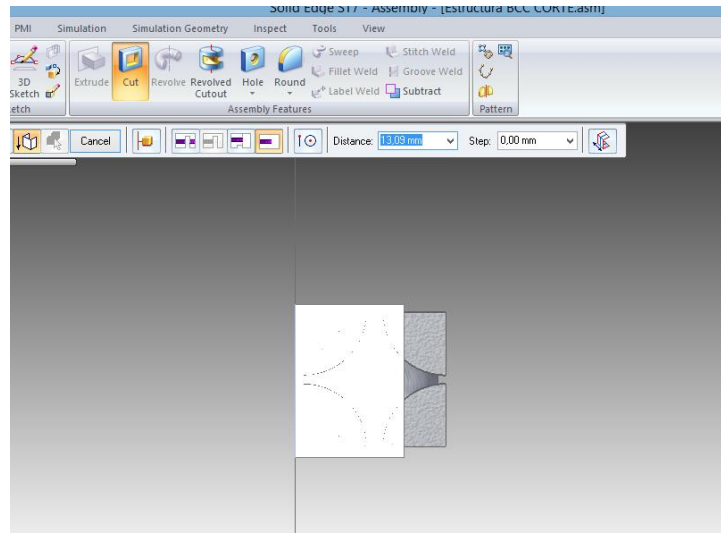
Figura 23. Opción cortar y dibujar un cuadrado que cubra toda la estructura



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto y realizar el plano de corte como se muestra en la siguiente figura

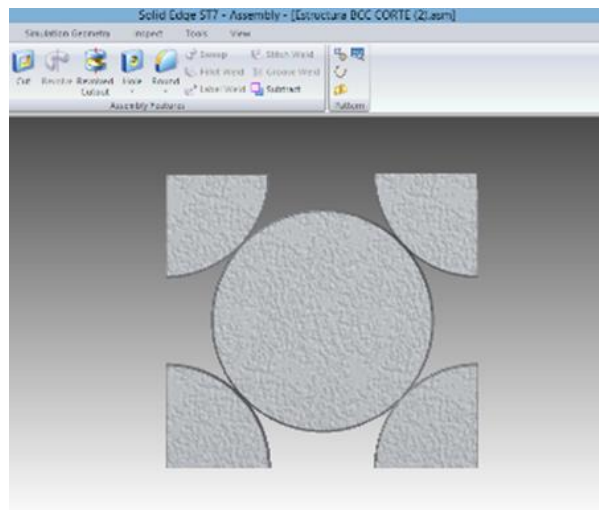
Figura 24. Ejecución del plano de corte



Fuente: El Autor

- Finalmente se obtiene el plano [100]. Por lo tanto, el plano de corte de la estructura cristalina BCC queda de la siguiente manera, como se observa en la siguiente figura.

Figura 25. Plano de corte de la estructura cristalina BCC



Fuente: El Autor

Para determinar el número de átomos del área seleccionada, es decir el área que se intersecta por el plano de corte realizado anteriormente, se tiene 1 átomo en el centro más $4 \times \frac{1}{4}$ de átomos en los vértices dando como resultado **2 átomos**.

Para determinar el área seleccionada, se halla el área de un cuadrado teniendo en cuenta que la dimensión de sus lados es la constante de red que es $15,156 \text{ mm}$

Con los resultados del número de átomos y el área, se puede calcular la densidad planar de la siguiente manera:

$$\rho_P = \frac{2 \text{ átomos}}{(15,156)^2} \quad (32)$$

$$\rho_P = 8,70 \times 10^{-3} \text{ Átomos/mm}^2$$

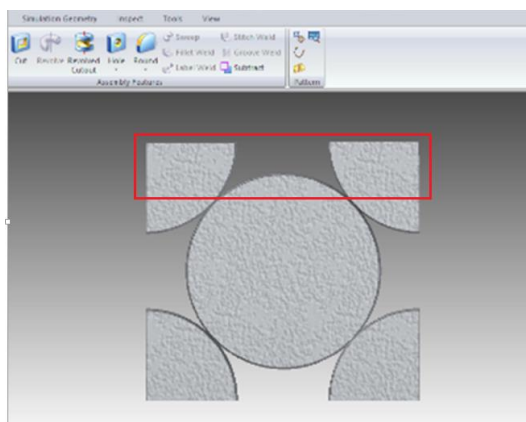
2.7 DENSIDAD LINEAL DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC EN SOLID EDGE

Para Calcular la densidad lineal de la estructura cristalina BCC se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_L = \frac{\text{Num atom inter por una long}}{\text{Long.linea seleccionada}} \quad (33)$$

El número de átomos que se intersectan con la longitud de línea seleccionada por el plano [100] son 2 cuartos de Átomo, es decir medio átomo. Como se observa en la siguiente figura.

Figura 26. Numero de átomos intersectados por la longitud

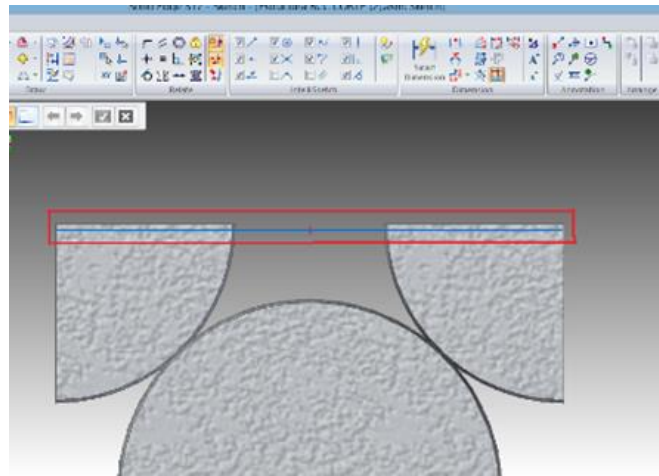


Fuente: El Autor

Para determinar la densidad lineal de la estructura cristalina BCC en Solid Edge, se realiza un plano de corte a la estructura, teniendo en cuenta el plano [100]. Para realizar el plano de corte y su ubicación se sigue el mismo procedimiento que se utilizó en la densidad planar.

Los átomos que se intersectan sobre la línea de longitud son 2 cuartos de átomo como se observa en la siguiente figura.

Figura 27. Validación de la densidad lineal (longitud)



Fuente: El Autor

Con los resultados del número de átomos, que es $\frac{1}{2}$ átomo y la longitud de la línea que es la misma constante de red $15,156 \text{ mm}$, se puede calcular la densidad lineal de la estructura cristalina BCC.

$$\rho_L = \frac{\frac{1}{2} \text{atomo}}{15,156 \text{ mm}} \quad (34)$$

$$\rho_L = 32,99 \times 10^{-3} \text{ atomos/mm}$$

3 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD DE ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Realizar la estructura cristalina FCC siguiendo el tutorial en Solid Edge teniendo en cuenta las dimensiones del radio atómico y la constante de red que se muestra en el siguiente ejemplo.

El Cobre es una estructura cristalina FCC, su radio atómico es de $0,7101 \text{ nm}$ ($7,1013 \times 10^{-7} \text{ mm}$) y una constante de red de $2,088 \text{ nm}$ ($20,088 \times 10^{-7} \text{ mm}$)

Nota: Se debe multiplicar $7,1013 \times 10^{-7} \text{ mm}$ y $20,088 \times 10^{-7} \text{ mm}$ por 10^7 para convertir los nanómetros a milímetros y así poder realizar la estructura cristalina FCC en el software Solid Edge, ya que este software no maneja unidades en nanómetros sino en milímetros.

Calcular:

- El factor de empaquetamiento teórico validándolo de forma práctica en Solid Edge.
- Calcular las densidades volumétrica, lineal, planar de la estructura cristalina FCC validando los resultados en Solid Edge. Para la densidad planar y lineal tener en cuenta el plano [100]

3.1 FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO TEORICO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

- Para calcular el factor de empaquetamiento teóricamente de la estructura se utiliza la siguiente ecuación:

$$APF = \frac{\text{Volumen de atomos en la celda unidad BCC}}{\text{Volumen de la celda unidad FCC}} \quad (35)$$

Se determina el volumen de los átomos de la estructura cristalina FCC, tomándolos como esferas y se multiplica por 4 ya que la estructura cristalina FCC tiene 4 átomos:

$$V_{\text{atomo}} = \frac{4}{3} \pi R^3 (4) \quad (36)$$

$$V_{\text{esfera}} = \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \right) \quad (37)$$

Donde R= radio atómico

Se determina el volumen de la celda unidad de la estructura FCC. Con la ecuación:

$$V_{celdilla} = a^3 \quad (38)$$

Donde a = constante de red

Reemplazando datos se obtiene

$$V_{esfera} = \frac{4}{3} \pi (7,1013)^3 \quad (39)$$

$$V_{esfera} = 1499,2 \text{ mm}^3$$

Como la estructura cristalina FCC tiene 4 átomos se obtiene:

$$V_{atomo} = \frac{4}{3} \pi (7,1013)^3 (4) \quad (40)$$

$$V_{Atomo} = 5999,1 \text{ mm}^3$$

Se determina el volumen de la celdilla unidad con la ecuación

$$V_{celdilla} = a^3 \quad (41)$$

Reemplazando datos se obtiene

$$V_{celdilla} = (20,088)^3 \quad (42)$$

$$V_{celdilla} = 8106,6 \text{ mm}^3$$

Para calcular el factor de empaquetamiento se reemplazan los valores en la siguiente ecuación:

$$APF = \frac{\text{Volumen de atomos en la celdilla unidad FCC}}{\text{Volumen de la celdilla unidad FCC}} \quad (43)$$

$$APF = \frac{5999,1}{8106,06} \quad (44)$$

$$APF = 0,739 \sim 0,74$$

3.2 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR EL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Para validar el cálculo teórico del factor de empaquetamiento de manera práctica en el software Solid Edge se sigue el siguiente procedimiento:

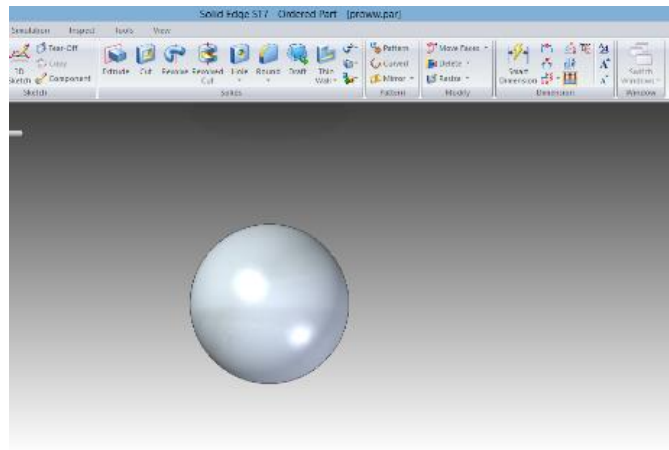
Se determina el volumen de los átomos de la estructura cristalina FCC, tomándolos como esferas con la ecuación:

$$V_{\text{atomo}} = \frac{4}{3} \pi R^3(4) \quad (45)$$

Como ya se halló el volumen de los átomos en la parte teórica el resultado es $5999,1 \text{ mm}^3$. Para validar este resultado en Solid Edge, primero se debe validar el volumen de un átomo o esfera. Así:

- Dibujar una esfera de la estructura FCC, con el radio atómico determinado que es de $7,1013 \text{ mm}$

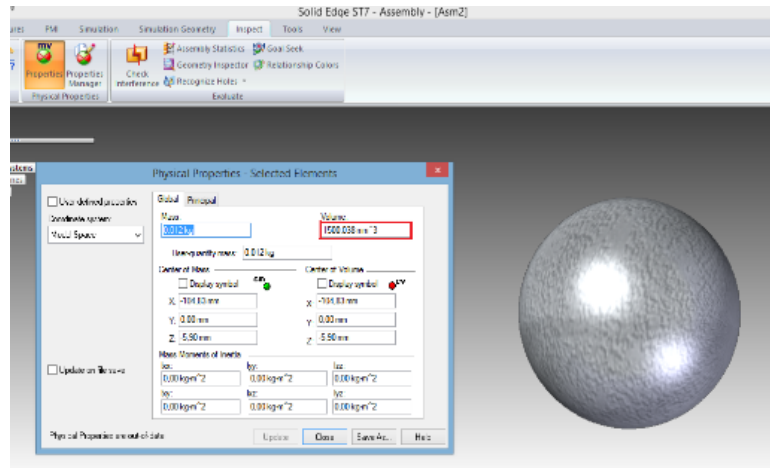
Figura 28. Dibujo de esfera



Fuente: El Autor

- Abrir la esfera en el ambiente conjunto ISO, luego seleccionar la esfera, y hacer click en inspeccionar, luego hacer click en propiedades, donde aparece la ventana en la que se observa el volumen de la esfera, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 29. Validación del volumen de la esfera

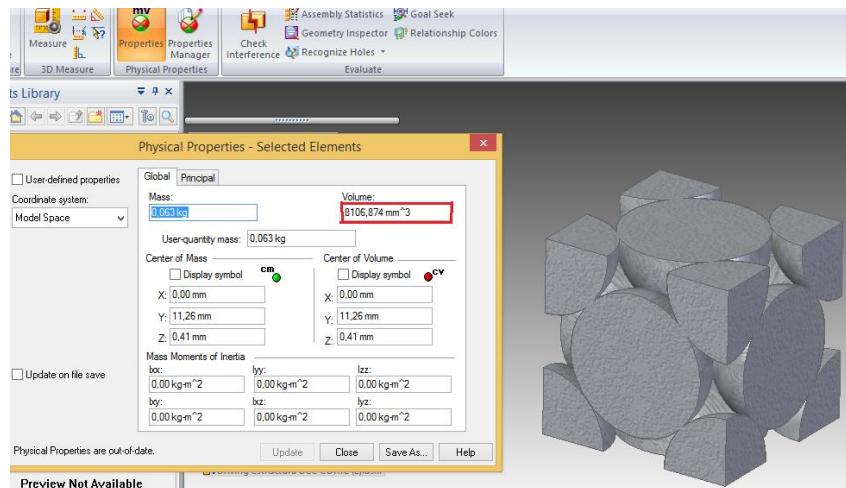


Fuente: El Autor

El volumen de la esfera es: $1503,8 \text{ mm}^3$. Para calcular el volumen de los átomos, el valor resultante de volumen se multiplica por 4, ya que la estructura cristalina tiene 4 átomos, dando como resultado $6002,45 \text{ mm}^3$.

Para validar el volumen de la celda unidad en el software Solid Edge, se abre el archivo de la estructura cristalina FCC (corte) en el ambiente conjunto ISO. Luego Hacer click sobre la estructura y luego hacer click en inspeccionar y en propiedades, aparecerá la ventana de información que muestra el volumen de la celdilla unidad, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 30. Validación del volumen de la estructura FCC



Fuente: El Autor

Se puede observar que el volumen de la celda unidad es de 8106 mm^3

Finalmente para hallar el factor de empaquetamiento se divide el volumen de los átomos entre el volumen de la celdilla unidad.

$$APF = \frac{6002,5}{8106,9} \quad (46)$$

$$APF = 0,74$$

Para calcular las densidades volumétrica, lineal, planar, de la estructura cristalina FCC de manera práctica se utilizan las ecuaciones que se muestran en los siguientes numerales.

3.3 DENSIDAD VOLUMÉTRICA TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Para determinar la densidad volumétrica de la estructura cristalina FCC se utiliza la siguiente ecuación

$$\rho_V = \frac{\text{Masa celdilla unidad}}{\text{Volumen celdilla unidad}} \quad (47)$$

En la estructura cristalina FCC hay 4 tomos, cada átomo de Cobre tiene una masa de 63,54 g/mol / 4,137x10³ átomos/mol entonces la masa del hierro de la celdilla unidad es:

$$m = \frac{(4 \text{ atomos}) \left(\frac{63,54g}{\text{mol}} \right)}{\frac{4,137 \times 10^7 \text{ Atomos}}{\text{mol}}} \quad (48)$$

$$m = 6,1 \times 10^{-5} \text{ Mg} = 0,061 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el volumen de la celdilla unidad es:

$$V = a^3 \quad (49)$$

Como el parámetro de red a es 15,156 mm el volumen de la celda unidad es:

$$V = (20,088)^3 \quad (50)$$

$$V = 8106,6 \text{ mm}^3$$

Entonces la densidad volumétrica queda de la siguiente manera

$$\rho_V = \frac{0,063 \text{ kg}}{8106,6 \text{ mm}^3} \quad (51)$$

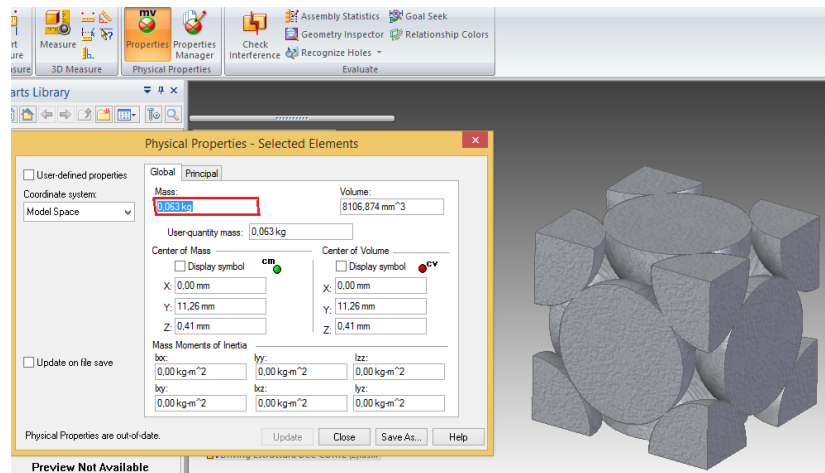
$$\rho_V = 7,78 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

3.4 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD VOLUMETRICA EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Para determinar la densidad volumétrica de la celda unidad FCC de manera práctica, se realiza el siguiente procedimiento en Solid Edge.

- Se abre la estructura cristalina FCC en el ambiente conjunto ISO, luego hacer click en inspeccionar y después click en propiedades, donde aparece la ventana de información que muestra la masa de la estructura, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 31. Validación de la densidad volumétrica (masa)

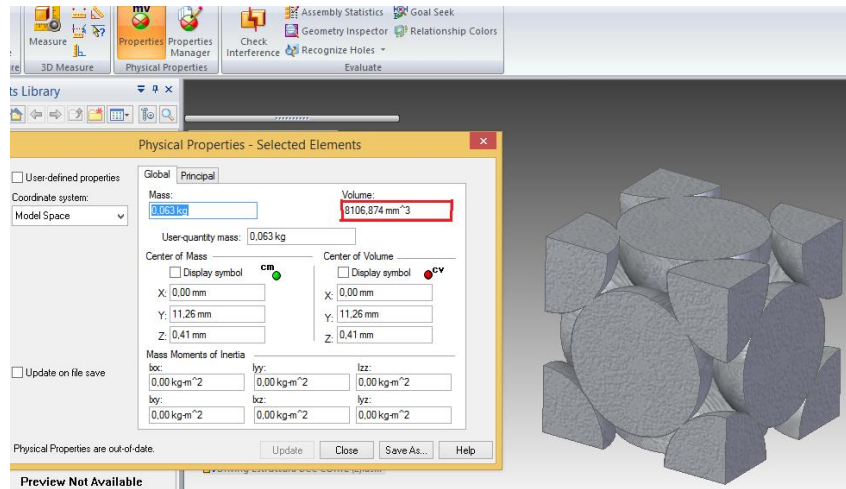


Fuente: El Autor

La masa de la estructura es de 0,064 kg

Para determinar el volumen de la estructura cristalina FCC se realiza el mismo procedimiento del punto anterior con el que se halló el factor de empaquetamiento

Figura 32. Validación densidad volumétrica (volumen)



Fuente: El Autor

El volumen de la estructura cristalina FCC es $8106,9 \text{ mm}^3$

Teniendo la masa y el volumen de la estructura cristalina FCC se halla la densidad volumétrica de la siguiente forma:

$$\rho_V = \frac{0,064 \text{ kg}}{8106,9 \text{ mm}^3} \quad (52)$$

$$\rho_V = 7,89 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

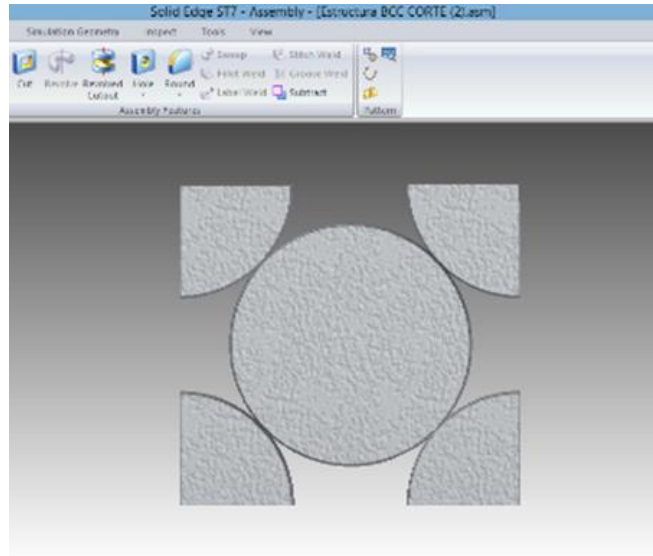
3.5 DENSIDAD PLANAR TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Para calcular la densidad planar de la estructura cristalina FCC se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_P = \frac{\text{Num Átomos del área selec}}{\text{Área seleccionada}} \quad (53)$$

El número de átomos del área seleccionada intersectada por el plano [100] son 1 átomo en el centro más 4 cuartos de átomo en los vértices del plano teniendo un total de 2 átomos como se muestra en la siguiente figura:

Figura 33. Numero de átomos de la estructura cristalina FCC



Fuente: El Autor

El área intersectada por el plano [100] es:

$$area = a \times a \quad (54)$$

Donde a = el parámetro de red

El parámetro de red es 20,088 mm y reemplazando valores se tiene:

$$area = 20,088 \times 20,088 \quad (55)$$

$$area = 4035,78 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, la densidad planar queda de la siguiente forma:

$$\rho_P = \frac{2 \text{ atomos}}{4,035,78 \text{ mm}^2} \quad (56)$$

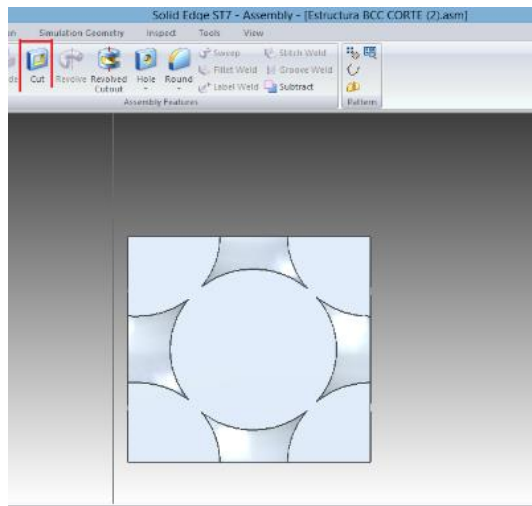
$$\rho_P = 9,91 \times 10^{15} \text{ Atomos/mm}^2$$

3.4 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD PLANAR EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Para determinar la densidad planar de la estructura cristalina FCC en Solid Edge, se realiza el plano de corte de dicha estructura, teniendo en cuenta el plano [100]. Para realizar el plano de corte y su ubicación se sigue el siguiente procedimiento.

- La dirección del plano es [100]. Este plano se obtiene realizando un corte de la estructura cristalina FCC estando en el ambiente conjunto ISO del software Solid Edge. Para realizar dicho corte se selecciona el plano que se ubica a un lado de la estructura cristalina, la línea vertical indica el plano de corte como se muestra en la siguiente figura:

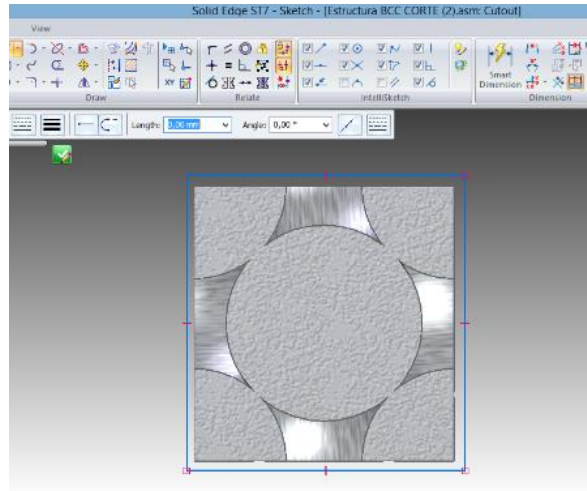
Figura 34. Plano de corte



Fuente: El Autor

- Luego hacer click en cortar, seleccionar el plano, y dibujar un cuadrado que cubra toda la estructura como se muestra en la siguiente figura:

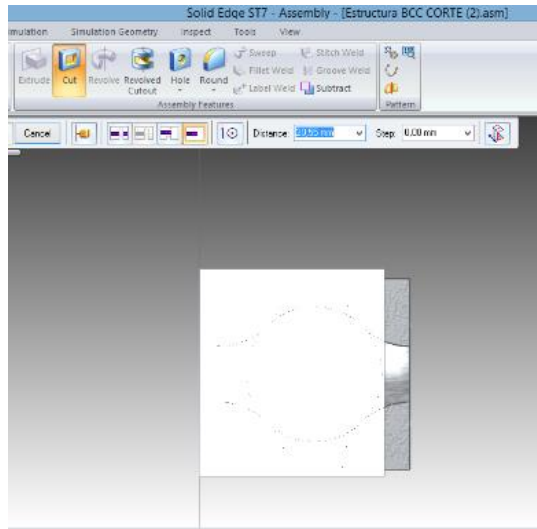
Figura 35. Dibujo del cuadrado alrededor de la estructura cristalina



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto y realizar el plano de corte como se muestra en la siguiente figura

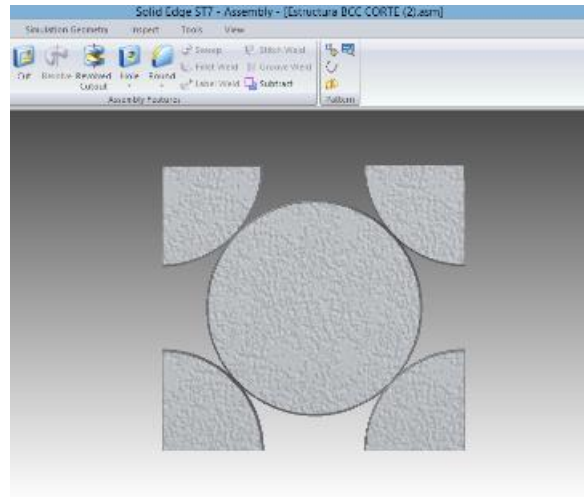
Figura 36. Plano de corte



Fuente: El Autor

- Finalmente se obtiene el plano [100]. Por lo tanto, el plano de corte de la estructura cristalina FCC queda de la siguiente manera como se muestra en la siguiente figura.

Figura 37. Plano de corte [100] de la estructura cristalina FCC



Fuente: El Autor

Para determinar el número de átomos del área seleccionada, es decir el área que se intersecta por el plano de corte realizado anteriormente. Se tiene 1 átomo en el centro más $4 \times \frac{1}{4}$ de átomos en los vértices dando como resultado **2 átomos**.

Para determinar el área seleccionada, se halla el área de un cuadrado teniendo en cuenta que la dimensión de sus lados es la constante de red que es $20,088 \times 10^{-7} \text{ mm}$

Con los resultados del número de átomos y el área, se puede calcular la densidad planar de la siguiente manera:

$$\rho_P = \frac{2 \text{ átomos}}{4035,78 \text{ mm}^2} \quad (57)$$

$$\rho_P = 9,91 \times 10^{-4} \text{ Átomos/mm}^2$$

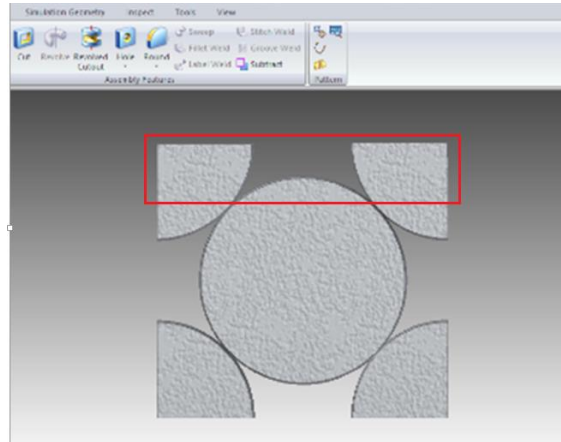
3.6 DENSIDAD LINEAL DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC EN SOLID EDGE

Para Calcular la densidad lineal de la estructura cristalina FCC se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_L = \frac{\text{Num atom inter por una long}}{\text{Long. línea seleccionada}} \quad (58)$$

El número de átomos que se intersectan con la longitud de línea seleccionada por el plano [100] son 2 cuartos de Átomo, es decir medio átomo. Como se observa en la siguiente figura.

Figura 38. Numero de átomos intersectados por la longitud de línea

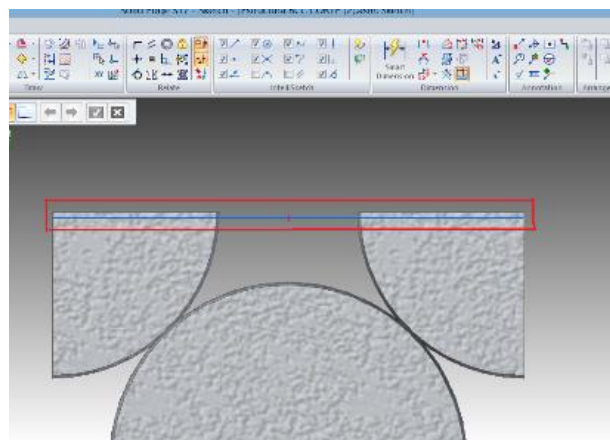


Fuente: El Autor

Para determinar la densidad lineal de la estructura cristalina FCC en Solid Edge, se realiza un plano de corte a la estructura, teniendo en cuenta el plano [100]. Para realizar el plano de corte y su ubicación se sigue el mismo procedimiento que se utilizó en la densidad planar.

Los átomos que se intersectan sobre la línea de longitud son 2 cuartos de átomo como se observa en la siguiente figura.

Figura 39. Validación de la densidad lineal (Longitud)



Fuente: El Autor

Con los resultados del número de átomos, que es $\frac{1}{2} \text{ átomo}$ y la longitud de la línea que es la misma constante de red $20,088 \text{ mm}$, se puede calcular la densidad lineal de la estructura Cristalina FCC.

$$\rho_L = \frac{\frac{1}{2} \text{ átomo}}{20,088 \text{ mm}} \quad (59)$$

$$\rho_L = 24,89 \times 10^{-3} \text{ átomos/mm}$$

4 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD DE ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Realizar la estructura cristalina HCP siguiendo el tutorial en Solid Edge teniendo en cuenta las dimensiones del radio atómico y la constante de red que se muestra en el siguiente ejemplo.

El Titanio es una estructura cristalina HCP, su radio atómico es de $0,650 \text{ nm}$ ($6,50 \times 10^{-7} \text{ mm}$) y una constante de red de $5,993 \text{ nm}$ ($59,93 \times 10^{-7} \text{ mm}$) y una altura de $2,406 \text{ nm}$ ($24,06 \times 10^{-7} \text{ mm}$)

Nota: Se debe multiplicar $6,50 \times 10^{-7} \text{ mm}$ y $59,93 \times 10^{-7} \text{ mm}$ por 10^7 para convertir los nanómetros en milímetros y así poder realizar la estructura cristalina HCP en el software Solid Edge, ya que este software no maneja unidades en nanómetros sino en milímetros.

Calcular:

- El factor de empaquetamiento teórico validándolo de forma práctica en Solid Edge.
- Calcular las densidades volumétrica, lineal, planar de la estructura HCP validando los resultados en Solid Edge, para la densidad planar y lineal ubicar el plano [100]

4.1 FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO TEORICO DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

- Para calcular el factor de empaquetamiento teóricamente de la estructura se utiliza la siguiente ecuación:

$$APF = \frac{\text{Volumen de atomos en la celdilla unidad HCP}}{\text{Volumen de la celdilla unidad HCP}} \quad (60)$$

Se determina el volumen de los átomos de la estructura cristalina HCP, tomándolos como esferas con la ecuación:

$$V_{HCP} = 3a^2 \text{sen}60^\circ c \quad (61)$$

Donde a = parámetro de red

c = altura de la estructura

$$V_{atomo} = \frac{4}{3} \pi R^3 (6) \quad (62)$$

$$V_{esfera} = \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \right) \quad (63)$$

Reemplazando datos se obtiene

$$V_{esfera} = \frac{4}{3} \pi (6,50)^3 \quad (64)$$

$$V_{esfera} = 1151,9 \text{ mm}^3$$

Como la estructura cristalina HCP tiene 6 átomos se obtiene:

$$V_{atomo} = \frac{4}{3} \pi (6,50)^3 (6) \quad (65)$$

$$V_{Atomo} = 6900,7 \times 10^{-18} \text{ mm}^3$$

Se determina el volumen de la celdilla unidad con la ecuación

$$V_{celdilla} = 3a^2 \text{sen}60^\circ c \quad (66)$$

Reemplazando datos se obtiene

$$V_{celdilla} = 3(59,93)^2 \text{sen}60(24,06) \quad (67)$$

$$V_{celdilla} = 9333,8 \text{ mm}^3$$

Para calcular el factor de empaquetamiento se reemplazan los valores en la siguiente ecuación:

$$APF = \frac{\text{Volumen de atomos en la celdilla unidad FCC}}{\text{Volumen de la celdilla unidad FCC}} \quad (68)$$

$$APF = \frac{6900,7}{9333,8} \quad (69)$$

$$APF = 0,739 \sim 0,74$$

4.2 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR EL FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Para validar el cálculo teórico del factor de empaquetamiento de manera práctica en el software Solid Edge se sigue el siguiente procedimiento:

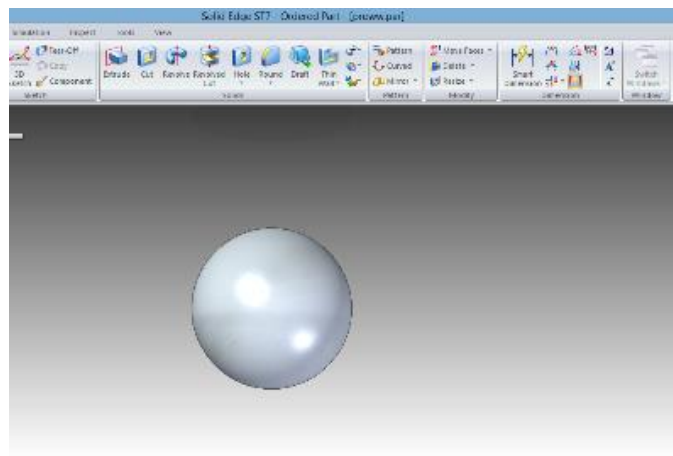
Se determina el volumen de los átomos de la estructura cristalina HCP, tomándolos como esferas y se multiplica por 6 ya que la estructura cristalina tiene 6 átomos con la ecuación:

$$V_{\text{atomo}} = \frac{4}{3} \pi R^3(6) \quad (70)$$

Como ya se halló el volumen de los átomos en la parte teórica el resultado es $6,9008 \times 10^{-18} \text{ mm}^3$. Para validar este resultado en Solid Edge, primero se debe validar el volumen de un átomo o esfera. Así:

- Dibujar una esfera de la estructura HCP, con el radio atómico determinado que es de 6,50 mm

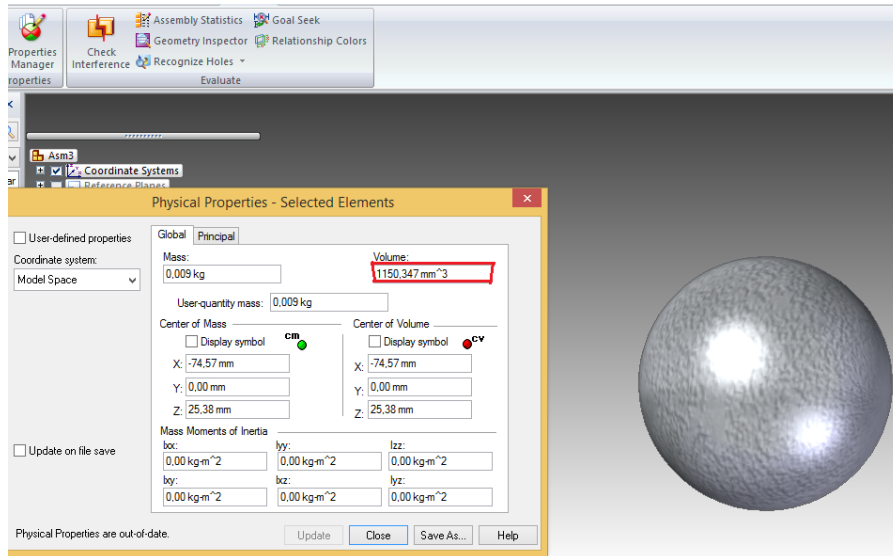
Figura 40. Dibujo de la esfera



Fuente: El Autor

- Abrir la esfera en el ambiente conjunto ISO, luego seleccionar la esfera, y hacer click en inspeccionar, y luego click en propiedades, se selecciona el material, aparece la ventana donde se observa el volumen de la esfera, como se observa en la siguiente figura

Figura 41. Validación del volumen de la esfera

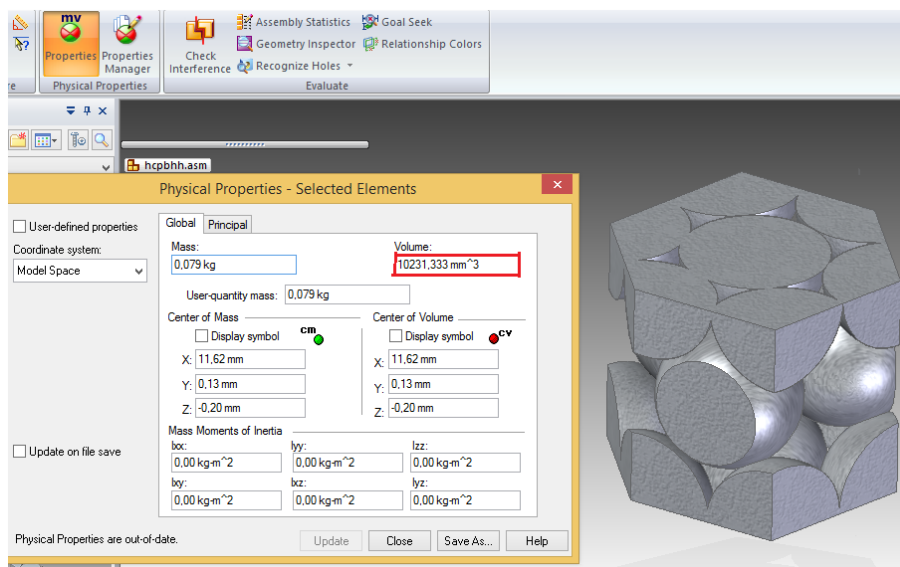


Fuente: El Autor

El volumen de la esfera es: $1150,7 \text{ mm}^3$. Para el volumen de los átomos, este valor se multiplica por 6, ya que la estructura cristalina HCP tiene 6 átomos dando como resultado $6900,5 \text{ mm}^3$.

Para validar el volumen de la celdilla unidad en el software Solid Edge, se abre el archivo de la estructura cristalina HCP (corte) en el ambiente conjunto ISO. Luego hacer click sobre la estructura y luego hacer click en inspeccionar, y en propiedades, aparecerá la ventana de información que muestra el volumen de la celdilla unidad, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 42. Validación del volumen de la estructura HCP



Fuente: El Autor

Se puede observar que el volumen de la celda unidad es de $10233,65 \text{ mm}^3$

Finalmente para hallar el factor de empaquetamiento se divide el volumen de los átomos entre el volumen de la celda unidad.

$$APF = \frac{6907,7}{1023,3} \quad (71)$$

$$APF = 0,74$$

Para calcular las densidades volumétrica, lineal, planar, de la estructura cristalina HCP de manera práctica se utilizan las ecuaciones que se muestran en los siguientes numerales.

4.3 DENSIDAD VOLUMÉTRICA TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Para determinar la densidad volumétrica de la estructura cristalina HCP se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_v = \frac{\text{Masa celdilla unidad}}{\text{Volumen celdilla unidad}} \quad (72)$$

Como en la Estructura Cristalina HCP hay 6 átomos, cada átomo de Titanio tiene una masa de $47,86 \text{ g/mol} / 4,137 \times 10^3 \text{ átomos/mol}$ entonces la masa del hierro de la celdilla unidad es:

$$m = \frac{(6 \text{ átomos}) \left(\frac{47,86 \text{ g}}{\text{mol}} \right)}{\frac{4,137 \times 10^3 \text{ Átomos}}{\text{mol}}} \quad (73)$$

$$m = 7,7 \times 10^{-5} \text{ Mg} = 0,077 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el volumen de la celdilla unidad es:

$$V = a^3 \quad (74)$$

Como el parámetro de red a es $15,156 \text{ mm}$ el volumen de la celda unidad es:

$$V = (15,156)^3 \quad (75)$$

$$V = 1023,98 \text{ mm}^3$$

Entonces la densidad volumétrica queda de la siguiente manera

$$\rho_V = \frac{0,079 \text{ kg}}{1023,58 \text{ mm}^3} \quad (76)$$

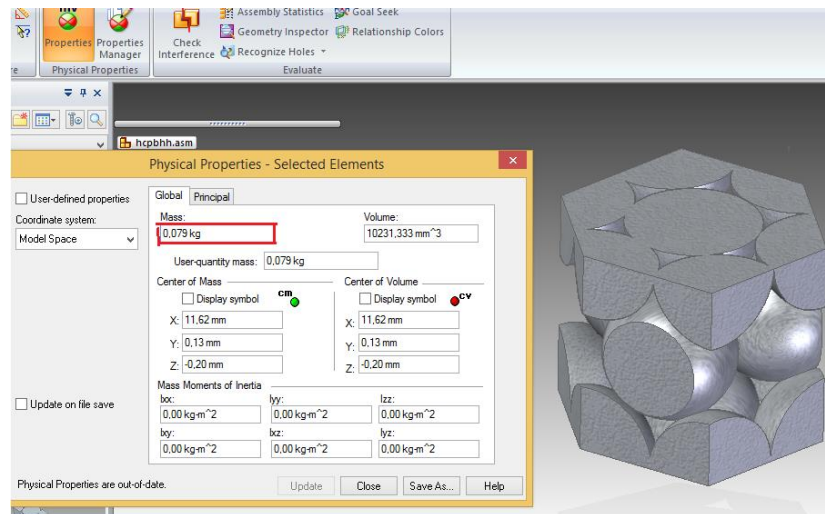
$$\rho_V = 7,71 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^3$$

4.4 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD VOLUMETRICA EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Para determinar densidad volumétrica de la Estructura HCP primero se determina la masa de la celda unidad HCP con el siguiente procedimiento en Solid Edge.

- Se abre la estructura HCP en el ambiente conjunto ISO, luego hacer click en inspeccionar, y después click en propiedades donde aparece la ventana de información que muestra la masa de la estructura, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 43. Validación de la densidad volumétrica (masa)

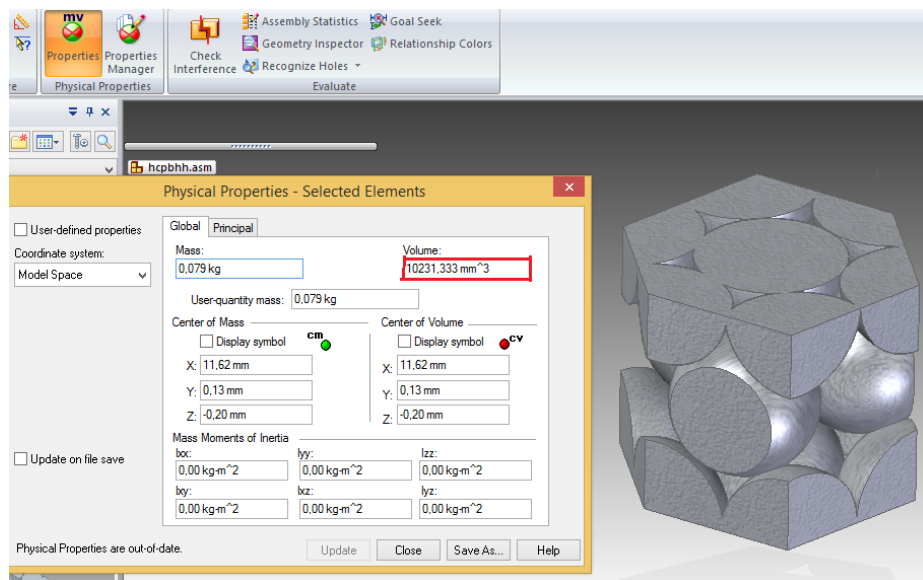


Fuente: El Autor

La masa de la estructura es de 0,079kg

Para determinar el volumen de la estructura cristalina HCP se realiza el mismo procedimiento del punto anterior con el que se halló el factor de empaquetamiento.

Figura 44. Validación densidad volumétrica (volumen)



Fuente: El Autor

El volumen de la estructura cristalina HCP es $10233,65 \text{ mm}^3$

Teniendo la masa y el volumen de la estructura HCP se halla la densidad Volumétrica de la siguiente forma:

$$\rho_V = \frac{0,079 \text{ kg}}{1,02333 \times 10^{-18} \text{ mm}^3} \quad (77)$$

$$\rho_V = 7,82 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^3$$

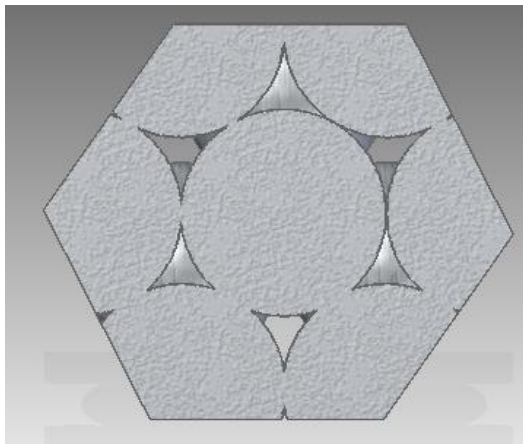
4.5 DENSIDAD PLANAR TEORICA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Para determinar la densidad planar de la estructura cristalina HCP se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_P = \frac{\text{Num Atomos del area selec}}{\text{Area seleccionada}} \quad (78)$$

Para determinar el número de átomos del área seleccionada, es decir el área que se intersecta por el plano de corte realizado anteriormente, se tiene 1 átomo en el centro más $6 \times 1/6$ (seis sextos) de átomos en los vértices dando como resultado **2 átomos** como se muestra en la siguiente figura

Figura 45. Numero de átomos de la estructura cristalina HCP



Fuente: El Autor

El área intersectada por el plano [100] es:

$$area = a \times a \quad (79)$$

Donde a = el parámetro de red

El parámetro de red es $59,85 \times 10^{-7} mm$ y reemplazando valores se tiene:

$$area = 3 \times L \times ap \quad (80)$$

Donde L = longitud de los lados

Ap = Apotema

Reemplazando valores se tiene

$$Area = 3 \times 59,85 \times 15,17 \quad (81)$$

$$area = 2723 mm^2$$

Por lo tanto, la densidad planar queda de la siguiente forma:

$$\rho_P = \frac{2 \text{ atomos}}{2723 mm^2} \quad (82)$$

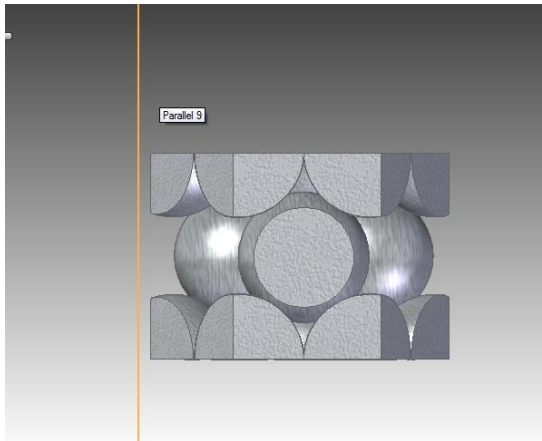
$$\rho_P = 7,34 \times 10^{-4} \text{ Atomos}/mm^2$$

4.6 PROCEDIMIENTO PARA VALIDAR LA DENSIDAD PLANAR EN SOLID EDGE DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Para determinar la densidad planar de la estructura cristalina HCP en Solid Edge, se realiza el plano de corte de dicha estructura, teniendo en cuenta el plano [100]. Para realizar el plano de corte y su ubicación se sigue el siguiente procedimiento.

- La dirección del plano es [100]. Este plano se obtiene realizando un corte de la estructura cristalina estando en el ambiente conjunto ISO del software Solid Edge. Para realizar el corte se selecciona el plano que se ubica a un lado de la estructura cristalina, la línea vertical indica el plano de corte como se muestra en la siguiente figura:

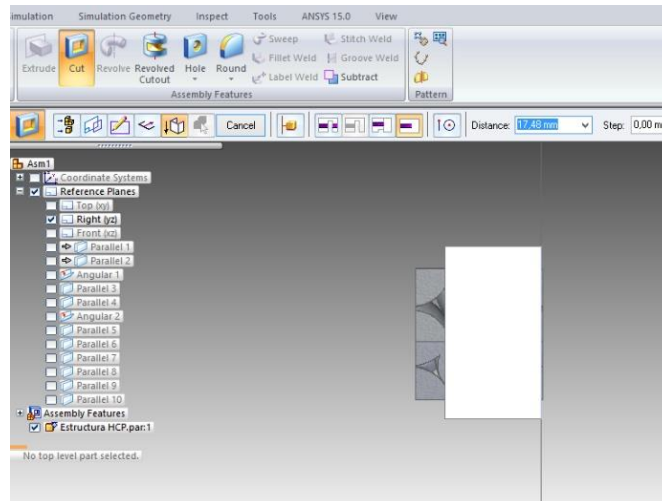
Figura 46. Selección del plano de corte



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto y realizar el plano de corte como se muestra en la siguiente figura

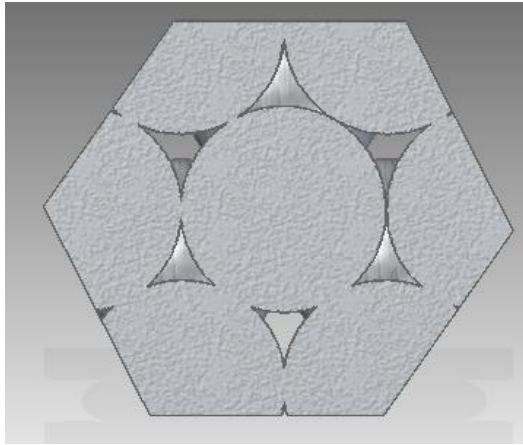
Figura 47. Plano de corte



Fuente: El Autor

Finalmente se obtiene el plano [100]. Por lo tanto el plano de corte de la estructura cristalina HCP y queda de la siguiente manera, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 48. Plano [100]



Fuente: El Autor

Con los resultados del número de átomos y el área, se puede calcular la densidad planar de la siguiente manera:

$$\rho_P = \frac{2 \text{ atomos}}{(272,3)^2} \quad (83)$$

$$\rho_P = 7,34 \times 10^{-4} \text{ kg/mm}^3$$

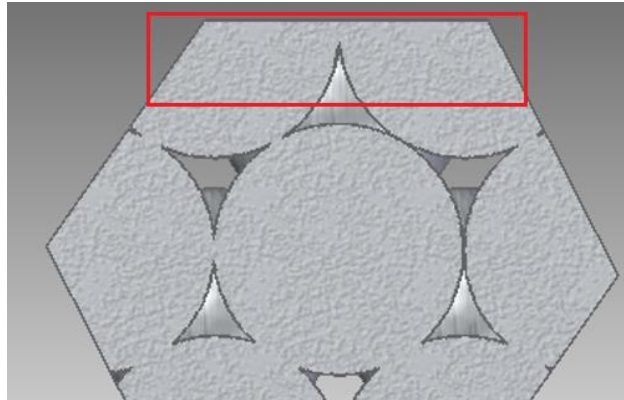
4.7 DENSIDAD LINEAL DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP EN SOLID EDGE

Para determinar la densidad lineal de la estructura cristalina HCP se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_L = \frac{\text{Num atom inter por una long}}{\text{Long.línea seleccionada}} \quad (84)$$

El número de átomos que se intersectan con la longitud de línea seleccionada por el plano [100] son 2 sextos de átomo como se aprecia en la siguiente figura.

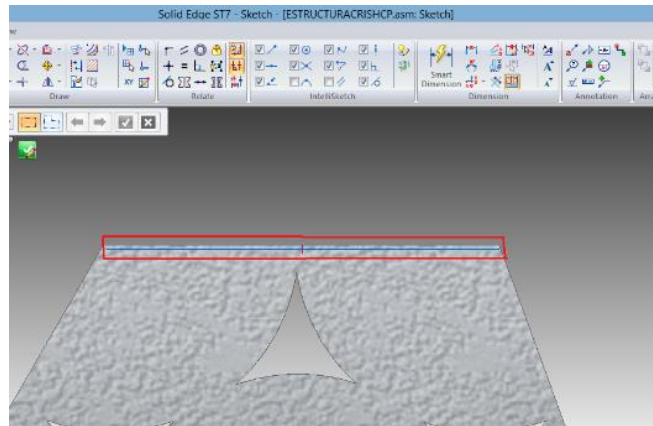
Figura 49. Numero de átomos intersectados por la longitud de línea



Fuente: El Autor

Para determinar la densidad lineal de la estructura cristalina HCP en Solid Edge, se realiza un plano de corte a la estructura, teniendo en cuenta el plano [100]. Para realizar el plano de corte y su ubicación se sigue el mismo procedimiento que se utilizó en la densidad planar.

Figura 50. Validación densidad lineal (Longitud)



Fuente: El Autor

Con los resultados del número de átomos, que es 2 sextos de átomos y la longitud de la línea que es la misma constante de red $59,93 \text{ mm}$, se puede calcular la densidad lineal de la estructura cristalina HCP.

$$\rho_L = \frac{2 \times \frac{1}{6} \text{atomo}}{59,96 \text{mm}} \quad (85)$$

$$\rho_L = 55,13 \times 10^{-3} \text{ atomos/mm}$$

5 ACTIVIDAD DIDACTICA

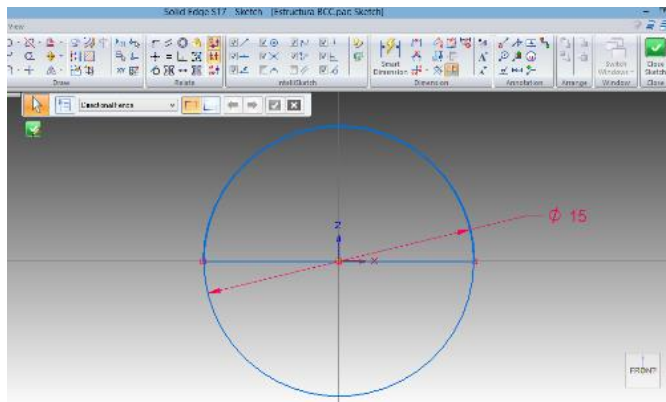
La actividad didáctica consiste en realizar las estructuras cristalinas BCC, FCC, HCP siguiendo los tutoriales correspondientes para cada una. De igual manera se pretende validar el factor de empaquetamiento de cada estructura cristalina, como también la densidad volumétrica, planar, y lineal. A continuación se muestran los tutoriales

5.1 TUTORIAL ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Para realizar la estructura cristalina BCC en el software Solid Edge se deben seguir los siguientes pasos:

- Se dibuja un círculo de diámetro D, teniendo en cuenta que su centro se ubique en la intersección de los dos planos, como se muestra en la siguiente figura

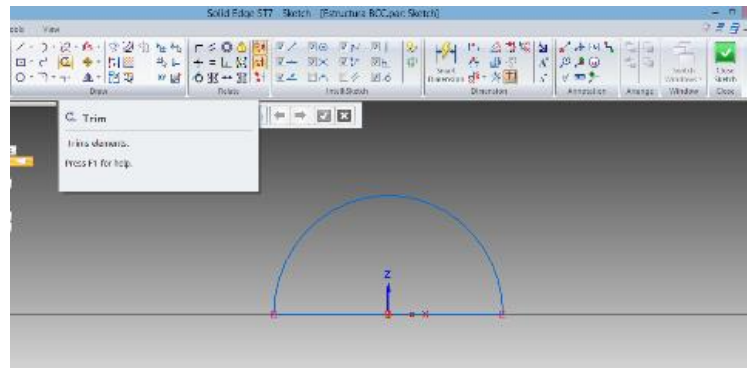
Figura 51. Dibujo de círculo de diámetro D



Fuente: El Autor

- Trazar una línea que corte el círculo por la mitad, luego con la opción de recortar, cortar la parte inferior del círculo, dando como resultado un semicírculo como se muestra en la siguiente figura.

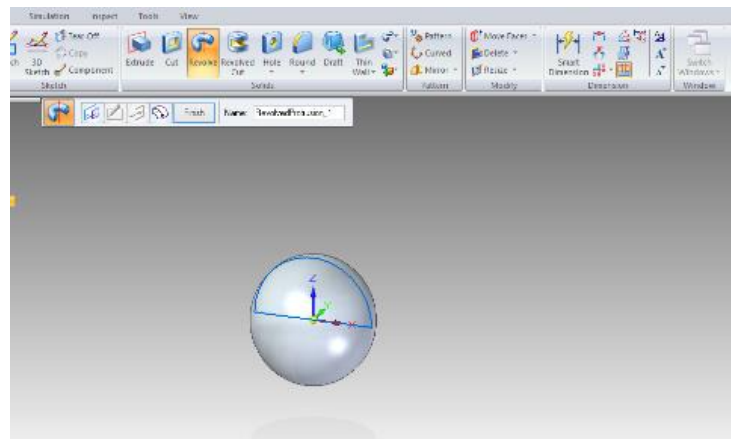
Figura 52. Dibujo del semicírculo



Fuente: El Autor

- Luego, cerrar el boceto, con la opción de revolución, seleccionar el boceto para revolucionarlo 360° dando como resultado una esfera, la cual representa el átomo que va en el centro de la estructura BCC. Como se observa en la siguiente figura

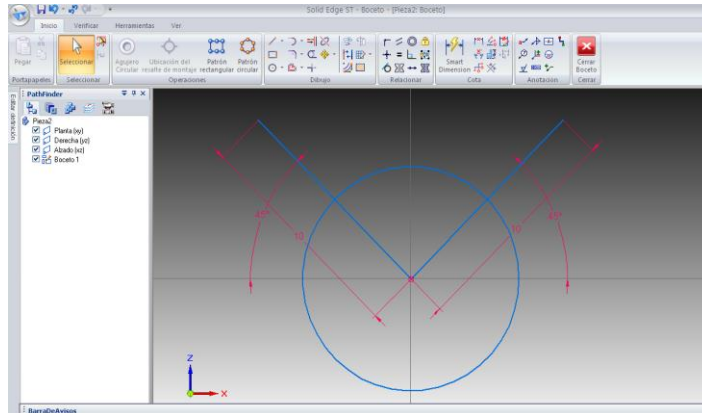
Figura 53. Revolución de la esfera



Fuente: El Autor

- Hacer un plano paralelo al plano original cuya distancia sea el radio del círculo, sobre el plano paralelo dibujar dos líneas que tengan su punto de origen en el centro del círculo, estas líneas deben tener una longitud del diámetro D del círculo, y deben ir a 45°, como se muestra en la siguiente figura.

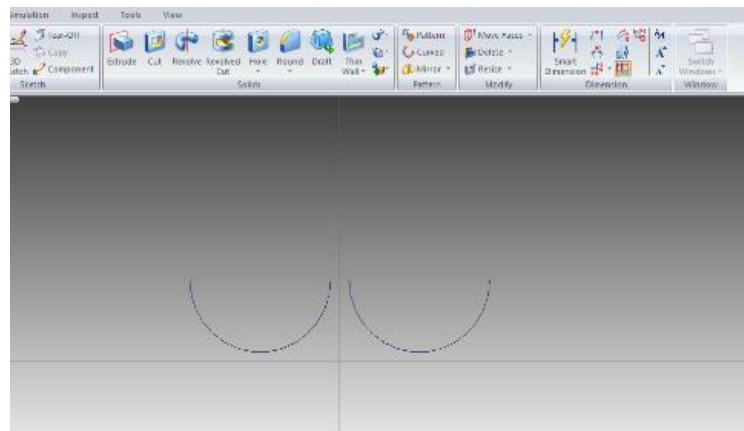
Figura 54. Dibujo de las dos líneas a 45°



Fuente: El Autor

- Realizar los círculos correspondientes, teniendo en cuenta que su centro se ubique en la parte final de las líneas previamente trazadas, luego aplicar el paso 2 para que finalmente queden dos semicírculos como se aprecia en la siguiente figura

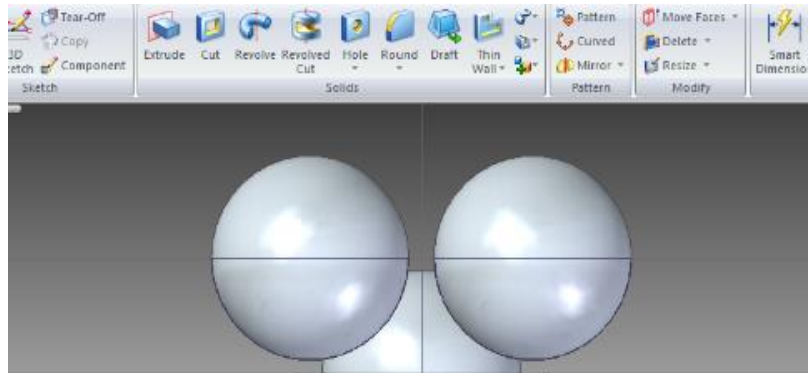
Figura 55. Dibujo de los dos semicírculos



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto y revolucionar los semicírculos para que la estructura quede de la siguiente manera como se observa en la siguiente figura.

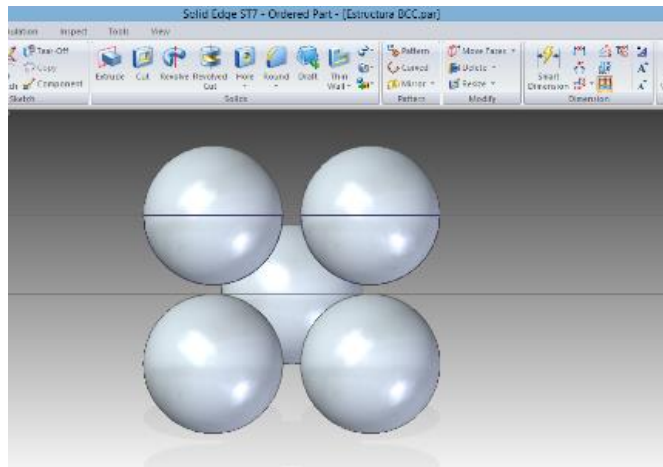
Figura 56. Revolución de los círculos



Fuente: El Autor

- Se realiza una simetría de las dos esferas hacia la parte inferior, esto se debe realizar con un plano paralelo a una distancia del radio de la esfera, se seleccionan las dos esferas y se realiza el procedimiento de la simetría para que quede de la siguiente forma como se observa en la siguiente figura.

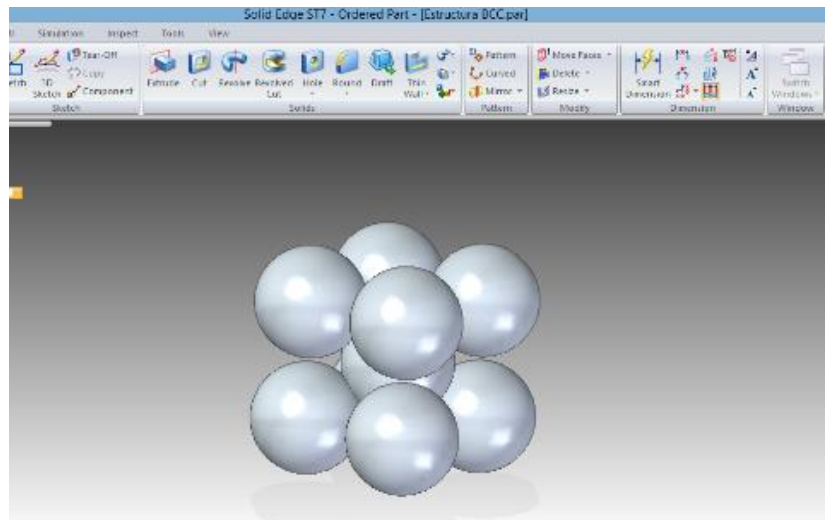
Figura 57. Proceso de simetría



Fuente: El Autor

- Nuevamente se realiza una simetría, esta vez se seleccionan las 4 esferas previamente realizadas, se aplica la opción de plano paralelo, a una distancia del radio de la esfera, de tal manera que finalmente la estructura cristalina BCC queda de la siguiente manera, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 58. Proceso de simetría y resultado de la estructura cristalina BCC



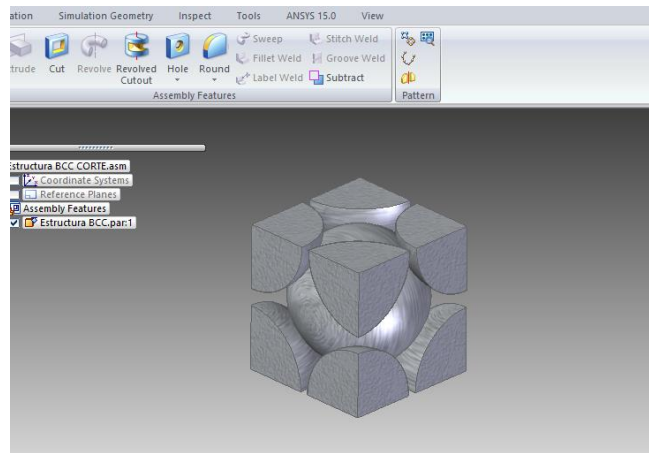
Fuente: El Autor

5.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CORTES A LA ESTRUCTURA CRISTALINA BCC

Para llevar a cabo el factor de empaquetamiento en Solid Edge se deben realizar los cortes de la estructura correspondientes, como se mencionan a continuación.

- Abrir Solid Edge en el ambiente conjunto ISO
- Extraer y pegar la estructura realizada
- Hacer clic en la opción corte y ubicarse en el plano de la primera cara donde se quiera realizar el corte (asegurarse que el plano de corte sea tangente a las caras de la estructura)
- Se dibuja un rectángulo que cubra la pieza y luego se asigna la distancia del radio de la esfera para cortar la mitad, se pone aceptar y el corte queda realizado
- Se aplica el mismo procedimiento para los cortes de las demás caras

Figura 59. Estructura BCC cortada



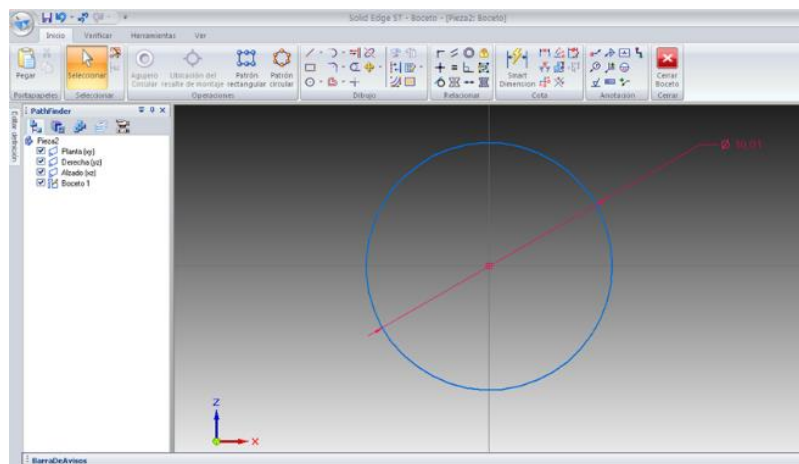
Fuente: El Autor

5.3 TUTORIAL ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Para poder realizar una estructura cristalina FCC en Solid Edge se deben seguir los siguientes pasos:

- Realizar un boceto en el cual se incorporan las esferas que representan los átomos, los cuales formarán la estructura cristalina; para llevar a cabo esto se dibuja un círculo de un diámetro D teniendo en cuenta que su centro se ubique en el punto de intersección de los planos, como se aprecia en la siguiente figura.

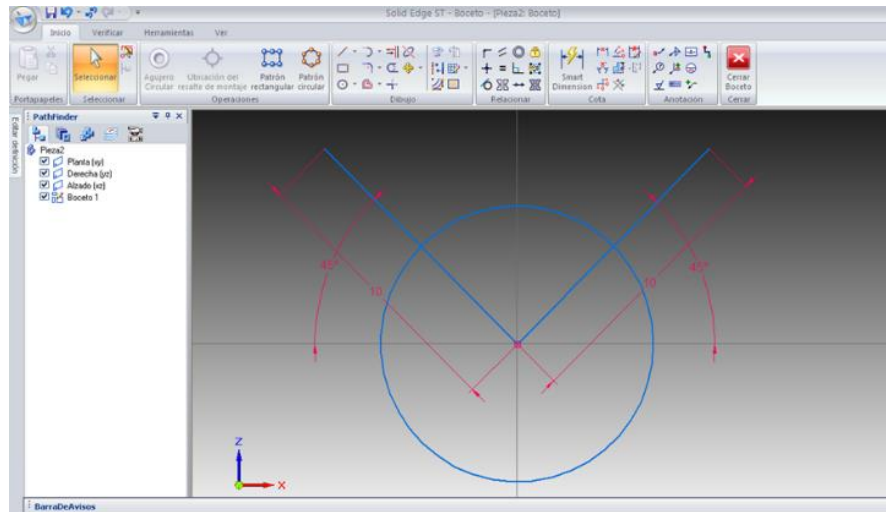
Figura 60. Dibujo del círculo D



Fuente: El Autor

- Dibujar 2 líneas que tengan su punto de origen en el centro del círculo ya dibujado; y su punto final a la distancia del diámetro D que se haya tomado, estas líneas deben estar a 45° del eje horizontal del plano, como se muestra en la siguiente figura.

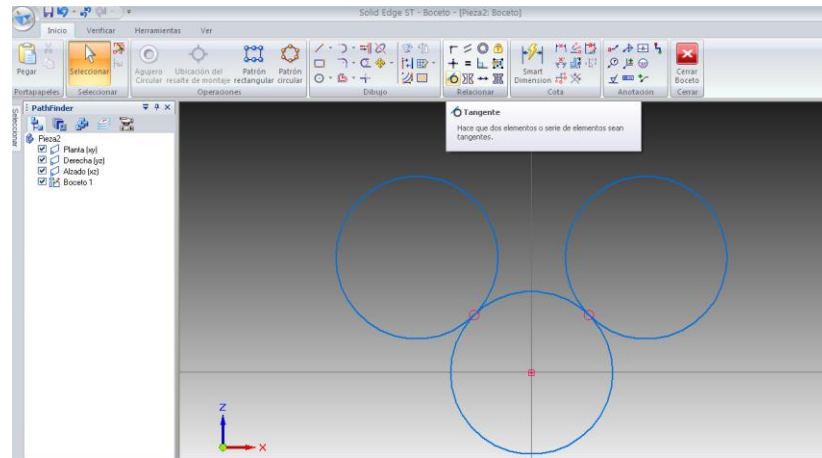
Figura 61. Dibujo de las dos líneas a 45°



Fuente: el Autor

- Dibujar los 2 círculos del diámetro D escogido para el primer círculo, cuyos centros se ubiquen en los puntos finales de cada línea, y asegurarse que cada uno de los 2 círculos queden tangentes al círculo central, esto se logra con la opción de tangencia, así se tienen 3 círculos los cuales van a ser los átomos de una cara de la estructura cristalina como se observa en la siguiente figura.

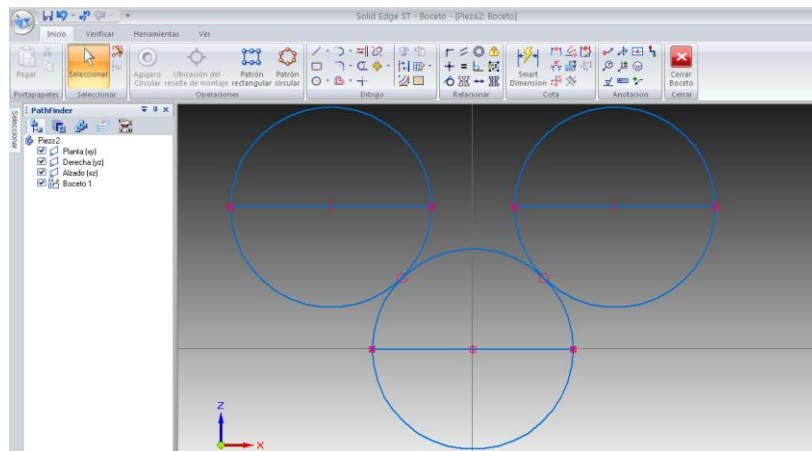
Figura 62. Dibujo de los dos círculos tangentes



Fuente: El Autor

- Dibujar líneas horizontales que atraviesen la parte media de los círculos formando 2 medias lunas en cada uno de los 3 círculos como se muestra en la siguiente figura.

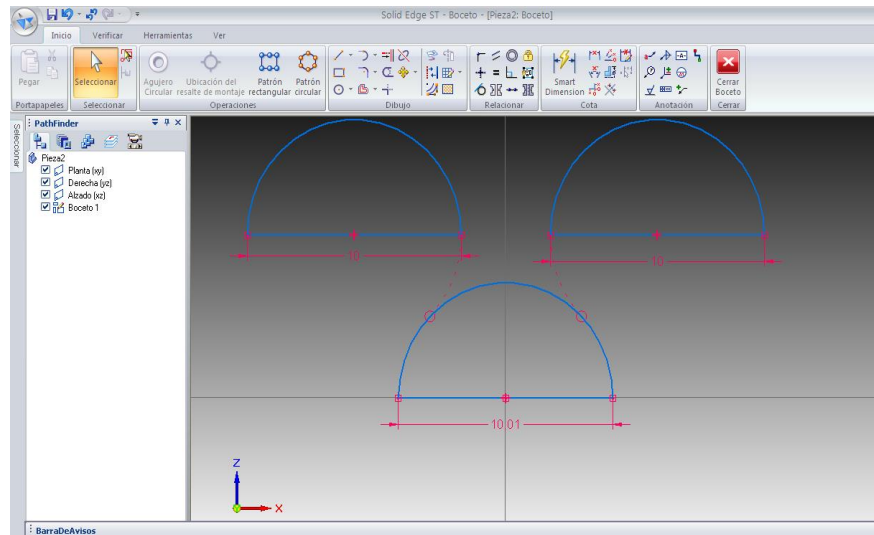
Figura 63. Dibujo de las líneas horizontales



Fuente: El Autor

- Con la opción recortar elementos, se elimina la parte inferior de cada uno de los círculos formando 3 medias lunas, acotar los diámetros de las medias lunas como se aprecia en la siguiente figura.

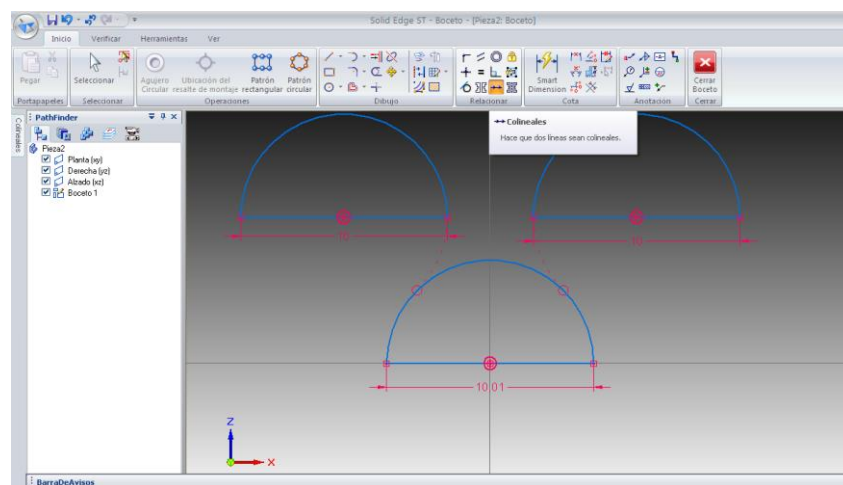
Figura 64. Dibujo de las medias circunferencias



Fuente: El Autor

- Aplicar la opción de colinealidad en las 2 medias circunferencias ubicadas en los extremos, de igual manera con la media circunferencia del centro la cual es colineal con el eje horizontal como se observa en la siguiente figura.

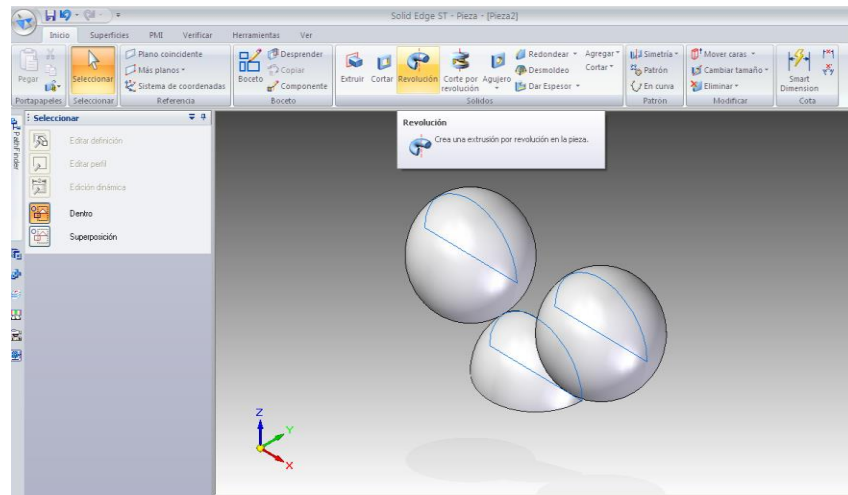
Figura 65. Uso de la opción de colinealidad



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto, revolucionar las 2 medias circunferencias externas a 360°, y la media circunferencia del centro se revolucionara 90°, como se observa en la siguiente figura.

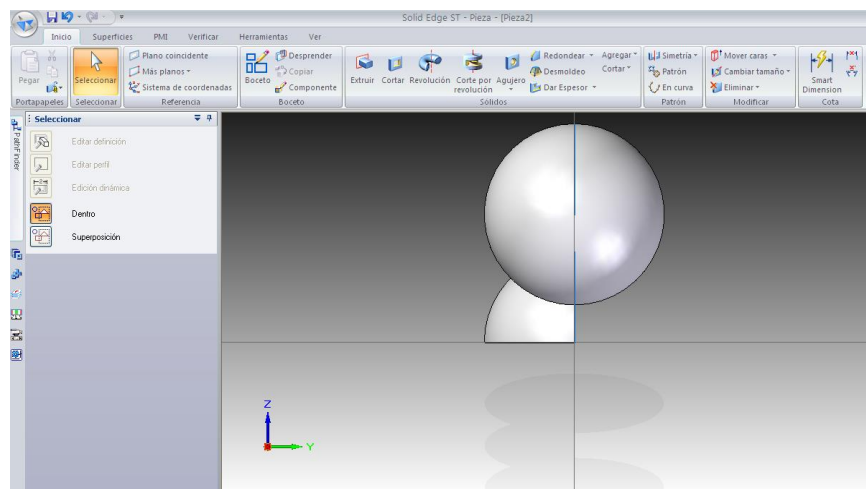
Figura 66. Revolución de las esferas



Fuente: El Autor

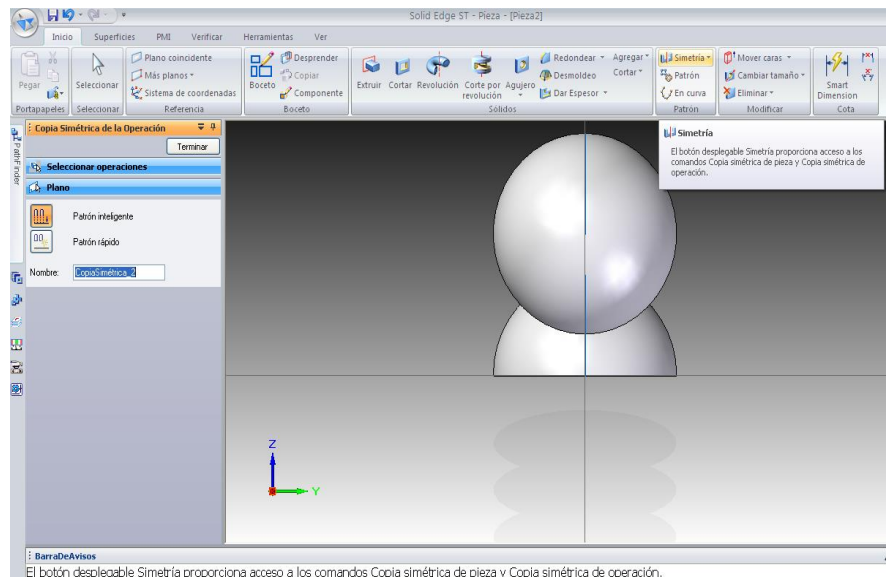
- Con la opción de simetría, realizar una simetría de la esfera del centro que esta revolucionada a 90° , con el plano vertical que la corta; esta simetría se realiza teniendo en cuenta la operación (simetría de operación) y patrón inteligente, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 67. Esfera sin simetría



Fuente: El Autor

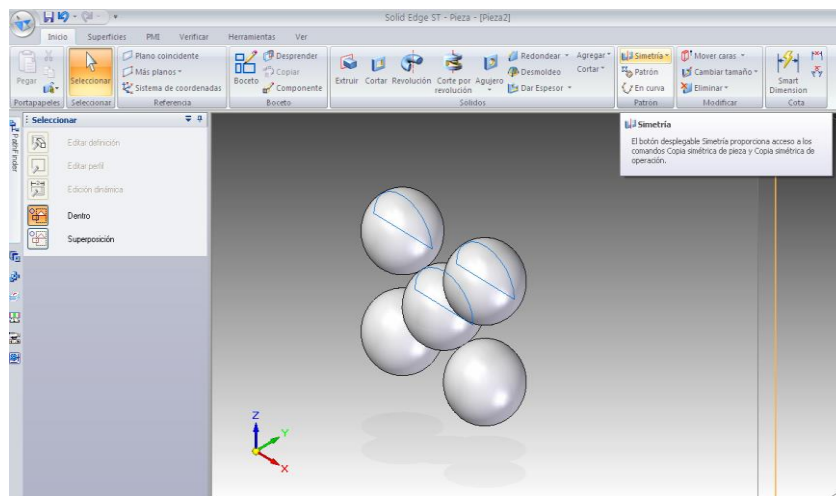
Figura 68. Esfera con simetría



Fuente: El Autor

- Con la opción de simetría se realiza otra simetría para completar las 5 esferas o átomos de la primera cara de la estructura, para lograr esto, la simetría se hace teniendo en cuenta la pieza (simetría de pieza), seleccionando la pieza y tomando el eje coincidente que la corta, para formar la primera cara de la estructura cristalina FCC, como se muestra en la siguiente figura

Figura 69. Proceso de simetría de las esferas

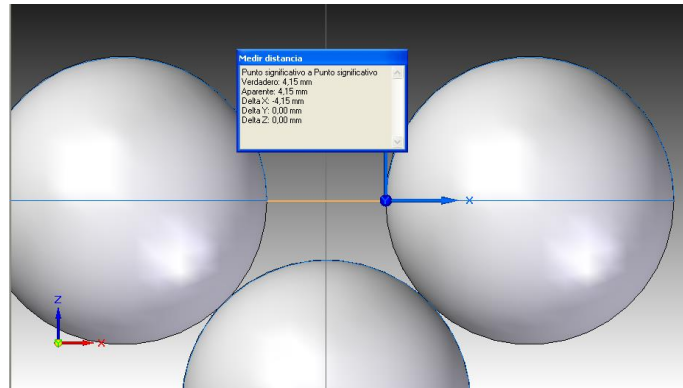


Fuente: El Autor

- Para realizar otra cara de la estructura se debe hacer una simetría de la pieza respecto a un plano paralelo a una distancia del diámetro D más la distancia entre los bordes de los átomos y todo dividido entre 2 $(D+d)/2$.

La distancia entre los bordes de los átomos se mide con la opción medir distancia, como se observa en la siguiente figura.

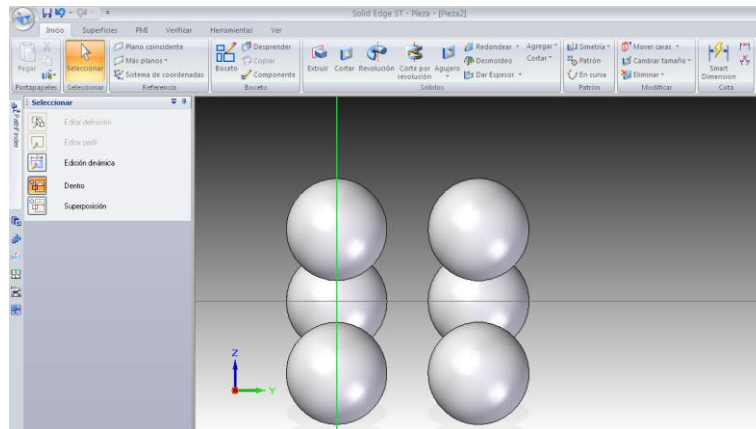
Figura 70. Medición de la distancia entre las esferas



Fuente: El Autor

- Al realizar la simetría con las especificaciones establecidas resulta la otra cara de la estructura cristalina FCC, como se aprecia en la siguiente figura.

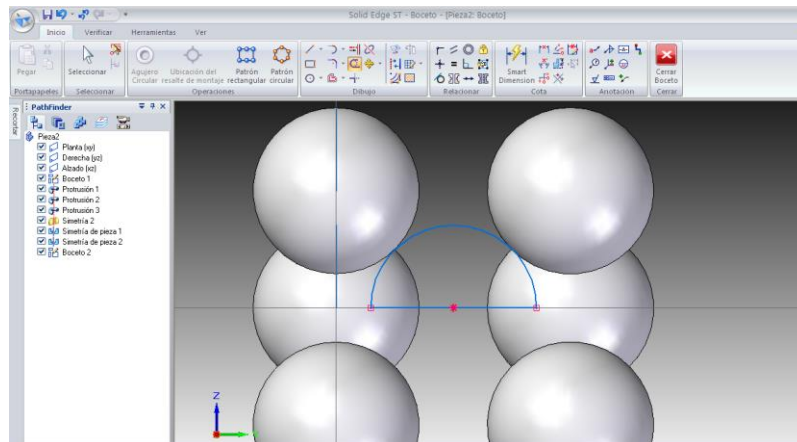
Figura 71. Proceso de simetría de las esferas



Fuente: El Autor

- Para completar la estructura cristalina FCC se deben realizar los átomos restantes de la siguiente manera: se hace un boceto de un círculo como se mostró en los pasos 2, 3, 4, 5, 6 sobre una de las caras donde falte el átomo este boceto debe hacerse con un plano paralelo a una distancia del Diámetro D dividido entre 2 más la distancia entre los bordes de los átomos dividido entre 2 ($(D/2)+(d/2)$) como se muestra en la siguiente figura.

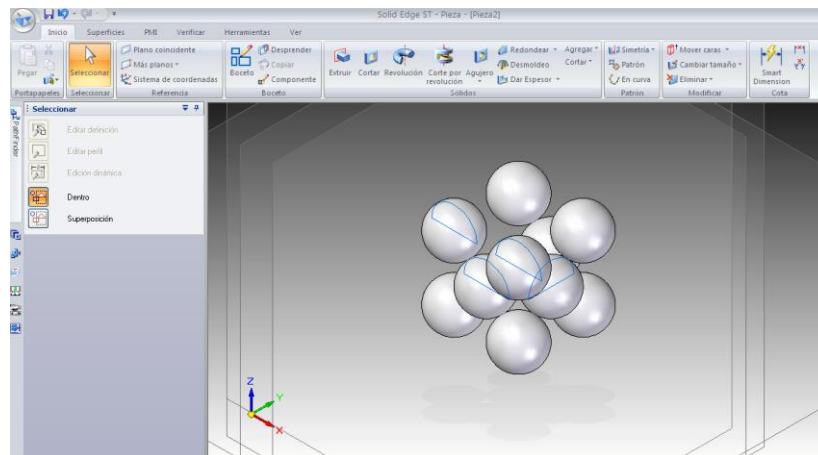
Figura 72. Dibujo del medio círculo



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto y revolucionar el objeto produciendo el átomo en esa cara

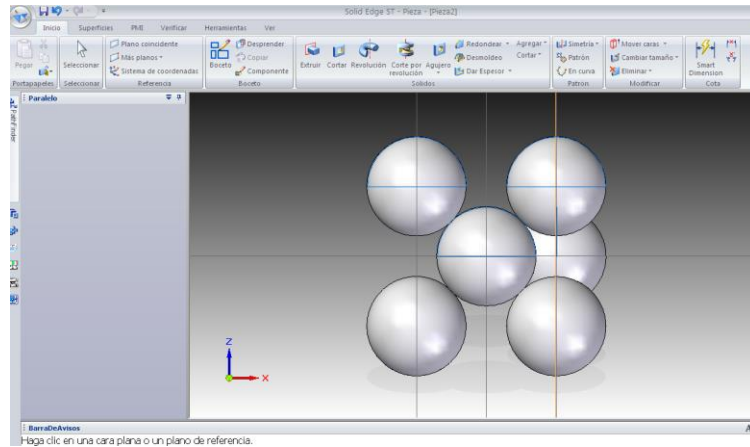
Figura 73. Revolución del medio círculo



Fuente: El Autor

- Para realizar otro átomo se realiza una simetría sobre el ultimo átomo realizado, esta simetría se realiza con un plano paralelo al plano que cruza este átomo a una distancia del diámetro más la distancia entre bordes de los átomos ($D + d$) como se muestra en la siguiente figura.

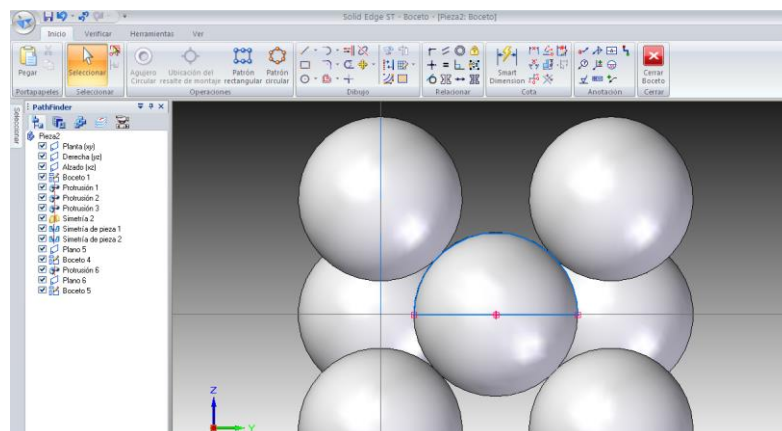
Figura 74. Simetría de la esfera



Fuente: El Autor

- Se realiza un boceto de la circunferencia sobre ese último plano generado como en el paso 12 como se aprecia en la siguiente figura.

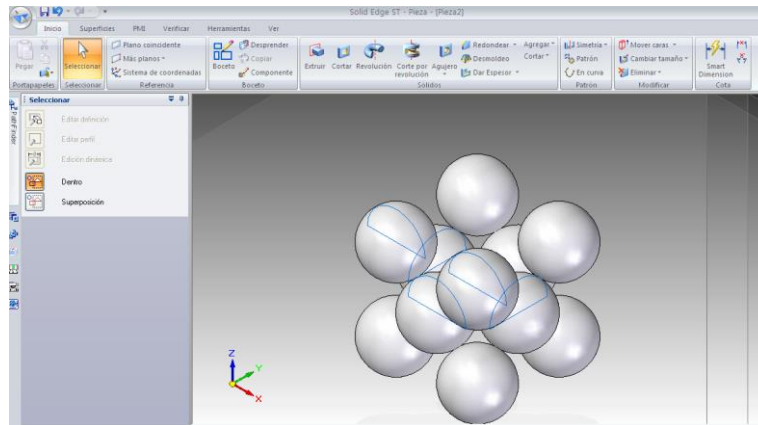
Figura 75. Dibujo de la circunferencia



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto y generar la revolución correspondiente a ese objeto como se observa en la siguiente figura.

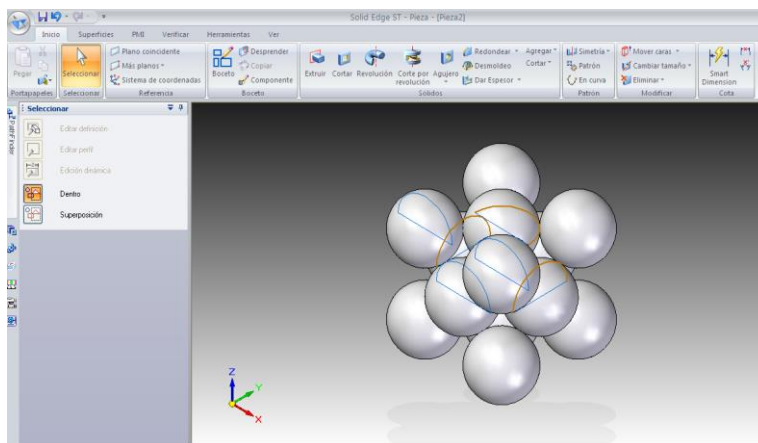
Figura 76. Revolución de la esfera



Fuente: El Autor

- Para finalizar la estructura FCC se realizan los últimos 2 átomos restantes para esto se debe realizar los pasos 12, 13, 14, 15, 16 pero la diferencia es que ahora es en las caras restantes de la estructura cristalina FCC, finalmente la estructura cristalina FCC queda de la siguiente forma como se muestra en la siguiente figura.

Figura 77. Estructura FCC



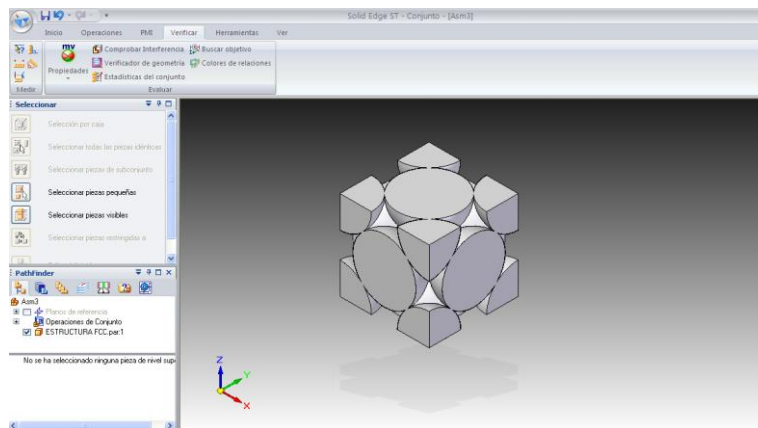
Fuente: El Autor

5.4 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CORTES DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA FCC

Los siguientes son los pasos para realizar los cortes correspondientes a la estructura cristalina FCC para que se forme una celda unidad de 4 átomos es decir 8 octavos de átomo de cada vértice cuentan como uno entero ($8 \times 1/8 = 1$) y 6 medios átomos de las caras cuentan como 3 átomos para un total de 4 átomos

- Abrir Solid Edge en el ambiente conjunto ISO
- Extraer y pegar la estructura realizada
- Hacer clic en la opción corte y ubicarse en el plano de la primera cara donde se quiera realizar el corte (asegurarse que el plano de corte sea tangente a las caras de la estructura)
- Se dibuja un rectángulo que cubra la pieza y luego se asigna la distancia del radio de la esfera para cortar la mitad, se pone aceptar y el corte queda realizado
- Se aplica el mismo procedimiento para los cortes de las demás caras

Figura 78. Estructura FCC cortada



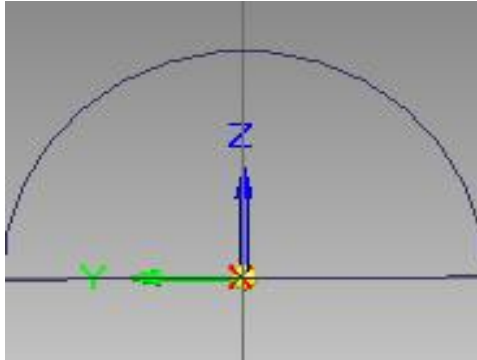
Fuente: El Autor

5.5 TUTORIAL ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Para Realizar la estructura HCP en el software Solid Edge se deben seguir los siguientes pasos:

- Dibujar un semicírculo teniendo en cuenta que su centro se ubique en la intersección de los planos como se muestra en la siguiente figura.

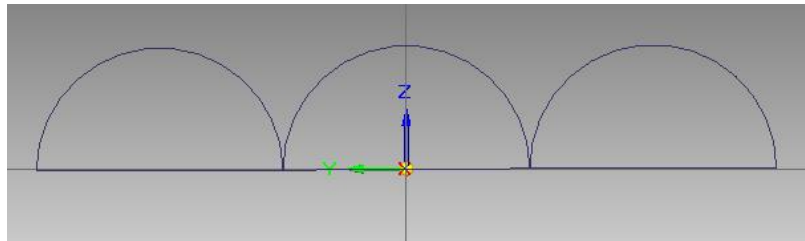
Figura 79. Dibujo del semicírculo



Fuente: El Autor

- Luego, se dibujan dos semicírculos a los lados del semicírculo previamente realizado, teniendo en cuenta que sean tangentes. Esto se realiza con la opción de tangencia. Como se observa en la siguiente figura

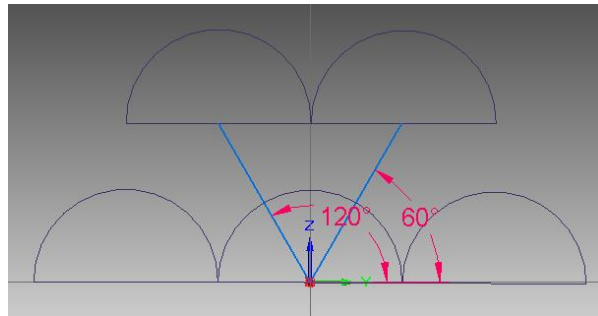
Figura 80. Dibujo de los dos semicírculos a los lados



Fuente: El Autor

- Luego, Dibujar dos semicírculos en la parte superior de los tres semicírculos ya realizados. Los dos semicírculos deben ser tangentes y deben ir a 60° y 120° respectivamente, del centro del semicírculo que se ubica en la parte central como se aprecia en la siguiente figura.

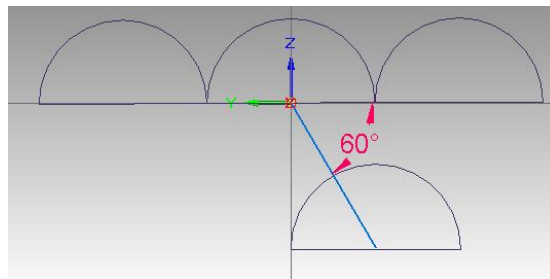
Figura 81. Dibujo de los semicírculos de 60° y 120°



Fuente: El Autor

- Posteriormente, se dibuja un semicírculo en la parte inferior de los tres semicírculos de la siguiente manera, el semicírculo debe ir a 60° como se muestra en la siguiente figura.

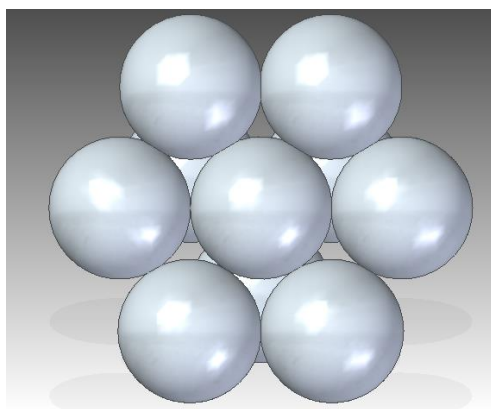
Figura 82. Semicírculo a 60°



Fuente: El Autor

- Teniendo todos los semicírculos, cerrar el boceto y revolucionar cada uno de los semicírculos como se observa en las siguientes dos figuras.

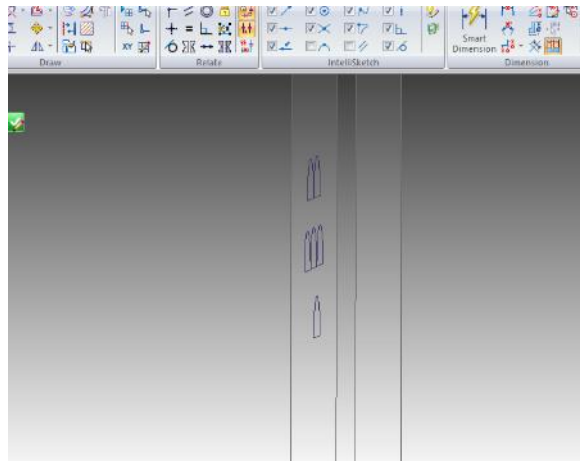
Figura 83. Revolución de los semicírculos



Fuente: El Autor

- Para realizar las esferas que van en el centro de la estructura HCP se debe hacer el boceto sobre un plano paralelo del original a la distancia del radio de la esfera como se aprecia en la siguiente figura

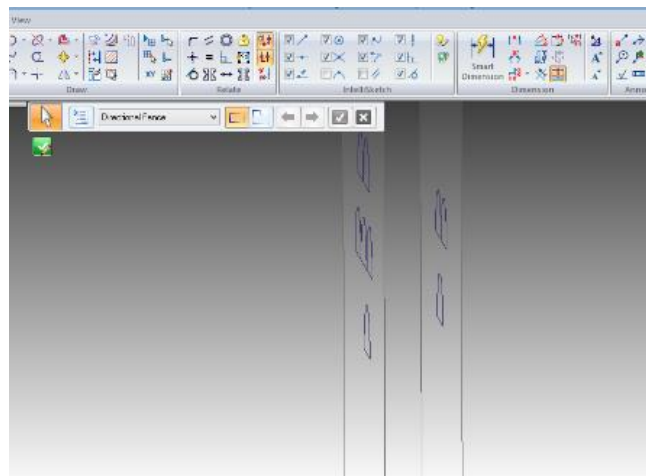
Figura 84. Dibujo de las esferas del centro



Fuente: El Autor

- Sobre el plano paralelo realizar el boceto de tres semicírculos de la siguiente forma como se muestra en la siguiente figura.

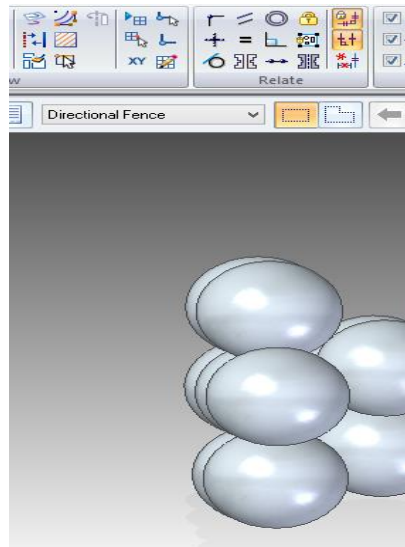
Figura 85. Dibujo de los tres semicírculos



Fuente: El Autor

- Cerrar el boceto y revolucionar cada uno de los semicírculos como se observa en la siguiente figura.

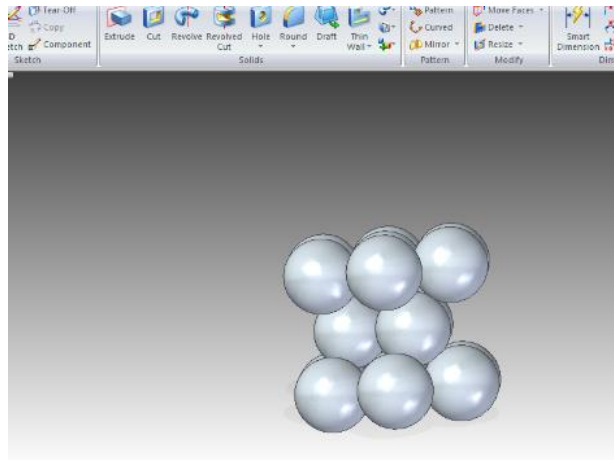
Figura 86. Revolución de los semicírculos



Fuente: El Autor

- Finalmente para completar la estructura cristalina HCP se debe realizar una simetría de las 7 esferas que se encuentran al inicio de la estructura, esta simetría se debe hacer con un plano paralelo a una distancia del diámetro de la esfera para que quede la estructura cristalina HCP en su totalidad como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 87. Proceso de simetría y Estructura HCP



Fuente: El Autor

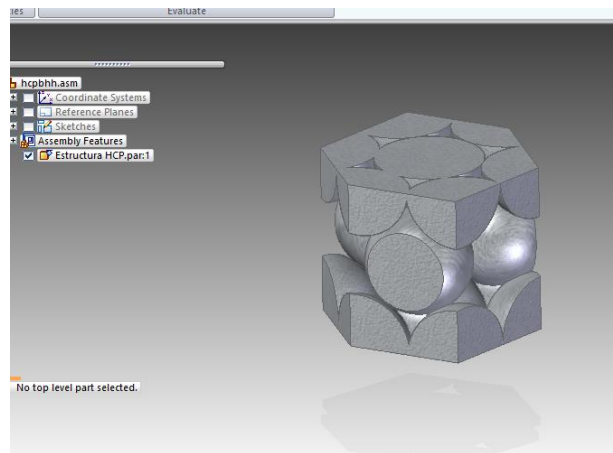
5.6 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CORTES DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA HCP

Para llevar a cabo el factor de empaquetamiento en Solid Edge se deben realizar los cortes de la estructura correspondientes, como mencionan a continuación.

- Abrir Solid Edge en el ambiente conjunto ISO
- Extraer y pegar la estructura realizada
- Hacer click en la opción corte y ubicarse en el plano de la primera cara donde se quiera realizar el corte (asegurarse que el plano de corte sea tangente a las caras de la estructura)
- Se dibuja un rectángulo que cubra la pieza y luego se asigna la distancia del radio de la esfera para cortar la mitad, se pone aceptar y el corte queda realizado
- Se aplica el mismo procedimiento para los cortes de las demás caras

Dando como resultado la siguiente estructura

Figura 88. Estructura HCP cortada



Fuente: El Autor

6 ACTIVIDAD PRACTICA ESTRUCTURA CRISTALINA USANDO EL SOFTWARE CRYSTAL MAKER

Para ayudar a la comprensión de las características y propiedades de las estructuras cristalinas se utiliza el software Crystal Maker, este software tiene la ventaja de que las estructuras cristalinas generadas, pueden ser manipuladas, coordinadas y se pueden medir las distancias que existen entre sus átomos, la densidad. De igual forma el software es fácil de usar y permite la generación de imágenes de las estructuras cristalinas para realizar informes, documentos y presentaciones

6.1 EJEMPLO

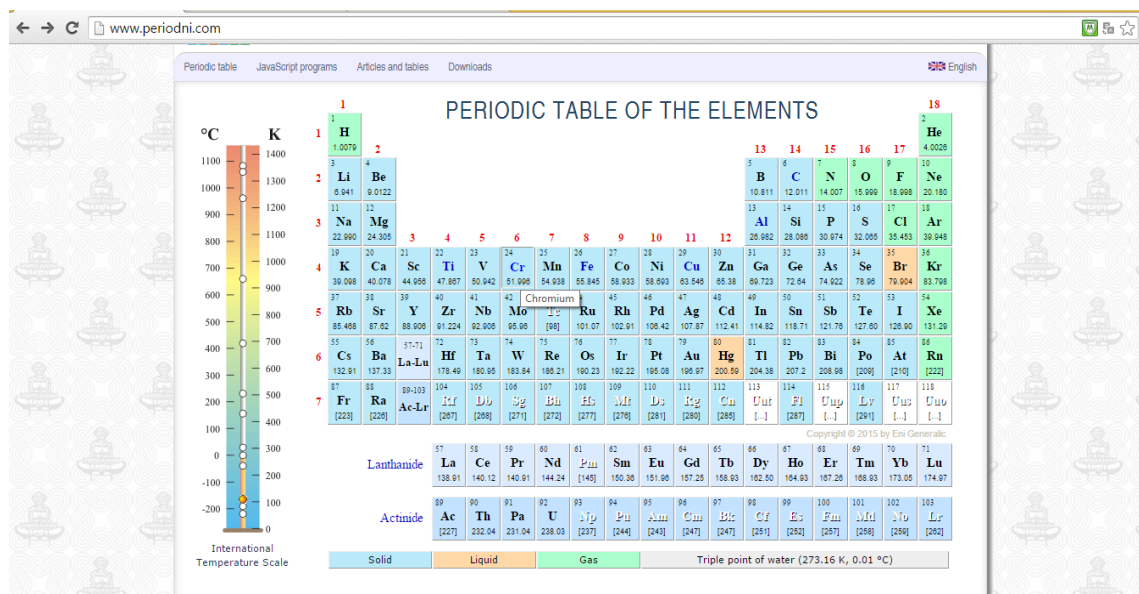
- Construir y visualizar la estructura cristalina del cromo
- Determinar qué tipo de estructura cristalina es (BCC HCP FCC)
- Verificar la densidad de la estructura cristalina por medio de cristal Maker

Tener en cuenta los datos para el cromo que son parámetro de red $a = 0,289 \text{ nm}$ y radio atómico $R = 0,125 \text{ nm}$

6.2 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR Y VISUALIZAR UNA ESTRUCTURA CRISTALINA EN CRYSTAL MAKER

- Seleccionar el material el cual se va a analizar, para el ejemplo expuesto es el cromo
- Ir a la página www.periodni.com la cual contiene las propiedades y características de todos los materiales, dentro de esta página aparece la tabla periódica donde se puede seleccionar el material, como se muestra en la siguiente figura.

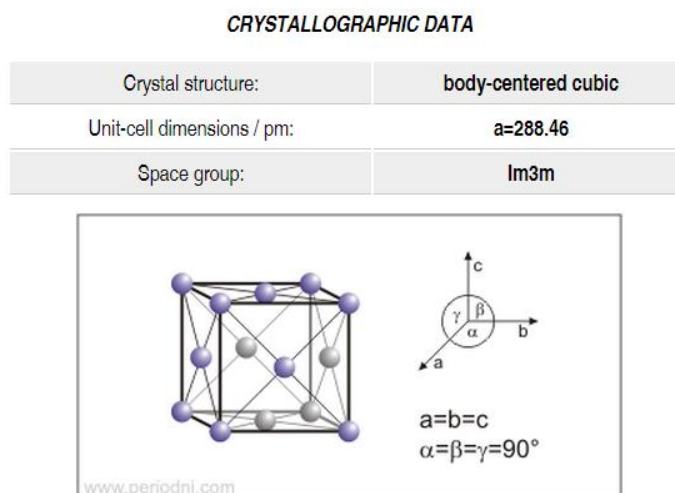
Figura 89. Tabla periódica de periodni.com



Fuente: www.periodni.com

- Una vez seleccionado el material (cromo) ubicar dentro de la página las propiedades cristalográficas del material, como se observa en la siguiente figura.

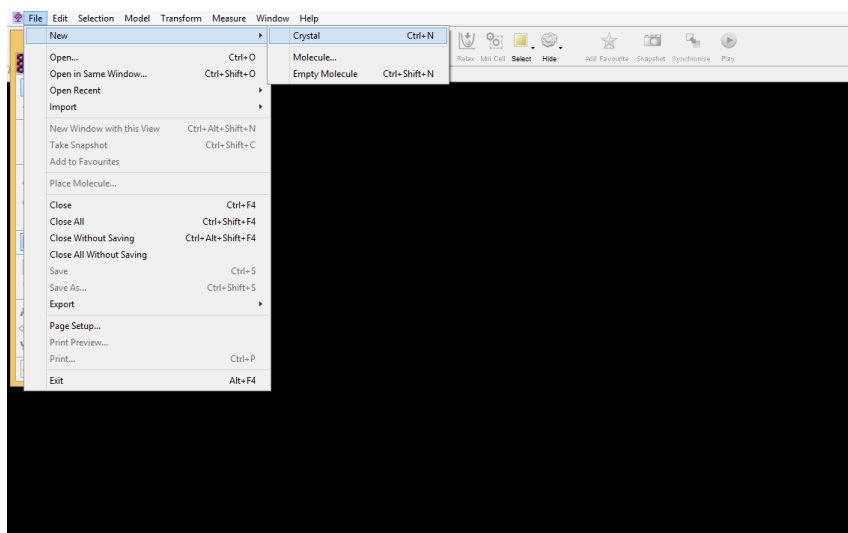
Figura 90. Datos cristalográficos de las celdas



Fuente: El Autor

- Después de tener los datos de la cristalografía del cromo, abrir el software Crystal Maker, hacer click en file, luego hacer click en new y finalmente hacer click en cristal, como se aprecia en la siguiente figura.

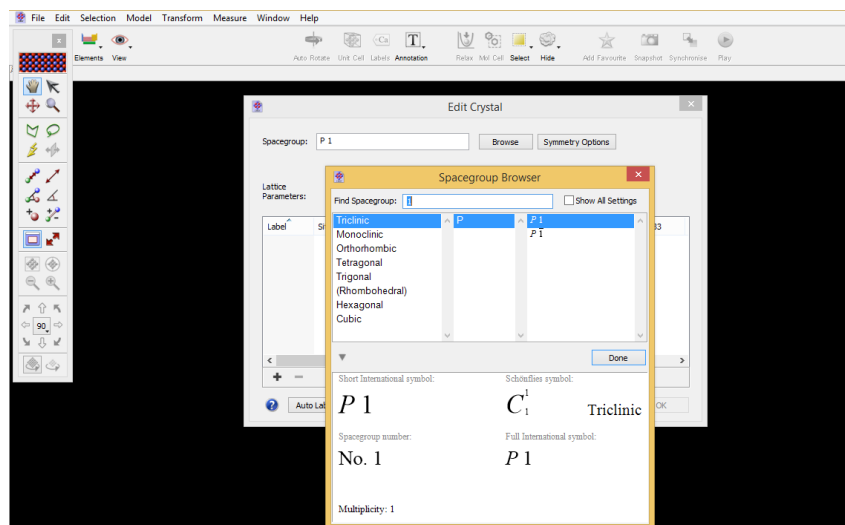
Figura 91. Abrir file y nuevo



Fuente: El Autor

- Aparece una ventana en donde se selecciona el tipo de estructura cristalina que tiene el material bien sea triclínica, hexagonal, cubica etc. Una vez seleccionado el tipo de estructura cristalina, se selecciona el índice del grupo en el espacio es decir, si la estructura cristalina es cubica, el índice del grupo en el espacio es P, I, F. Como se muestra en la siguiente figura.

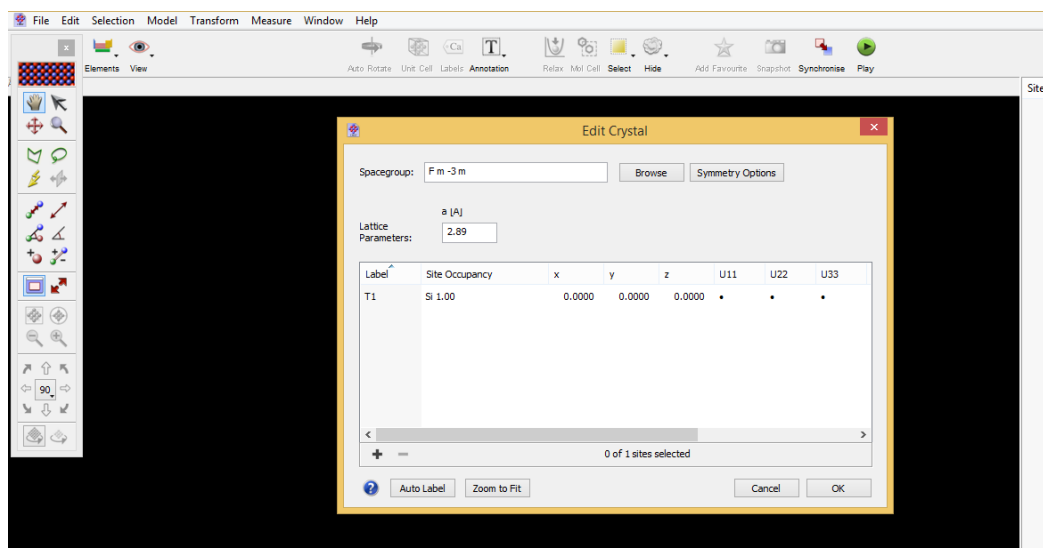
Figura 92. Selección del tipo de estructura



Fuente: El Autor

- Después de haber seleccionado el índice del grupo en el espacio, se introduce el valor del parámetro de red, para el caso del cromo el parámetro de red es 0,289 nm hay que tener en cuenta que las unidades del parámetro de red dentro del software Crystal Maker están en Angstroms como se observa en la siguiente figura.

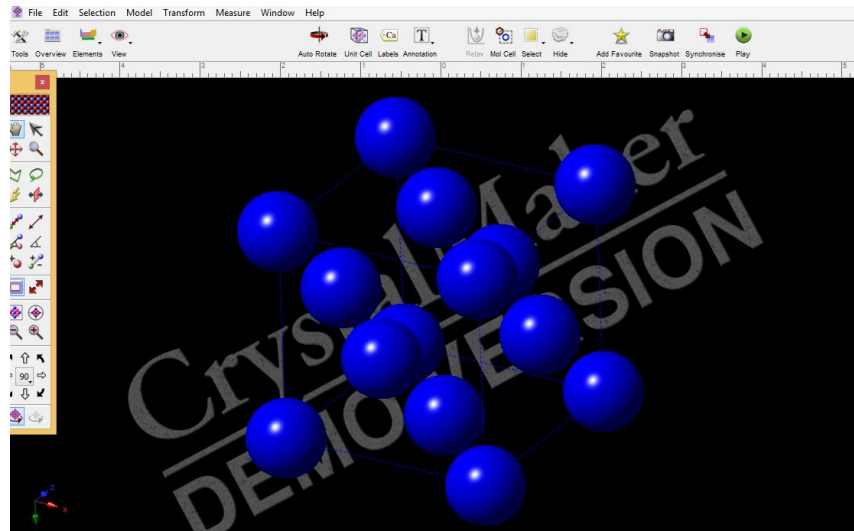
Figura 93. Introducción del parámetro de red



Fuente: El Autor

- Hacer click en ok para poder visualizar la estructura cristalina como se aprecia en la siguiente figura.

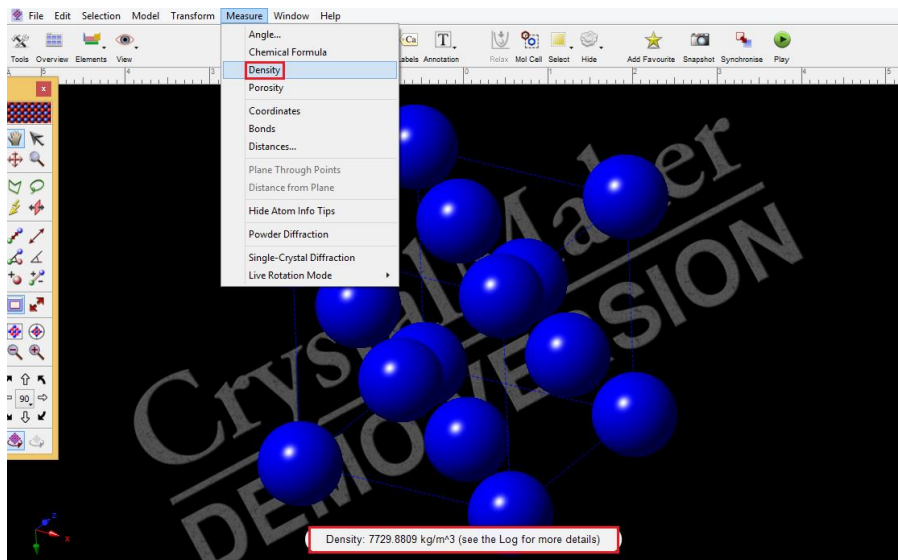
Figura 94. Visualización de la estructura cristalina



Fuente: El Autor

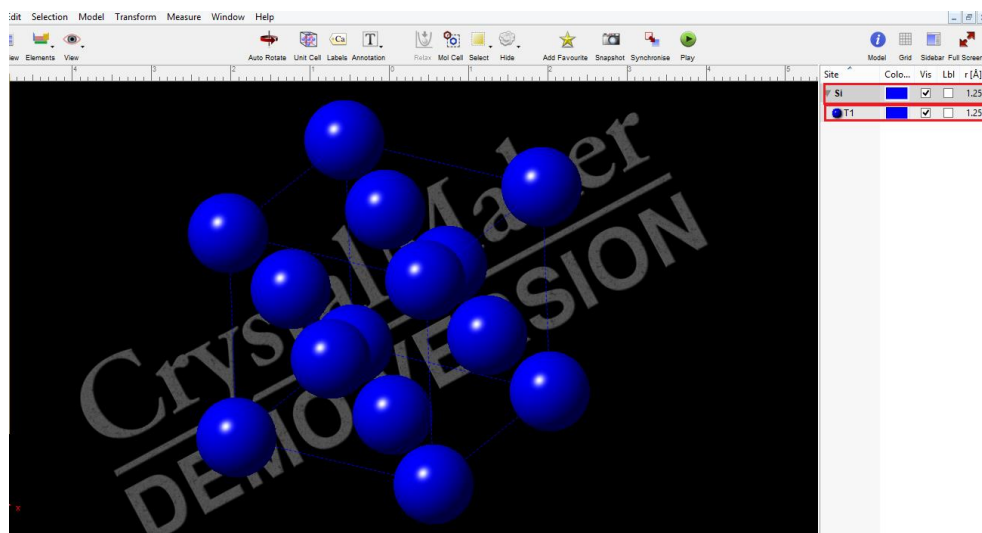
- Para indicar el radio atómico, medir las distancias entre los átomos y medir la densidad se muestra en las siguientes figuras.

Figura 95. Medida de la densidad



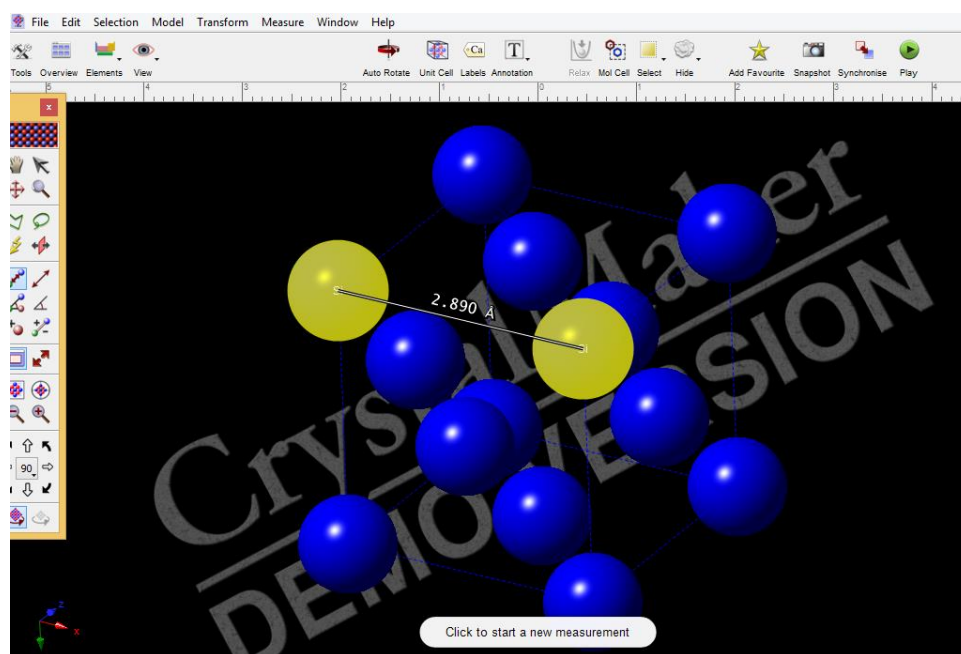
Fuente: El Autor

Figura 96. Medida del radio atómica



Fuente: El Autor

Figura 97. Medida de la distancia entre átomos



Fuente: El Autor

De acuerdo a lo anterior la estructura cristalina correspondiente al cromo es una FCC, la densidad de dicha estructura es 7729 kg/m^3

6 ACTIVIDAD PRÁCTICA EN EL SOFTWARE CRYSTAL MAKER

- Construir y visualizar la estructuras cristalinas del aluminio, cobre, carbono, titanio
- Determinar qué tipo de estructura cristalina es BCC HCP FCC
- Verificar la densidad de la estructura cristalina por medio de cristal Maker

7 ACTIVIDAD PRACTICA ESTRUCTURA CRISTALINA EN SOLID EDGE

- Realizar las estructuras Cristalinas BCC, FCC, HCP, siguiendo los tutoriales
- Calcular el factor de empaquetamiento de las estructuras y validarlo en Solid Edge
- Calcular las densidades volumétricas, planar y lineal teórica y práctica. Teniendo en cuenta que los índices de Miller (planos de corte) son: para BCC [101] para FCC [111] para HCP [110]
- Resolver el cuestionario el cual se muestra a continuación

8 CUESTIONARIO

- 1- Modelo regular formado por 3 dimensiones de átomos en el espacio:
 - a. Celda Unidad
 - b. Estructura Cristalina
 - c. Parámetro de red
 - d. Cristal

- 2- Sólido compuesto de Átomos ordenados, con una forma que se repite en tres dimensiones.
 - a. Celda unidad BCC
 - b. Retículo espacial
 - c. Celdilla unidad HCP
 - d. Cristal

- 4- Tipo de Celda unidad con una disposición de empaquetamiento atómico en el cual un átomo está en contacto con 8 átomos idénticos localizados en los vértices de un cubo imaginario.
 - a. Celda Unidad
 - b. Retículo espacial
 - c. Celda unidad BCC
 - d. Puno reticular

- 5- Masa por unidad de volumen, esta cantidad se expresa en g/mm^3 .
 - a. Densidad lineal
 - b. Densidad volumétrica
 - c. Red de volumen
 - d. Volumen específico

- 6- Cuáles son las estructuras cristalinas más comunes en los metales.
 - a. Tetragonal, monoclinica, FCC
 - b. Romboédrica, BCC, HCP
 - c. HCP, BCC, FCC
 - d. Ortorrómbica, cubica, triclínica

9 GLOSARIO DE TERMINOS

Anión: es un ion con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones.

Cristal: Un sólido compuesto de átomos, iones, ordenados según una forma que se repite en tres dimensiones.

Celdilla Unidad: Cierta unidad repetitiva del retículo cristalino

Cristalografía: es la ciencia que se dedica al estudio y resolución de estructuras cristalinas. La mayoría de los minerales adoptan formas cristalinas cuando se forman en condiciones favorables.

Estructura Cristalina: Modelo regular en tres dimensiones de átomos en el espacio

Enlace Químico: es el proceso químico responsable de las interacciones atractivas entre átomos y moléculas

Masa atómica: Cantidad medible de materia que forma un cuerpo, cuyo valor depende de la resistencia que dicho cuerpo opone a modificar su estado de reposo o de movimiento

Número Atómico: es el número total de protones que tiene cada átomo de ese elemento.

Plano cristalográfico: Es definido por tres átomos no alineados, en una red cristalina, uniendo tres nudos de una celdilla, determinados por los índices de Miller.

Retículo Espacial: Disposición espacial de puntos en que cada punto tiene idéntico entorno

10 BIBLIOGRAFIA

- [1] D. E. L. O. S. Materiales, E. At, and M. J. D. O. Barceinas, "2.1.- Estructura Del Átomo." editorial salamandra, 3ra edicion, p. 13.
- [2] J. M. S. Perez, *Manual de Quimica*, Editorial ECU, 2 edicion. 2003.
- [3] W. Smith, *Ciencia e Ingenieria de materiales*, Mc Graw Hill, 3ra edicio. 2004.
- [4] W. L. Masterton and C. N. Hurley, "Estructuras Cristalinas," p. 7, 2003.
- [5] P. Fern, "Representacion de Miller," 2015. [Online]. Available: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivos/curzoz/representacion_miller.pdf.

Anexo 3. Guía de Ensayo de Tensión

CIENCIA DE LOS MATERIALES GUIA DIDACTICA #1 DE LABORATORIO ENSAYO DE TENSION

OBJETIVO GENERAL

- El estudiante entiende y comprende el ensayo de tensión

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer la importancia del ensayo de tensión
- Conocer y manejar cada parte de la maquina universal
- Conocer las especificaciones de la norma ASTM E8

COMPETENCIAS

- Realiza un análisis sobre los materiales metálicos en Colombia
- Relaciona apropiadamente los conceptos de propiedades, materiales procesos de manufactura
- Elabora modelos geométricos virtuales para realizar estructuras cristalinas
- Preserva el estado de calibración de los equipos
- Realiza ensayos siguiendo los procedimientos establecidos
- Aplica normas cuando sea requerido
- Usa bata durante las prácticas de laboratorio
- Planea y ejecuta con el tiempo suficiente los trabajos de laboratorio

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 MARCO TEORICO	5
1.1 ESFUERZO	6
1.2 DEFORMACION UNITARIA	7
1.3 DIAGRAMA CARGA – DESPLAZAMIENTO	8
1.4 DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACION	9
1.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD O YOUNG	10
1.6 LIMITE ELASTICO	11
1.7 DUCTILIDAD	11
1.8 FRAGILIDAD	11
1.9 COMPARACION DE FRAGILIDAD Y DUCTILIDAD	11
 2 EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE TENSIÓN	 13
2.1 PARTES DE LA MAQUINA UNIVERSAL	13
3 NORMA ASTM E8 MATERIALES METALICOS	15
3.1PROBETAS NORMALIZADAS UTILIZADAS POR LA NORMA ASTM E8	15
 4 NORMA ASTM D 638 POLIMEROS	 17
4.1 PROBETAS NORMALIZADAS UTILIZADAS EN LA NORMA ASTM D638	17
 5 PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA	 18
 6 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD PRÁCTICA DE LABORATORIO	 19
6.1 DATOS DEL ENSAYO DE TENSION DEL ACERO 1020	20
6.2 PROBETA DE ACERO 1020 Y GRAFICA EN EXCEL DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN ACERO 1020	20

6.3 CALCULO DEL MÓDULO DE YOUNG O ELASTICIDAD DEL ACERO 1020	21
6.4 DETERMINACION DEL LÍMITE ELÁSTICO DEL ACERO 1020	22
6.5 CALCULO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA DE TENSIÓN DEL ACERO 1020	23
6.6 DATOS DEL ENSAYO DE TENSION DEL ALUMINIO 7075	24
6.7 PROBETA Y GRAFICA DEL ESFUERZO DEFORMACION DEL ALUMINIO 7075	25
6.8 CALCULO DEL MÓDULO DE YOUNG O ELASTICIDAD DEL ALUMINIO 7075	25
6.9 DETREMINACION DEL LÍMITE ELÁSTICO DEL ALUMINIO 7075	27
6.10 CALCULO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN DEL ALUMINIO 7075	27
6.11 PROBETA DE ALUMINIO 7075 FRACTURADA	28
6.12 DATOS DEL ENSAYO DE TENSION DEL BRONCE SAE 40	28
6.13 PROBETA DE BRONCE Y GRAFICA EN EXCEL DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN DEL BRONCE SAE 40	29
6.14 CALCULO DEL MÓDULO DE YOUNG O ELASTICIDAD DEL BRONCE SAE 40	30
6.15 DETERMINACION DEL LÍMITE ELÁSTICO DEL BRONCE SAE 40	31
6.16 CALCULO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN DEL BRONCE SAE 40	32
6.17 PROBETA DE BRONCE SAE 40 FRACTURADA	33
6.18 ANALISIS Y COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DURANTE EL ENSAYO DE TENSION	33
7 ACTIVIDAD PRACTICA SIMULACION DEL ENSAYO DE TENSION POR METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	35
7.1 METODO POR ELEMENTOS FINITOS	35
7.2 PASOS PARA REALIZAR UN ANALISIS POR METODO DE ELEMENTOS FINITOS	35
7.2.1 Definición del problema	35
7.2.2 Definición de las propiedades mecánicas del material	36
7.2.3 Definición de la malla	36
7.2.4 Aplicación de las cargas y restricciones del problema	37

7.2.5 Solución del problema	37
7.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACION DEL ENSAYO DE TENSION	38
7.4 INTERPRETACIÓN DE LA SOLUCIÓN (ESFUERZO)	52
7.4.1 Comparación cálculos teóricos del esfuerzo con el software ANSYS	53
7.5 INTERPRETACIÓN DE LA SOLUCIÓN (DEFORMACION)	54
7.5.1 Comparación cálculos teóricos con el Software ANSYS	55
 8 ACTIVIDAD PRÁCTICA DE LABORATORIO	 57
 9 ACTIVIDAD PRACTICA SIMULACION DEL ENSAYO DE TENSION EN ANSYS	 58
10 BIBLIOGRAFIA	59

Tabla de figuras

	Pág.
Figura 1. Montaje de la probeta en el ensayo de tensión	5
Figura 2. Fuerza ejercida sobre el área transversal	6
Figura 3. Esfuerzo ejercido sobre el área transversal	7
Figura 4. Deformación unitaria	8
Figura 5. Diagrama carga - Desplazamiento	8
Figura 6. Diagrama Esfuerzo - Deformación	9
Figura 7. Representación Gráfica de un material frágil y un material dúctil	12
Figura 8. Maquina universal utilizada en el ensayo de tensión	13
Figura 9. Probeta tipo plana norma ASTM E8	15
Figura 10. Probeta tipo redonda norma ASTM E8	16
Figura 11. Probeta tipo plana normalizada ASTM D638	17
Figura 12. Plano de la probeta normalizada	19
Figura 13. Probeta de acero 1020	20
Figura 14. Diagrama Esfuerzo - Deformación del acero 1020	21
Figura 15. Calculo del módulo de Young del acero 1020	22
Figura 16. Determinación del límite elástico del Acero 1020	23
Figura 17. Probeta de Acero 1020 fracturada	24
Figura 18. Probeta de aluminio 7075	25
Figura 19. Diagrama Esfuerzo - Deformación del Aluminio 7075	25
Figura 20. Calculo del módulo de Young del Aluminio 7075	26
Figura 21. Determinación del límite elástico del Aluminio 7075	27
Figura 22. Probeta de Aluminio 7075 fracturada	28
Figura 23. Probeta de Bronce SAE 40	30
Figura 24. Diagrama Esfuerzo Deformación del Bronce	30
Figura 25. Calculo del módulo de Young del Bronce SAE 40	31
Figura 26. Determinación del límite elástico del Bronce SAE 40	32
Figura 27. Probeta de Bronce SAE 40 fracturada	33
Figura 28. Diagrama Esfuerzo deformación de Acero 1020 Aluminio y Bronce	34
Figura 29. Diseño CAD de la placa	36
Figura 30. Mallado de la placa	36
Figura 31. Aplicación de las cargas y restricciones	37
Figura 32. Solución del problema (esfuerzo)	37
Figura 33. Solución del problema deformaciones	38
Figura 34. Dimensiones de la probeta	38
Figura 35. Icono del software ANSYS	39
Figura 36. Página principal de ANSYS selección de la opción problema estático	39
Figura 37. Ventana de configuración del modelo y el problema a solucionar	40

Figura 38. Configuración y selección del material y propiedades mecánicas	40
Figura 39. Click en opción Project	41
Figura 40. Apertura de la opción de geometría	41
Figura 41. Importación del modelo de la probeta	42
Figura 42. Búsqueda del archivo iges o step	42
Figura 43. Creación del diseño CAD	43
Figura 44. Selección de la opción <i>model</i>	43
Figura 45. Configuración del tamaño de la malla	44
Figura 46. Configuración del tipo de malla en la sección de interés	45
Figura 47. Generación de la malla en la sección de interés	45
Figura 48. asignacion del valor de face sizing	46
Figura 49. Selección de la opción <i>refinement</i>	46
Figura 50. Generación de la malla en el modelo	47
Figura 51. Selección de la fuerza aplicada	47
Figura 52. Sección en donde se aplica la fuerza	48
Figura 53. Generación de la fuerza	48
Figura 54. Generación del soporte fijo	49
Figura 55 Selección de la solución (deformación direccional)	50
Figura 56. Selección de la Solución (deformación Unitaria)	50
Figura 57 Selección de la solución del esfuerzo (equivalente de von mises)	51
Figura 58. Ejemplo de visualización de resultados	51
Figura 59. Opción Probe	52
Figura 60. Interpretación del esfuerzo	52
Figura 61. Interpretación de la deformación total	54
Figura 62. Interpretación deformación Unitaria	55

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Datos iniciales de la práctica	19
Tabla 2. Tabla de datos obtenidos en el ensayo de tensión del acero 1020	20
Tabla 3. Tabla de datos obtenidos en el ensayo de tensión del Aluminio	24
Tabla 4. Tabla de datos obtenidos del ensayo de tension del Bronce	28
Tabla 5. Resultados obtenidos del ensayo de tensión	33
Tabla 6. Comparación de los resultados obtenidos del esfuerzo	53
Tabla 7. Comparación de los resultados obtenidos de la deformación unitaria	56

1 MARCO TEORICO

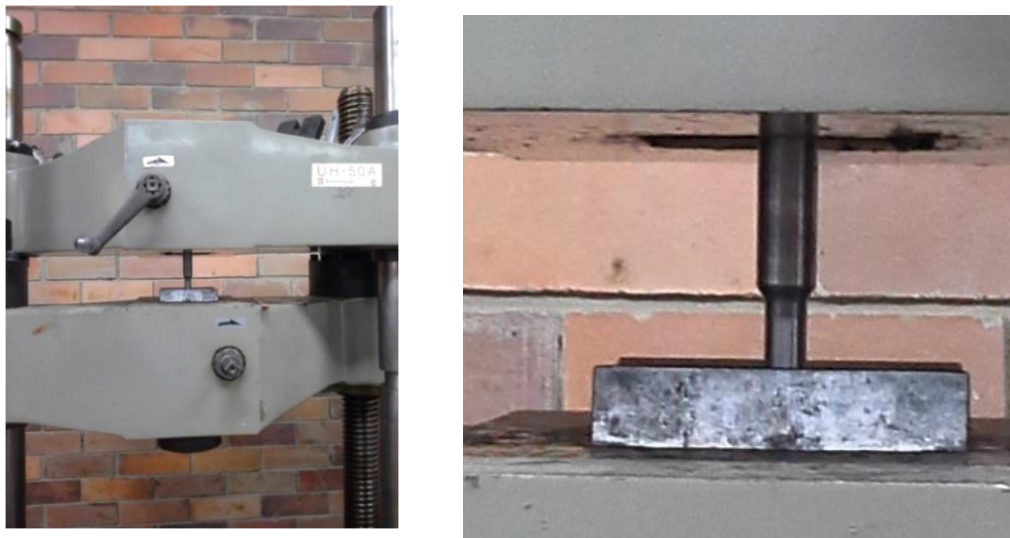
En el proceso de formación del ingeniero mecánico es muy importante el conocimiento de la ciencia de los materiales, ya que esta proporciona las herramientas necesarias para comprender el comportamiento general de cualquier material, lo cual se hace fundamental a la hora de desarrollar adecuadamente componentes, sistemas y procesos que sean confiables y económicos [1].

Por tal razón, es de gran importancia conocer y aplicar el ensayo a tensión de los materiales, este ensayo es utilizado para medir la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. El material se representa mediante una probeta normalizada, una probeta es una pieza sometida a diversos ensayos mecánicos para estudiar la resistencia de dicho material.

El ensayo de tensión consiste en alargar una probeta de ensayo por fuerza de tensión ejercida gradualmente, con el fin de conocer ciertas propiedades mecánicas de materiales en general: su resistencia, rigidez y ductilidad. Sabiendo que los resultados del ensayo para un material dado son aplicables a todo tamaño y formas de muestra, se ha establecido una prueba en la cual se aplica una fuerza de tensión sobre una probeta de forma cilíndrica y tamaño normalizado, que se maneja universalmente entre los ingenieros. La norma que se emplea para realizar el ensayo de tensión de los metales es la ASTM E8, y la norma que se utiliza para realizar el ensayo de tensión de los polímeros es ASTM D 638 [1].

La figura 1 muestra el montaje de la probeta en el ensayo de tensión [1].

Figura 1. Montaje de la probeta en el ensayo de tensión



Fuente: El Autor

1.1 ESFUERZO

El esfuerzo es la intensidad de fuerzas distribuidas a través de una sección dada de un material, de igual manera es la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra sigma σ . La ecuación que describe el esfuerzo es:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

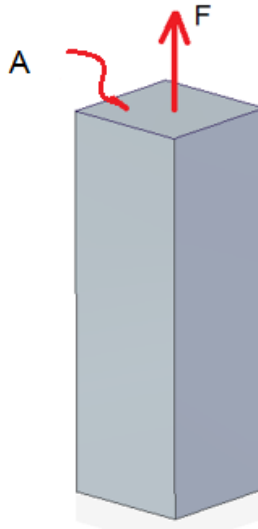
Donde:

σ = Esfuerzo

F = Fuerza aplicada

A = Area transversal

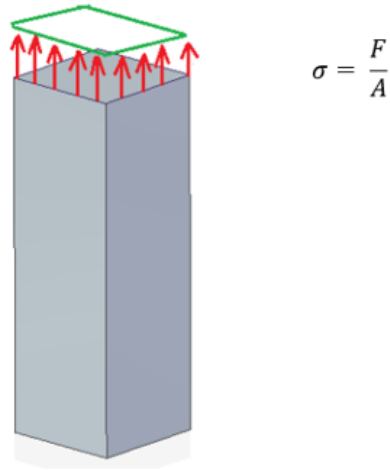
Figura 2. Fuerza ejercida sobre el área transversal



Fuente el autor

La figura 2 muestra una barra sometida a una fuerza F ejercida sobre el área A de la sección transversal de dicha barra.

Figura 3. Esfuerzo ejercido sobre el área transversal



Fuente: El Autor

La figura 3 representa el esfuerzo que se produce en el material sobre el área transversal cuando se está ejerciendo la fuerza.

1.2 DEFORMACION UNITARIA

La deformación unitaria es la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual permite determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión. La ecuación que describe la deformación unitaria es:

$$\epsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad (2)$$

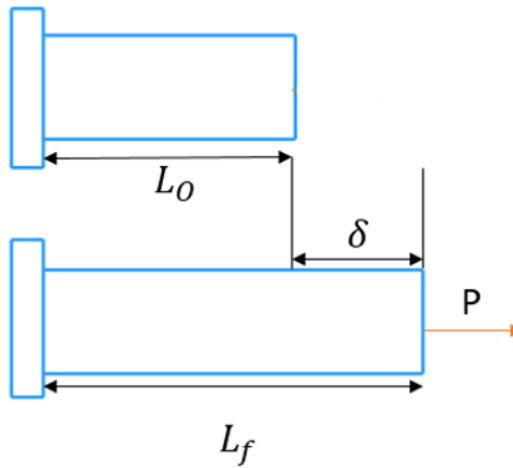
Donde:

ϵ = Deformación Unitaria

L_f = Longitud final

L_o = Longitud inicial

Figura 4. Deformación unitaria



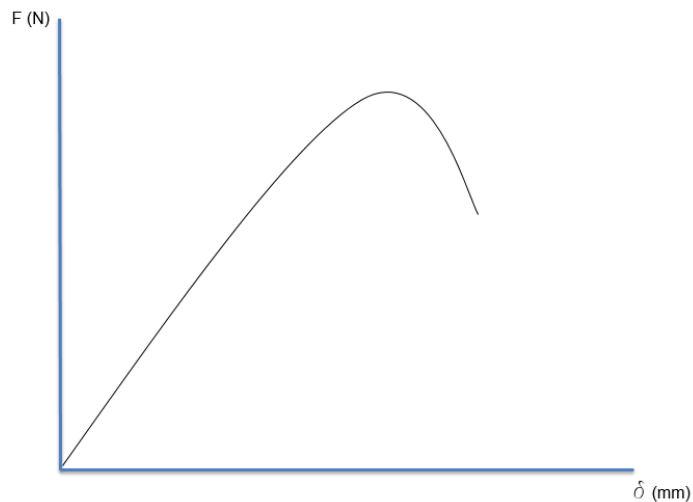
Fuente: El Autor

Al considerar la barra de la figura 4 de longitud inicial L_0 se le aplica una carga P en su extremo derecho, lo cual produce una deformación δ dando como resultado una longitud final L_f este fenómeno se puede describir con la ecuación 2.

1.3 DIAGRAMA CARGA – DESPLAZAMIENTO

El diagrama carga – desplazamiento es una gráfica que indica la fuerza en Newton (N) que se le aplica al material y el desplazamiento de una porción del material debido a dicha fuerza medido en milímetros (mm).

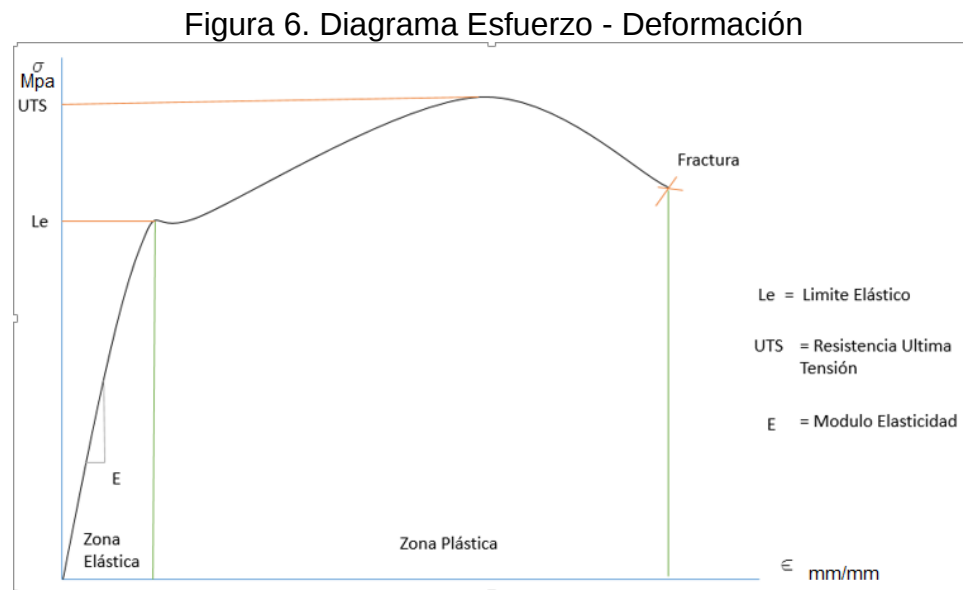
Figura 5. Diagrama carga - Desplazamiento



Fuente: El Autor

1.4 DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACION

El diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, estas propiedades se pueden relacionar si se evalúa una barra sometida a una fuerza axial para la cual se registra simultáneamente la fuerza aplicada y el alargamiento producido. Estos valores permiten determinar el esfuerzo y la deformación que al graficar originan el denominado diagrama de esfuerzo y deformación, que se muestra en la siguiente figura.



Fuente: El Autor

A continuación se mencionan los elementos más importantes de este diagrama.

Zona elástica: la línea recta representa una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, esta zona se denomina zona elástica porque las deformaciones que sufre el material son deformaciones instantáneas mientras se está aplicando el esfuerzo. Hay que tener en cuenta que en este tramo el material vuelve a su forma original si se le quita la carga.

Límite elástico: Es el valor máximo de esfuerzo que puede soportar el material, manteniendo su comportamiento elástico.

Resistencia Última a la tensión: Es el esfuerzo máximo que se puede aplicar sobre el material. Cuando el esfuerzo aplicado se iguala a la resistencia a la tensión, se inicia la estricción y luego la fractura del material.

Fractura: Es el punto donde el material falla o se rompe.

1.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD O YOUNG

Para hablar del módulo de elasticidad de un material es necesario involucrar la ley de Hooke la cual habla que a un cuerpo se le denomina elástico cuando recupera su forma después de haberse sometido a una serie de fuerzas que lo han deformado [2].

El módulo de elasticidad es el parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Visto de otra manera, el módulo de Young es la pendiente de la recta en la zona elástica del diagrama esfuerzo – deformación que se muestra en la figura 6 [2].

La ecuación que describe el módulo de elasticidad es

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal

ϵ = Deformación Unitaria

De acuerdo a la ecuación anterior se expresa que

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Donde:

F = Fuerza aplicada

A = Área transversal del material

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (5)$$

Donde:

Δl = Deformacion del material

l_o = Longitud inicial del material

Por lo tanto, se puede decir que el módulo de elasticidad es

$$E = \frac{F L_0}{A \Delta l} \quad (6)$$

1.6 LIMITE ELASTICO

El límite elástico es el valor máximo de tensión que puede soportar el material, manteniendo su comportamiento elástico como se aprecia en la figura 6 [2].

1.7 DUCTILIDAD

Es una medida de la cantidad de deformación plástica que puede darse en un material antes de que este se rompa. La ductilidad puede medirse en dos formas [2]:

El porcentaje de elongación

$$\% \text{ de elongacion} = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \quad (7)$$

Porcentaje de reducción de área

$$\% \text{ de reduccion de area} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \quad (8)$$

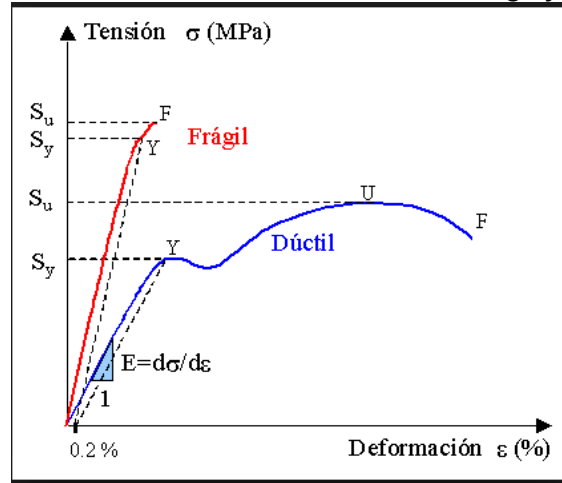
1.8 FRAGILIDAD

Es la capacidad de un material de fracturarse con poca deformación. Por el contrario, los materiales dúctiles se rompen tras sufrir deformaciones, generalmente de tipo plásticas. Por su parte, los materiales tenaces pueden absorber grandes cantidades de energía durante el proceso de deformación antes de fracturarse. La fragilidad es lo contrario de la tenacidad y tiene la peculiaridad de absorber relativamente poca energía, a diferencia de la rotura dúctil [2].

1.9 COMPARACION DE FRAGILIDAD Y DUCTILIDAD

A continuación se muestra una gráfica comparativa de un material frágil con un material dúctil.

Figura 7. Representación Gráfica de un material frágil y un material dúctil



Fuente: Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica [3]

En la figura 7 se aprecia la gráfica del diagrama esfuerzo deformación de un material frágil y un material dúctil, donde:

S_y = Limite elástico

S_u = Resistencia ultima de tensión

F = Fractura

La curva roja muestra el comportamiento de un material frágil durante el ensayo de tensión, en la cual se ve claramente que el material sufre poca deformación plástica antes de llegar a la fractura.

La curva azul muestra el comportamiento de un material dúctil durante el ensayo de tensión, en la cual se ve claramente que el material sufre bastante deformación plástica antes de llegar a la fractura.

2 EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO DE TENSIÓN

En ingeniería se denomina máquina universal de ensayos a una máquina semejante a una prensa hidráulica con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión o tracción se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico.

A continuación se menciona el equipo utilizado en el Ensayo de Tensión como la máquina universal y sus partes.

Figura 8. Máquina universal utilizada en el ensayo de tensión



Fuente: El Autor

2.1 PARTES DE LA MÁQUINA UNIVERSAL

En la figura 8 se muestran las partes principales de la máquina universal y a continuación se enumeran cada una de ellas.

1 Mordaza Fija superior: Miembro fijo, es aquel que lleva una mordaza en la parte superior de la máquina

2 Mecanismo de arrastre: le da movimiento y velocidad constante a la mordaza móvil con respecto a la mordaza fija, y consta de un motor

3 Mordaza móvil inferior: Es aquel que lleva una segunda mordaza ubicada en la parte inferior de la máquina, el cual va a tener un desplazamiento vertical abajo

4 Tablero de Control: Permite realizar las diferentes operaciones del ensayo como encender la máquina, observar y calibrar la medición de la carga, apagar la máquina.

3 NORMA ASTM E8 MATERIALES METALICOS

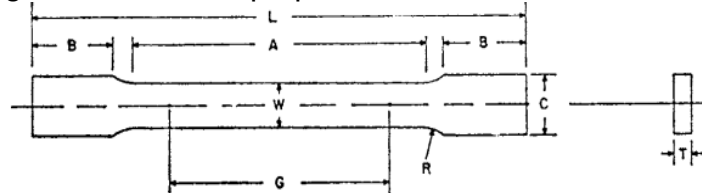
La norma ASTM E8 describe la prueba del ensayo de tensión en materiales para determinar el límite elástico, el punto de alargamiento de rendimiento, la resistencia a la tensión, y la reducción de áreas en productos metálicos. Esta norma permite aplicar la prueba a láminas, alambres, varilla, barra, tubos, la norma también define la geometría y las dimensiones adecuadas para cada elemento que se quiera analizar, los tipos de especímenes más comunes son rectangulares y circulares [4].

Para la prueba de especímenes rectangulares, se utilizan una variedad de mordazas de funcionamiento tipo manual, neumático, hidráulico. Para especímenes redondos se sugiere utilizar mordazas roscadas que dependen de la geometría de los extremos del espécimen [4].

3.1 PROBETAS NORMALIZADAS UTILIZADAS POR LA NORMA ASTM E8

Los tipos de probeta más usados son la Probeta tipo plana (figura 9) y la Probeta tipo redonda (figura 10).

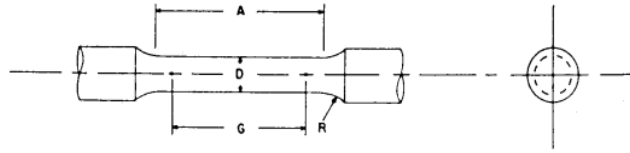
Figura 9. Probeta tipo plana norma ASTM E8



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Fuente: Norma ASTM E8

Figura 10. Probeta tipo redonda norma ASTM E8



Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gage Length Four times the Diameter [E8]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gage Length Five times the Diameter [E8M]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

Fuente: Norma ASTM E8

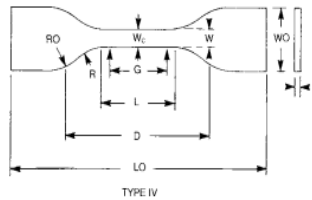
4 NORMA ASTM D 638 POLIMEROS

La norma ASTM D 638 describe la prueba del ensayo de tensión en materiales para determinar el límite elástico, el punto de alargamiento de rendimiento, la resistencia a la tensión, y la reducción de áreas en productos plásticos. Esta norma permite aplicar la prueba a láminas, alambres, varilla, barra, tubos, la norma también define la geometría y las dimensiones adecuadas para cada elemento que se quiera analizar, los tipos de especímenes más comunes son rectangulares y circulares [5].

4.1 PROBETAS NORMALIZADAS UTILIZADAS EN LA NORMA ASTM D638

El tipo de probeta utilizada en el ensayo de tensión es la probeta tipo plana que se muestra en la figura 11.

Figura 11. Probeta tipo plana normalizada ASTM D638



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)^A

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Fuente: ASTM D638

5 PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

El siguiente es el procedimiento para desarrollar la práctica del ensayo de tensión:

- Anotar las medidas iniciales de la probeta, como la longitud inicial y el diámetro de la sección delgada
- Preparar la maquina universal y se colocan las mordazas para sujetar la probeta
- Estando bien sujeta la probeta en las mordazas, se procede a poner la carga determinada
- Poner en marcha la maquina universal
- Apreciar como la probeta se deforma hasta llegar a la fractura
- Tomar la medida de longitud final de la probeta
- Realizar los cálculos correspondientes, como el módulo de elasticidad, el límite de fluencia y la resistencia ultima a la tensión

6 EJEMPLO PARA LA ACTIVIDAD PRÁCTICA DE LABORATORIO

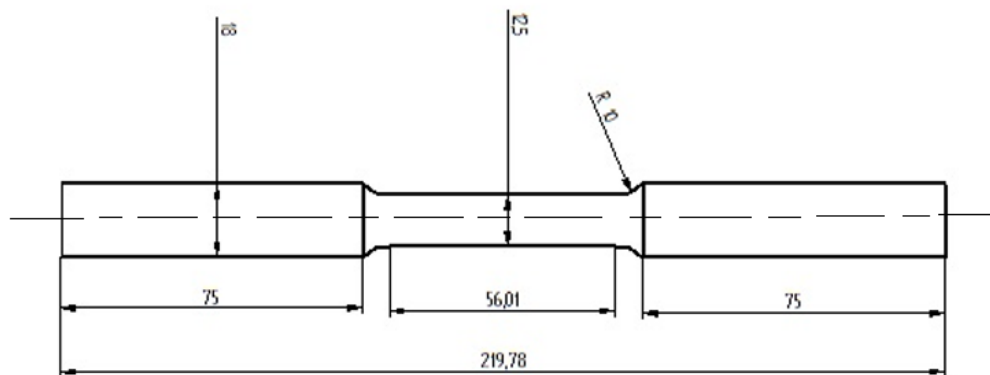
El siguiente ejemplo consiste en observar y analizar el comportamiento de los materiales acero AISI SAE 1020, Aluminio 7075 y Bronce SAE 40 sometidos al ensayo de tensión, por medio de una probeta. La máquina universal utilizada es tipo mecánica y tiene una capacidad de carga máxima de 90000 *N*. Este ejemplo tendrá las respectivas graficas del diagrama esfuerzo deformación para cada material y de igual manera los cálculos correspondientes como el módulo de Young, el límite elástico y la resistencia ultima a la tensión. Los datos iniciales de las probetas para realizar el ensayo de tensión se muestran en la tabla 1 como también se muestra el plano de las probetas en la figura 12.

Tabla 1. Datos iniciales de la práctica

Material	Área	Long. Inicial
Acero 1020	123 mm ²	56 mm
Aluminio 7075	123 mm ²	56 mm
Bronce SAE 40	123 mm ²	56 mm

Fuente: El Autor

Figura 12. Plano de la probeta normalizada



Fuente: El Autor

6.1 DATOS DEL ENSAYO DE TENSION DEL ACERO 1020

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos del ensayo de tensión para el Acero 1020.

Tabla 2. Tabla de datos obtenidos en el ensayo de tensión del acero 1020

FUERZA N	ALARGAMIENTO mm	EFUERZO MPA	DEFORMACION UNITARIA mm/mm
0	0	0	0
6150	0,036344	50	0,000649
12300	0,053984	124	0,000964
18450	0,09128	156	0,00163
24600	0,19936	212	0,00356
30750	0,37968	258	0,00678
36900	0,54656	305	0,00976
43050	0,81368	354	0,01453
43050	1,43864	354	0,02569
50430	2,65944	413	0,04749
51660	2,89240	425	0,05165
52890	3,71504	430	0,06634
53874	4,34840	438	0,07765
54489	5,42360	443	0,09685
54981	6,02840	447	0,10765
55350	6,47752	450	0,11567
54366	7,16016	442	0,12786
53505	7,54656	435	0,13476
51660	8,20120	420	0,14645
49200	8,89530	400	0,15875

Fuente: El Autor

6.2 PROBETA DE ACERO 1020 Y GRAFICA EN EXCEL DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN ACERO 1020

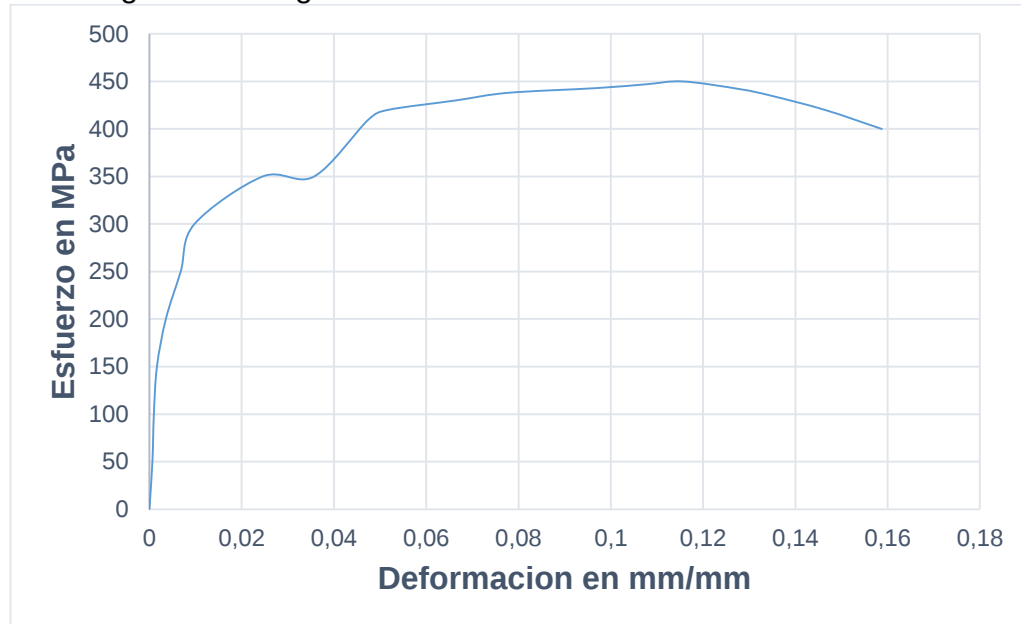
A continuación se muestra la probeta de acero 1020 con la respectiva grafica del esfuerzo y la deformación obtenidos en el laboratorio.

Figura 13. Probeta de acero 1020



Fuente: El Autor

Figura 14. Diagrama Esfuerzo - Deformación del acero 1020



Fuente: El Autor

6.3 CALCULO DEL MÓDULO DE YOUNG O ELASTICIDAD DEL ACERO 1020

Para calcular el módulo de Young o elasticidad del Acero 1020 se toma la gráfica de esfuerzo – deformación, en la zona elástica se calcula la pendiente de la recta con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (7)$$

Donde:

E= Modulo de elasticidad del material

σ_2 = Valor del esfuerzo mayor

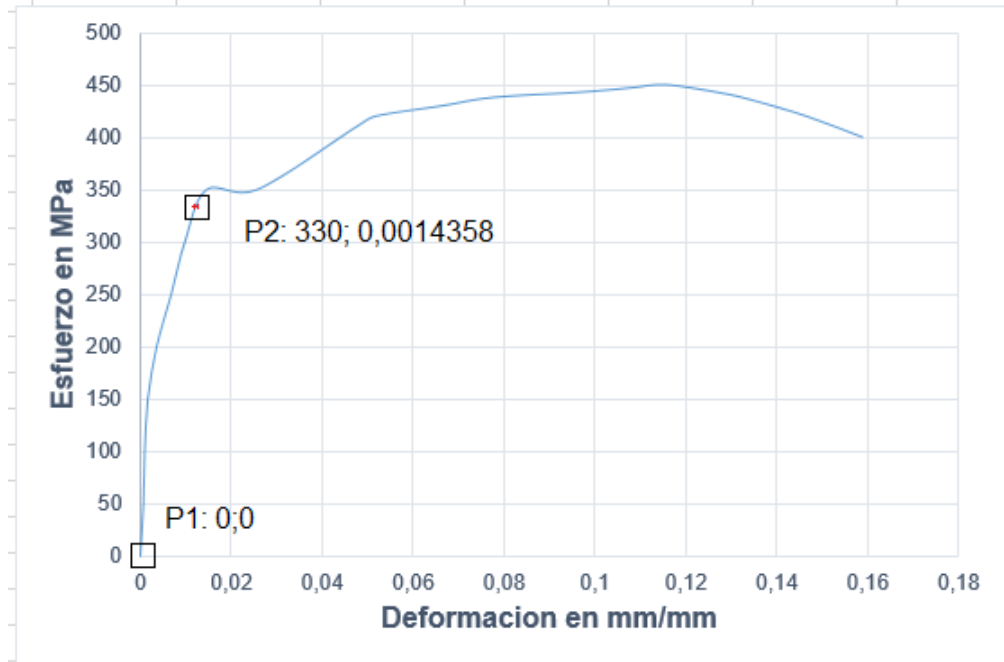
σ_1 = Valor del esfuerzo menor

ϵ_2 = Valor de la deformación mayor

ϵ_1 = Valor de la deformación menor

En la siguiente figura se muestran los puntos de la recta o zona elástica

Figura 15. Cálculo del módulo de Young del acero 1020



Fuente: El Autor

Teniendo en cuenta los puntos de la recta mostrados anteriormente se reemplazan en la ecuación (7) como se observa a continuación.

$$E = \frac{330 \text{ MPa}}{0,0014358 \text{ mm/mm}}$$

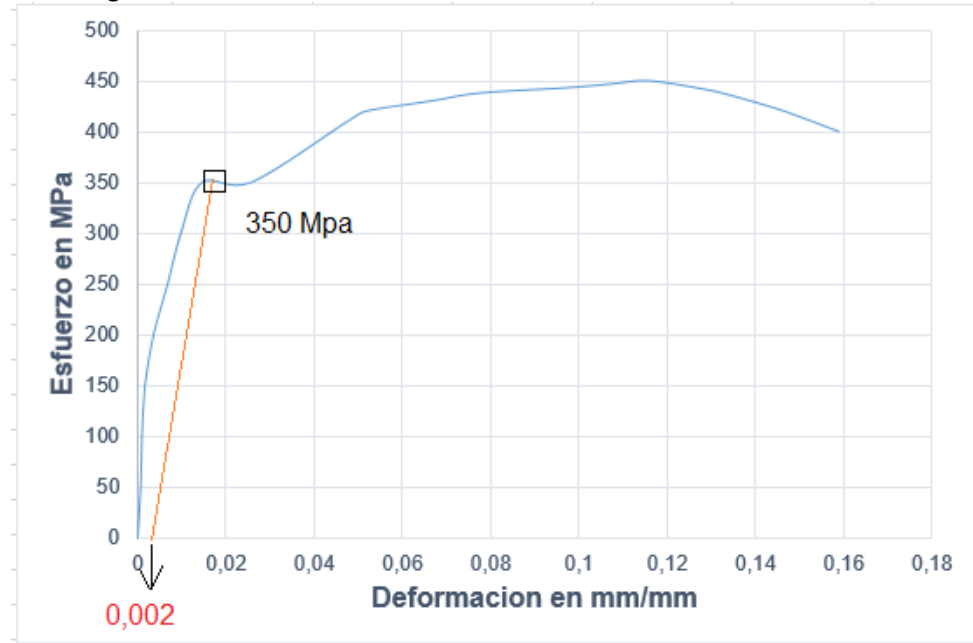
$$E = 213 \text{ GPa}$$

El módulo de elasticidad es 213 GPa

6.4 DETERMINACION DEL LÍMITE ELÁSTICO DEL ACERO 1020

Para calcular el límite elástico del Acero 1020 se traza una línea paralela a la recta de la zona elástica desde el punto 0,002 mm en el eje de la deformación hasta que se corte con la curva, este punto de corte es el valor del límite elástico. La siguiente figura muestra la línea paralela a la recta de la zona elástica y el punto de corte, el cual es el valor del límite elástico.

Figura 16. Determinación del límite elástico del Acero 1020



Fuente: El Autor

De acuerdo a la gráfica anterior el cuadro negro indica el valor del límite elástico que es 350 MPa

6.5 CALCULO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN DEL ACERO 1020

Para calcular la resistencia Última a la tensión del Acero 1020 se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_u = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (8)$$

Donde:

F_{max} = Fuerza máxima aplicada

A_0 = Área Inicial

La fuerza máxima es 55345 N y el área inicial es $123 \text{ mm}^2 = 0,000123 \text{ m}^2$

Reemplazando estos valores en la ecuación (8) se tiene:

$$\sigma_u = \frac{55345 \text{ N}}{123 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_u = 450 \text{ Mpa}$$

En la figura 17 se observa la probeta de acero 1020 fracturada

Figura 17. Probeta de Acero 1020 fracturada



Fuente: El Autor

El tipo de fractura de la probeta de Acero 1020 es una fractura de tipo dúctil, ya que comienza con la formación de un cuello y la formación de cavidades dentro de la zona de estrangulamiento. Luego las cavidades se fusionan en una grieta en el centro de la muestra y se propaga hacia la superficie en dirección perpendicular a la tensión aplicada. Cuando se acerca a la superficie, la grieta cambia su dirección a 45° con respecto al eje de tensión y resulta una fractura de cono y embudo.

6.6 DATOS DEL ENSAYO DE TENSION DEL ALUMINIO 7075

La tabla 3 muestra los datos obtenidos del ensayo de tensión para el Aluminio 7075.

Tabla 3. Tabla de datos obtenidos en el ensayo de tensión del Aluminio 7075

FUERZA <i>N</i>	ALARGAMIENTO <i>mm</i>	ESFUERZO <i>MPa</i>	DEFORMACION UNITARIA <i>mm/mm</i>
0	0	0	0
2071	0,03369739	16	0,00060174
38245	0,8545925	310	0,01526058
41896	1,6703491	360	0,029827663
44341	2,4874554	370	0,044418846
45578	3,305639	375	0,059029268
46180	4,1214142	380	0,073596682
46818	4,93788066	390	0,088175118
48008	5,7550197	395	0,102768209
48648	6,5716043	400	0,117350077
49270	7,389267	395	0,131951196
48665	8,2045813	390	0,14651038
47975	9,0225019	385	0,161116105
47404	9,8401585	375	0,175717116
46235	10,655953	370	0,190284875
45595	11,472112	360	0,204859143
44363	12,289081	340	0,219447875
41834	13,105885	330	0,234033661

40618	13,6559618	315	0,24385646
-------	------------	-----	------------

Fuente: El Autor

6.7 PROBETA Y GRAFICA DEL ESFUERZO DEFORMACION DEL ALUMINIO 7075

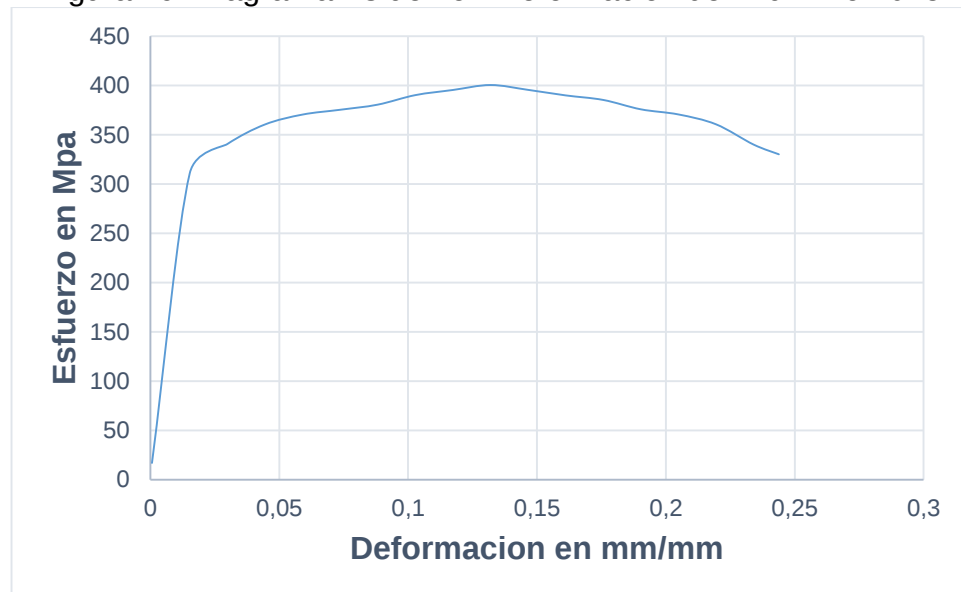
En la figura 18 y la figura 19 se observan la probeta de aluminio 7075 y el diagrama esfuerzo deformación del Aluminio 7075 respectivamente.

Figura 18. Probeta de aluminio 7075



Fuente El Autor

Figura 19. Diagrama Esfuerzo - Deformación del Aluminio 7075



Fuente: El Autor

6.8 CALCULO DEL MÓDULO DE YOUNG O ELASTICIDAD DEL ALUMINIO 7075

Para calcular el módulo de Young o elasticidad del Aluminio 7075 se toma la gráfica de esfuerzo – deformación, en la zona elástica se calcula la pendiente de la recta con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (9)$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad del material

σ_2 = Valor del esfuerzo mayor

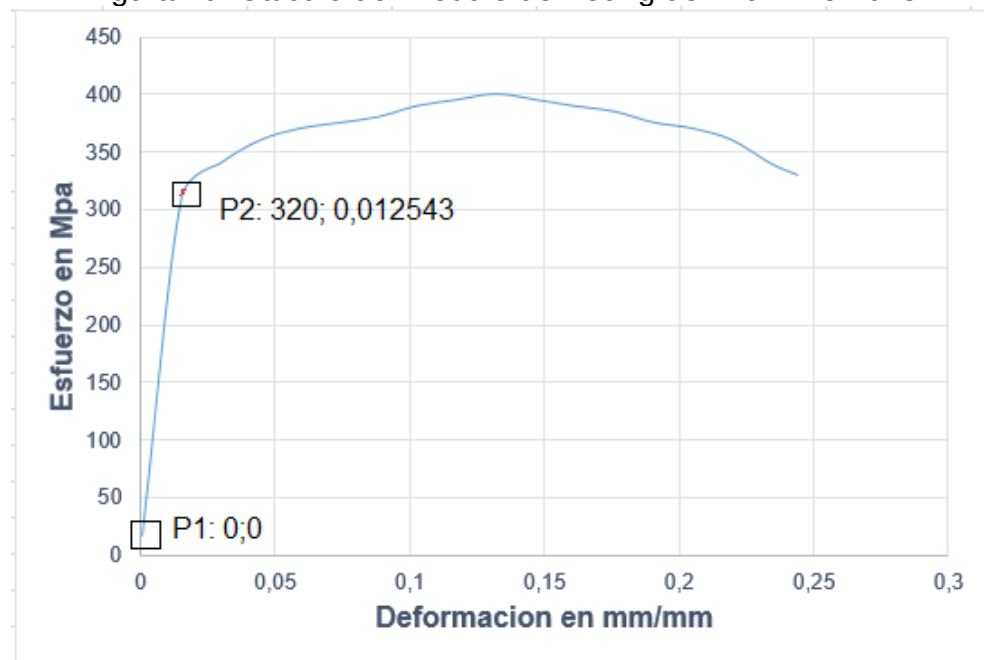
σ_1 = Valor del esfuerzo menor

ϵ_2 = Valor de la deformación mayor

ϵ_1 = Valor de la deformación menor

En la siguiente figura se muestran los puntos de la recta o zona elástica

Figura 20. Calculo del módulo de Young del Aluminio 7075



Fuente: El autor

Teniendo en cuenta los puntos de la recta mostrados anteriormente se reemplazan en la ecuación (9) como se observa a continuación.

$$E = \frac{320 \text{ MPa}}{0,012543 \text{ mm/mm}}$$

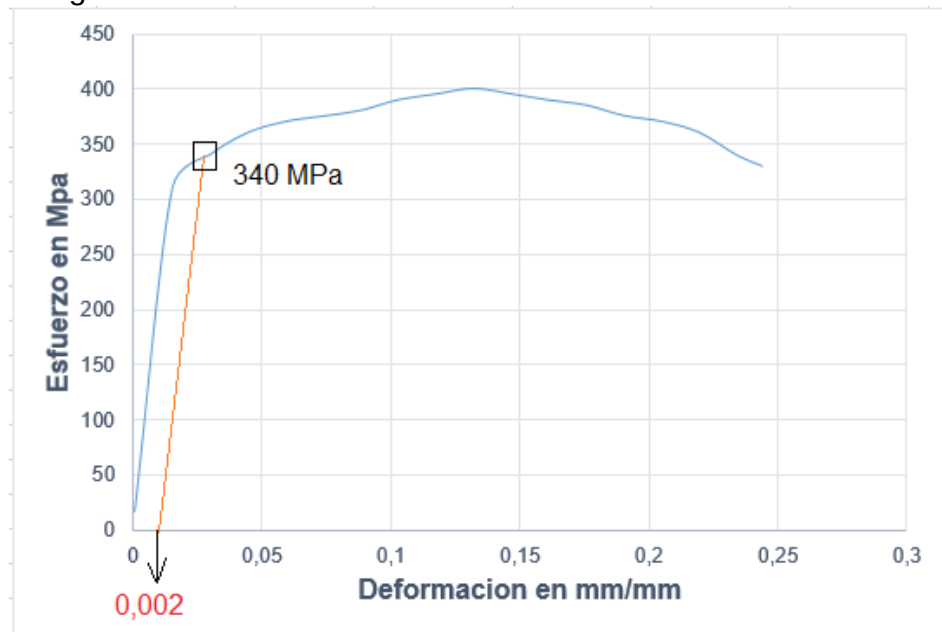
$$E = 67 \text{ GPa}$$

El módulo de elasticidad es 67 GPa

6.9 DETERMINACION DEL LÍMITE ELÁSTICO DEL ALUMINIO 7075

Para determinar el límite elástico del Aluminio 7075 se traza una línea paralela a la recta de la zona elástica desde el punto 0,002 mm en el eje de la deformación hasta que se corte con la curva, este punto de corte es el valor del límite elástico. La siguiente figura muestra la línea paralela a la recta de la zona elástica y el punto de corte, el cual es el valor del límite elástico.

Figura 21. Determinación del límite elástico del Aluminio 7075



Fuente: El Autor

De acuerdo a la gráfica anterior el cuadro negro indica el valor del límite elástico que es 340 Mpa.

6.10 CALCULO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN DEL ALUMINIO 7075

Para calcular la resistencia Última a la tensión del Aluminio 7075 se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_u = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (10)$$

Donde:

F_{max} = Fuerza máxima aplicada

A_o = Área Inicial

La fuerza máxima es 49345 N y el área inicial es $123 \text{ mm}^2 = 0,000123 \text{ m}^2$

Reemplazando estos valores en la ecuación (10) se tiene:

$$\sigma_u = \frac{49345 \text{ N}}{123 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_u = 400 \text{ MPa}$$

6.11 PROBETA DE ALUMINIO 7075 FRACTURADA

En la figura 22 se observa la Probeta de Aluminio 7075 fracturada.

Figura 22. Probeta de Aluminio 7075 fracturada



Fuente: El Autor

El tipo de fractura del aluminio 7075 es una fractura tipo frágil ya que se presenta con poca deformación. Este tipo de fractura ocurre a lo largo de planos cristalográficos específicos que son perpendiculares a la tensión aplicada.

La mayoría de las fracturas frágiles son o sea que se propagan a través de los granos. Pero si los límites de grano constituyen una zona de debilidad, es posible que la fractura se propague intergranularmente.

6.12 DATOS DEL ENSAYO DE TENSION DEL BRONCE SAE 40

En la tabla 4 se observan los datos obtenidos del ensayo de tensión para el Bronce SAE 40.

Tabla 4. Tabla de datos obtenidos del ensayo de tensión del Bronce SAE 40

FUERZA N	ALARGAMIENTO mm	ESFUERZO MPa	DEFORMACION UNITARIA mm/mm
0	0	0	0
4920	0,37282224	40	0,00665754
5467	0,53068008	55	0,00947643

6765	0,8757616	85	0,0156386
10455	1,3851376	95	0,0247346
11685	1,9844608	105	0,0354368
12915	3,1177552	120	0,0556742
14760	4,3643152	127	0,0779342
15621	5,5240416	135	0,0986436
16605	6,46058	140	0,1153675
17220	8,7542336	147	0,1563256
18081	10,8358992	155	0,1934982
19065	11,7014408	160	0,2089543
19680	13,1593056	165	0,2349876
20295	14,4907392	173	0,2587632
21279	15,6673328	177	0,2797738
21771	16,6061784	180	0,2965389
22140	17,7988888	185	0,3178373
22755	19,6356888	195	0,3506373
23985	21,0228592	205	0,3754082
25215	22,1557952	210	0,3956392
25830	24,021004	220	0,4289465
27060	25,7002704	225	0,4589334
27675	27,2482168	230	0,4865753
28290	29,6724792	240	0,5298657
29520	30,5122104	245	0,5448609
30135	31,8611664	250	0,5689494
30750	33,4590592	255	0,5974832
31365	36,5732248	260	0,6530933
31980	38,3251064	253	0,6843769
31119	40,2346448	244	0,7184758
30012	41,2433952	237	0,7364892
29151	42,4190592	230	0,7574832

Fuente: El Autor

6.13 PROBETA DE BRONCE Y GRAFICA EN EXCEL DIAGRAMA ESFUERZO – DEFORMACIÓN DEL BRONCE SAE 40

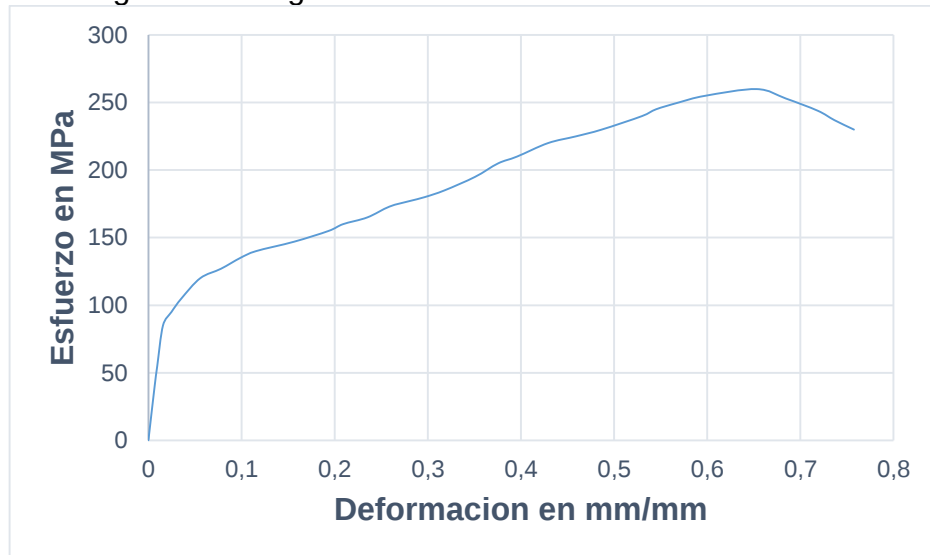
En la figura 23 y la figura 24 se observan la probeta de Bronce SAE 40 y el diagrama esfuerzo deformación del Bronce SAE 40 respectivamente.

Figura 23. Probeta de Bronce SAE 40



Fuente: El Autor

Figura 24. Diagrama Esfuerzo Deformación del Bronce



Fuente: El Autor

6.14 CALCULO DEL MÓDULO DE YOUNG O ELASTICIDAD DEL BRONCE SAE 40

Para calcular el módulo de Young o elasticidad del Bronce SAE 40 se toma la gráfica de esfuerzo – deformación, en la zona elástica se calcula la pendiente de la recta con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (11)$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad del material

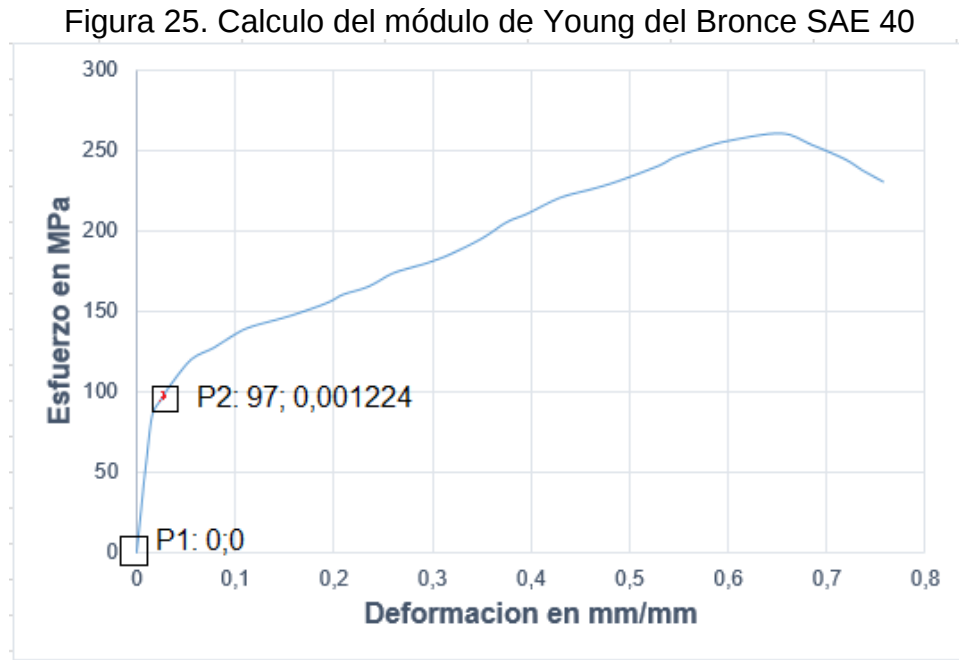
σ_2 = Valor del esfuerzo mayor

σ_1 = Valor del esfuerzo menor

ϵ_2 = Valor de la deformación mayor

ϵ_1 = Valor de la deformación menor

En la siguiente figura se muestran los puntos de la recta o zona elástica



Fuente: El Autor

Teniendo en cuenta los puntos de la recta mostrados anteriormente se reemplazan en la ecuación (12) como se observa a continuación.

$$E = \frac{97 \text{ MPa}}{0,001224 \text{ mm/mm}}$$

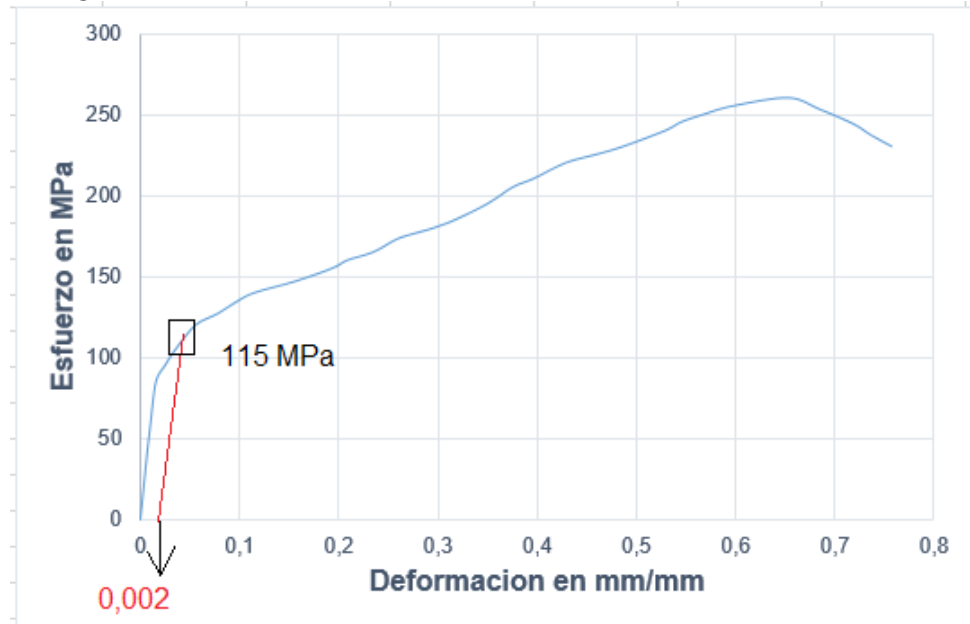
$$E = 80 \text{ GPa}$$

El módulo de elasticidad es 80 GPa

6.15 DETERMINACION DEL LÍMITE ELÁSTICO DEL BRONCE SAE 40

Para calcular el límite elástico del Bronce SAE 40 se traza una línea paralela a la recta de la zona elástica desde el punto 0,002 mm en el eje de la deformación hasta que se corte con la curva, este punto de corte es el valor del límite elástico. La siguiente figura muestra la línea paralela a la recta de la zona elástica y el punto de corte, el cual es el valor del límite elástico.

Figura 26. Determinación del límite elástico del Bronce SAE 40



Fuente: El Autor

De acuerdo a la gráfica anterior el cuadro negro indica el valor del límite elástico que es 115 *Mpa*.

6.16 CALCULO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN DEL BRONCE SAE 40

Para calcular la resistencia Última a la tensión del Bronce SAE 40 se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_u = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (12)$$

Donde:

F_{max} = Fuerza máxima aplicada

A_0 = Área Inicial

La fuerza máxima es 33145 *N* y el área inicial es $123 \text{ mm}^2 = 0,000123 \text{ m}^2$

Reemplazando estos valores en la ecuación (12) se tiene:

$$\sigma_u = \frac{33145 \text{ N}}{123 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_u = 255 \text{ Mpa}$$

6.17 PROBETA DE BRONCE SAE 40 FRACTURADA

En la figura 27 se muestra la probeta de Bronce SAE 40 fracturada.

Figura 27. Probeta de Bronce SAE 40 fracturada



Fuente: El Autor

El tipo de fractura de la probeta de Bronce SAE 40 es una fractura tipo dúctil, ya que comienza con la formación de un cuello y la formación de cavidades dentro de la zona de estrangulamiento. Luego las cavidades se fusionan en una grieta en el centro de la muestra y se propaga hacia la superficie en dirección perpendicular a la tensión aplicada. Cuando se acerca a la superficie, la grieta cambia su dirección a 45° con respecto al eje de tensión y resulta una fractura de cono y embudo.

6.18 ANALISIS Y COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DURANTE EL ENSAYO DE TENSION

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de los materiales sometidos en el ensayo de tensión, como el límite de fluencia, el módulo de Young y la resistencia última de tensión.

Tabla 5. Resultados obtenidos del ensayo de tensión

Material	Modulo Young GPA	Límite Fluencia MPA	Resistencia última MPA
Acero 1020	215	350	450
Aluminio 7075	67	340	400
Bronce SAE 40	80	115	255

Fuente: El Autor

A continuación se muestra el diagrama esfuerzo deformación de los tres materiales Acero 1020, aluminio y bronce

Figura 28. Diagrama Esfuerzo deformación de Acero 1020 Aluminio y Bronce



Fuente: El Autor

En la figura 28 se observa el diagrama esfuerzo deformación de los tres materiales, la curva azul representa el comportamiento del Acero 1020, la curva naranja representa el comportamiento del Aluminio 7075 y la curva gris representa el comportamiento del Bronce SAE 40.

Teniendo en cuenta figura 28 y la tabla 5 donde se muestran los datos y el comportamiento de cada material, se puede decir que el Bronce SAE 40 es más dúctil que el Aluminio 7075, ya que presenta una mayor deformación plástica, pese a que tenga una menor resistencia última de tensión. Por otro lado el Acero 1020 es el material que tiene una mayor resistencia última de tensión en comparación con los otros dos materiales, lo que hace que sea un material más dúctil que el aluminio 7075 y el Bronce SAE 40, pese a que presenta poca deformación plástica. Con respecto al Aluminio 7075 es más frágil que el Acero 1020 ya que tiene una menor resistencia última de tensión, de igual manera el Aluminio 7075 es más frágil que el Bronce SAE 40 ya que posee poca deformación plástica.

7 ACTIVIDAD PRACTICA SIMULACION DEL ENSAYO DE TENSION POR METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

La siguiente actividad consiste en la simulación del ensayo de tensión por el método de los elementos finitos. Inicialmente se menciona un breve concepto del método de los elementos finitos, y posteriormente se menciona un ejemplo ilustrativo de la aplicación de este método.

7.1 METODO POR ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales. Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo [6].

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo [6].

El método de los elementos finitos como formulación matemática es relativamente nuevo; aunque su estructura básica es conocida desde hace bastante tiempo, en los últimos años ha sufrido un gran desarrollo debido a los avances informáticos. Han sido precisamente estos avances informáticos los que han puesto a disposición de los usuarios gran cantidad de Introducción al método de los elementos finitos [6].

7.2 PASOS PARA REALIZAR UN ANALISIS POR METODO DE ELEMENTOS FINITOS

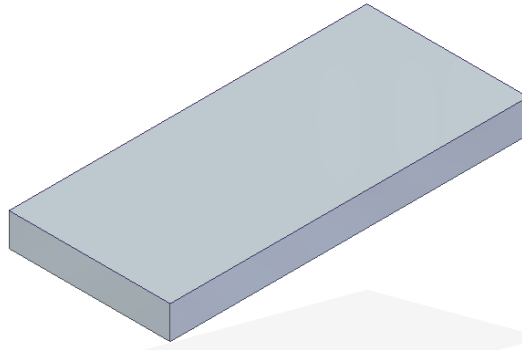
Los numerales que se muestran a continuación describen un ejemplo de una placa de Acero para el modelado y análisis por el método de elementos finitos.

7.2.1 Definición del problema

Para realizar un análisis por medio del método de los elementos finitos (FEM) primero es necesario definir el tipo de problema, en este caso el problema a trabajar es de tipo estático estructural.

En la siguiente figura se muestra una placa de acero la cual será analizada por FEM aplicando una carga en un extremo y en el otro extremo una restricción, para observar los esfuerzos que se presentan.

Figura 29. Diseño CAD de la placa



Fuente: El Autor

7.2.2 Definición de las propiedades mecánicas del material

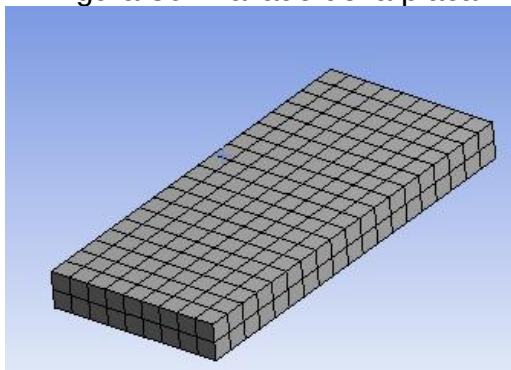
Para definir las propiedades mecánicas del material de la placa, se establece el módulo de Young, el límite de fluencia, la resistencia ultima.

7.2.3 Definición de la malla

La malla es una herramienta importante en el análisis de elementos finitos ya que por medio de esta permite que los resultados esperados sean precisos y con el mínimo error posible. Existen diferentes tipos de mallas como tetraédricas, hexagonales.

La siguiente figura muestra el mallado de la placa

Figura 30. Mallado de la placa



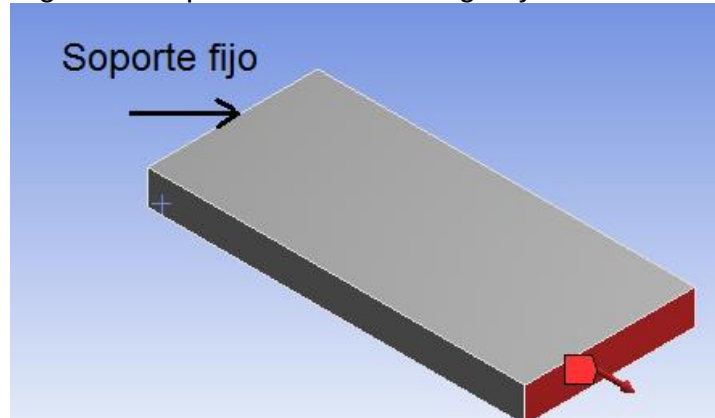
Fuente: El Autor

7.2.4 Aplicación de las cargas y restricciones del problema

La placa va a estar sometida por una carga de 10 KN en un extremo y en el otro extremo estará sujeta por un soporte fijo.

En la siguiente figura se observan las condiciones del problema.

Figura 31. Aplicación de las cargas y restricciones

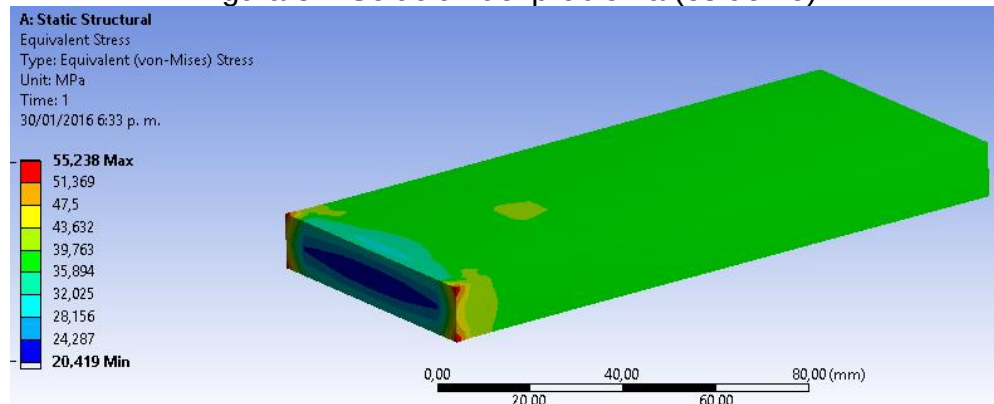


Fuente: El Autor

7.2.5 Solución del problema

Finalmente se obtiene la solución del problema, se pueden analizar los esfuerzos generados y las deformaciones, la siguiente figura muestra la solución con los resultados obtenidos.

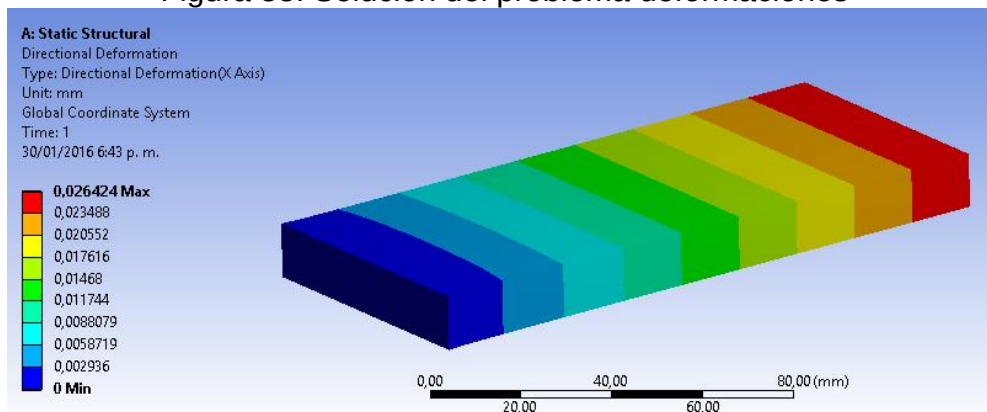
Figura 32. Solución del problema (esfuerzo)



Fuente: El Autor

Para la interpretación de los esfuerzos generados se tiene la tabla de colores a la izquierda la cual indica la intensidad del esfuerzo que se está generando en la placa.

Figura 33. Solución del problema deformaciones



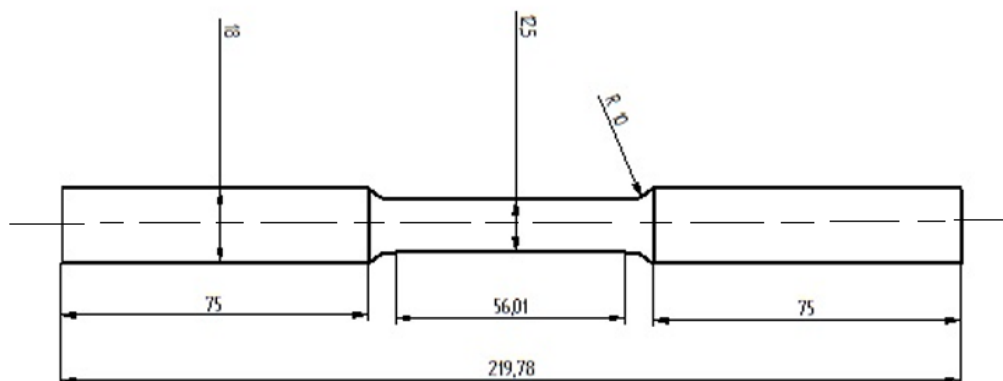
Fuente: El Autor

Para la interpretación de las deformaciones generadas se tiene la tabla de colores a la izquierda la cual indica la intensidad de la deformación que se está generando en la placa.

7.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACION DEL ENSAYO DE TENSION

En el siguiente tutorial se explicara el procedimiento para realizar la simulación del ensayo de tensión de una probeta. El ejercicio consiste en tener una probeta de acero 1020 la cual va estar sometida a una carga determinada en un extremo, y en el otro extremo estará sometida por un soporte fijo. Las dimensiones de la probeta se muestran en la figura 34.

Figura 34. Dimensiones de la probeta

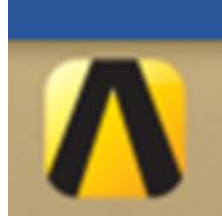


Fuente: El Autor

Para realizar la simulación del ensayo de tensión en el software ANSYS se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Abrir el software ANSYS por medio del siguiente icono

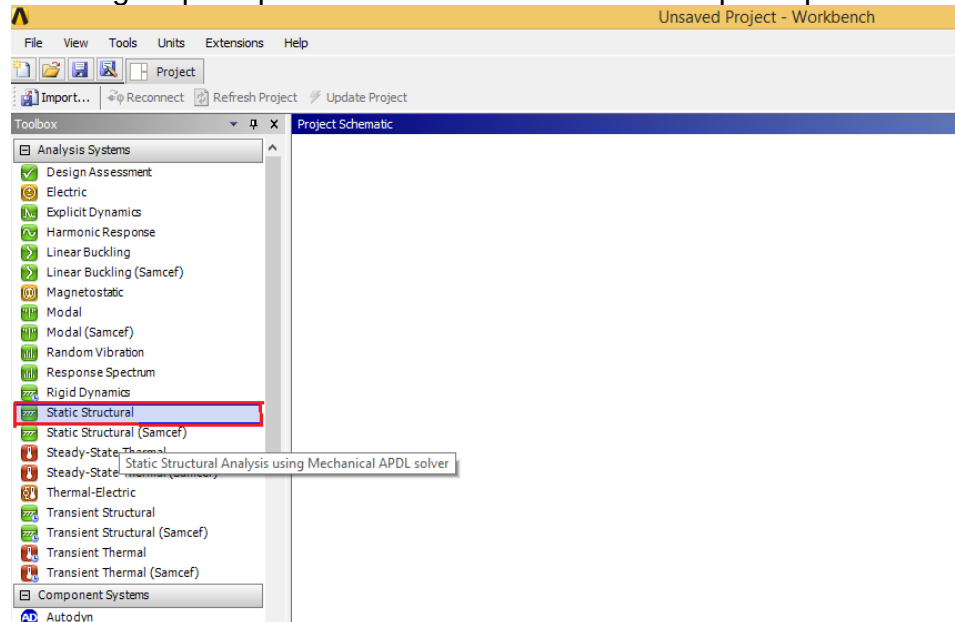
Figura 35. Icono del software ANSYS



Fuente: El Autor

- Estando en la ventana principal hacer doble click en la opción *Static structural* para resolver un problema estático estructural como se muestra en la siguiente figura.

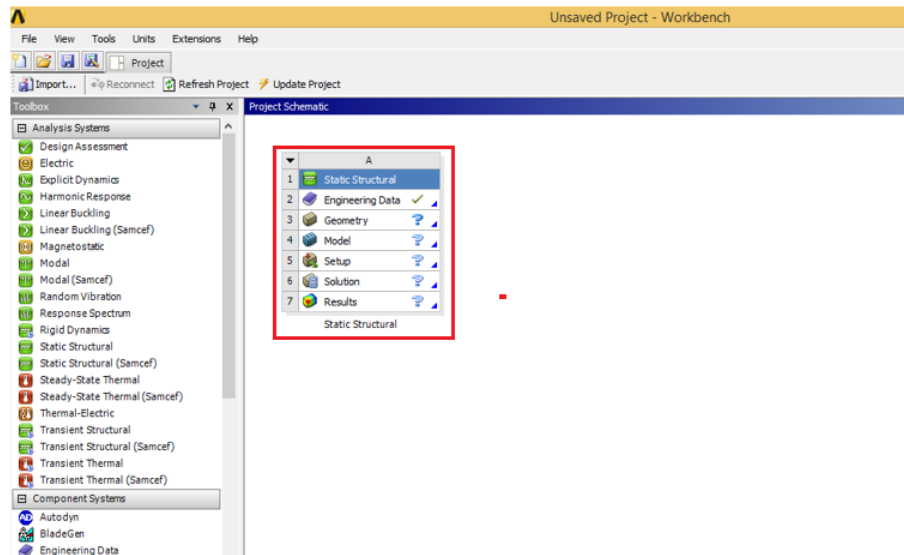
Figura 36. Página principal de ANSYS selección de la opción problema estático



Fuente: El Autor

- Luego de abrir la opción de análisis estático estructural (*Static structural*), aparece la ventana para la realización del modelo. En esta ventana se pueden configurar los materiales, la geometría del modelo, el análisis del modelo, la solución y los resultados como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 37. Ventana de configuración del modelo y el problema a solucionar



Fuente: El Autor

- Para configurar el tipo de material y las propiedades mecánicas se debe hacer doble click en la opción *Engineering data*, la cual permite seleccionar el tipo de material y sus propiedades mecánicas como el módulo de Young, el coeficiente de Poisson entre otras. El valor del Módulo de Young es 205 *GPa*, el coeficiente de Poisson es 0,3, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 38. Configuración y selección del material y propiedades mecánicas

Filter Engineering Data | Engineering Data Sources

Toolbox

- Physical Properties
 - Density
 - Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion
 - Orthotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion
 - Isotropic Instantaneous Coefficient of Thermal Expansion
 - Orthotropic Instantaneous Coefficient of Thermal Expansion
- Linear Elastic
 - Isotropic Elasticity
 - Orthotropic Elasticity
 - Anisotropic Elasticity
- Hyperelastic Experimental Data
 - Uniaxial Test Data
 - Biaxial Test Data
 - Shear Test Data
 - Volumetric Test Data
 - Simple Shear Test Data
 - Uniaxial Tension Test Data
 - Uniaxial Compression Test Data
- Hyperelastic
 - Neo-Hookean
 - Arruda-Boyce
 - Gent
 - Blatz-Ko
 - Mooney-Rivlin 2 Parameter
 - Mooney-Rivlin 3 Parameter
 - Mooney-Rivlin 5 Parameter
 - Mooney-Rivlin 9 Parameter
 - Polynomial 1st Order
 - Polynomial 2nd Order
 - Polynomial 3rd Order

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	source		Description
2	Material			
3	Steel 1020			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: Steel 1020

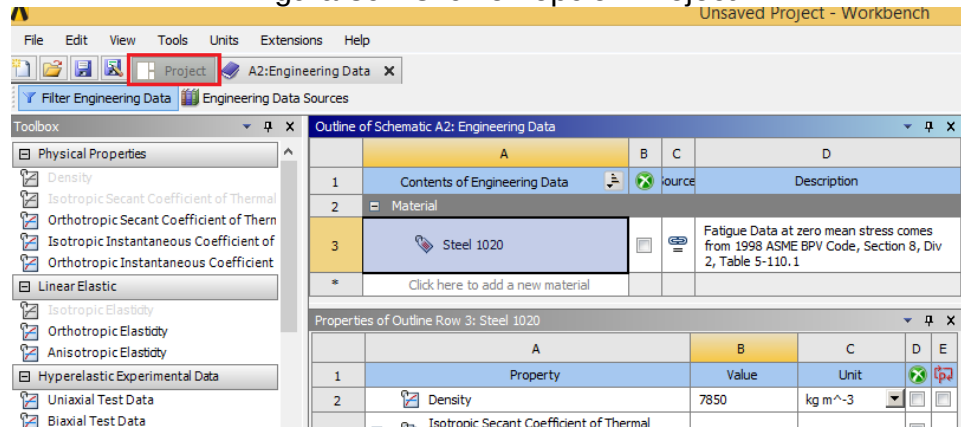
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m ⁻³		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
4	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
5	Reference Temperature	22	C		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's M...			
8	Young's Modulus	2E+05	MPa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	250	MPa		
25	Compressive Yield Strength	250	MPa		
26	Tensile Ultimate Strength	460	MPa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Young's Modulus (x10³) [MPa]

Fuente: El Autor

- Para regresar a la ventana principal, se hace click en la opción *Project*, la cual se encuentra ubicada en la parte superior izquierda de la pantalla como se muestra en la siguiente figura.

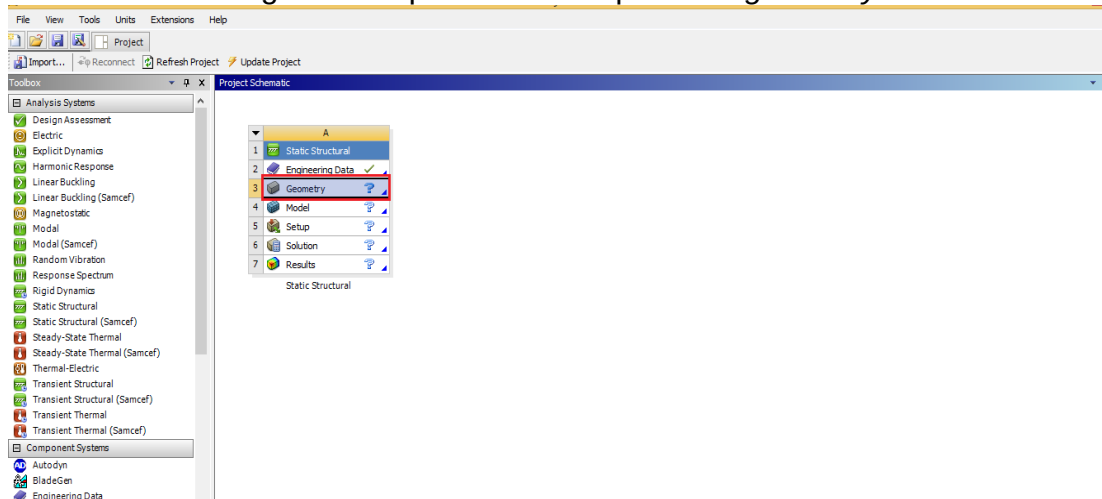
Figura 39. Click en opción Project



Fuente el Autor

- Para la realización de la geometría CAD del modelo se puede ejecutar en el mismo ANSYS, o bien se puede hacer en otro software CAD de diseño. Una vez realizado el diseño en algún software CAD, este debe ser guardado como extensión iges o step. Para abrir el archivo de diseño en ANSYS, se hace doble click en *geometry* como se observa en la siguiente figura.

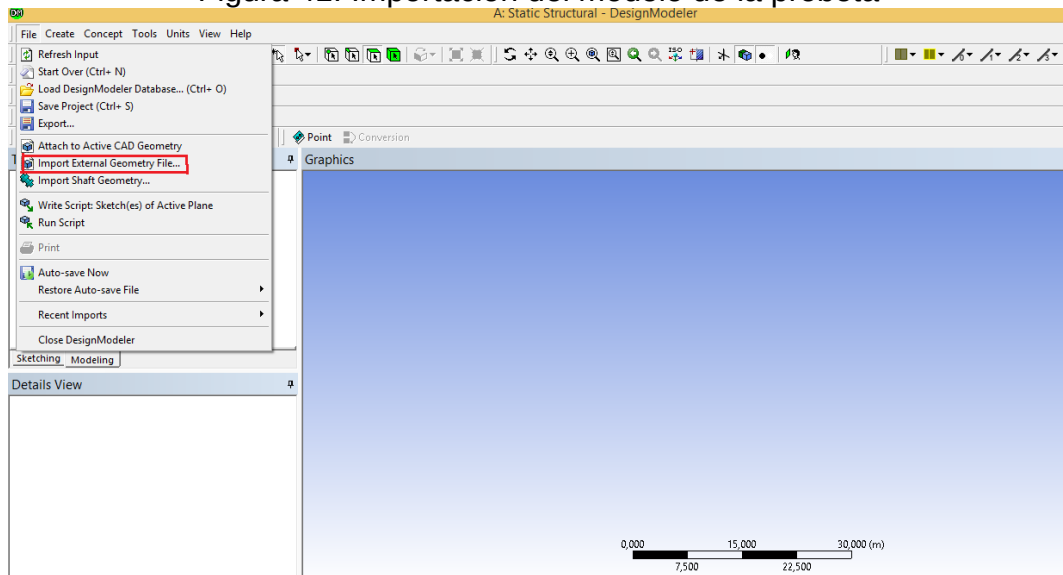
Figura 40. Apertura de la opción de *geometry*



Fuente: El Autor

- luego se abrirá la ventana del ambiente de creación del diseño, luego hacer click en el menú *file* y después hacer click en *import external geometry file* como se observa en la siguiente figura.

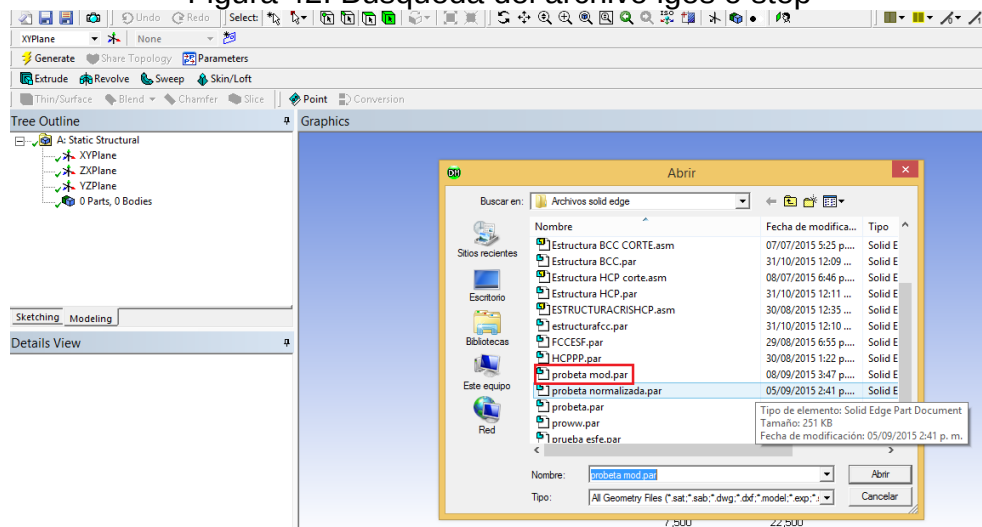
Figura 41. Importación del modelo de la probeta



Fuente: El Autor

- Buscar el archivo iges o step, el cual se llama “probeta mod.par iges” y seleccionarlo como se muestra en la siguiente figura.

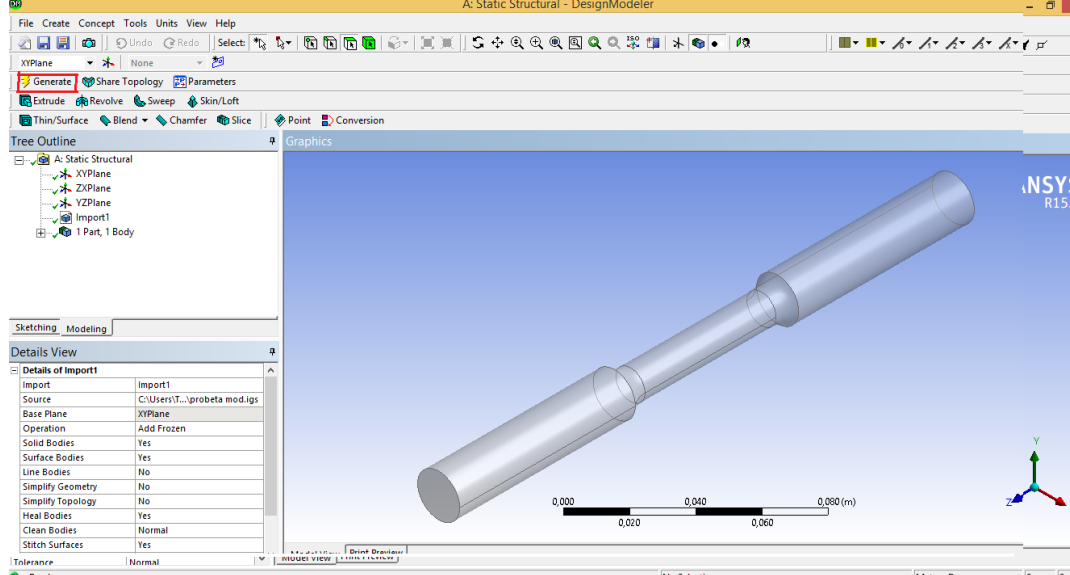
Figura 42. Búsqueda del archivo iges o step



Fuente: El Autor

- Luego hacer click en *generate* para crear el diseño CAD, este proceso dura unos minutos como se aprecia en la siguiente figura.

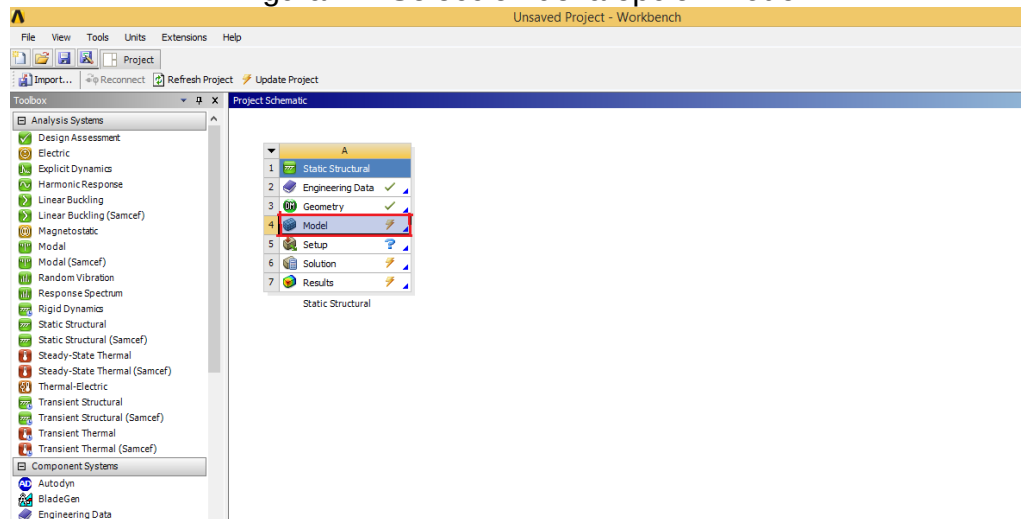
Figura 43. Creación del diseño CAD



Fuente: El Autor

- Para regresar a la ventana principal se puede cerrar la ventana de geometría o se puede minimizar. Después de tener el modelo CAD, se puede realizar el análisis por elementos finitos, hacer doble click en la opción *model*, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 44. Selección de la opción *model*

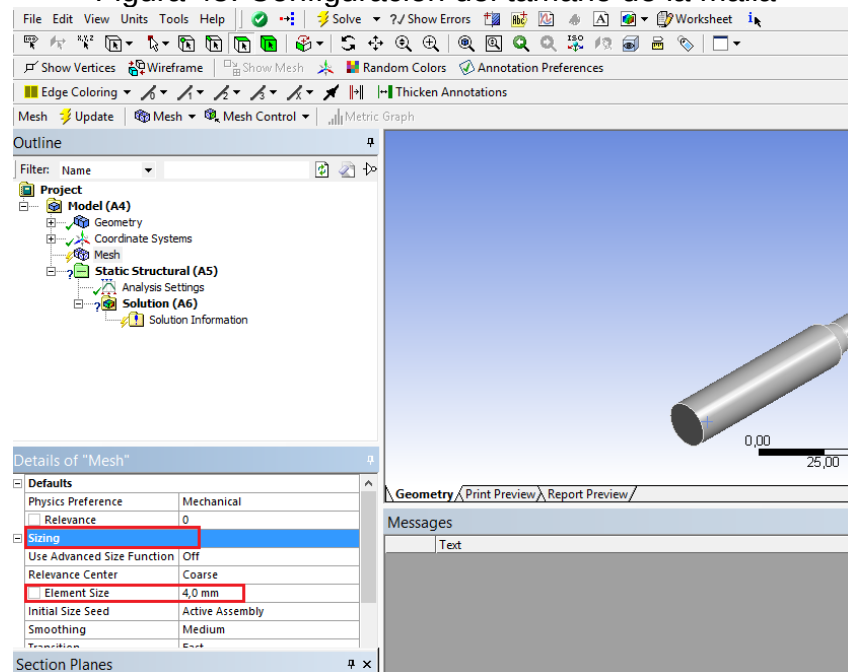


Fuente: El Autor

- Una vez estando en la ventana de configuración del modelo, se empieza por generar la malla. Para realizar esta operación se hace click en la opción *mesh*. En la parte inferior aparecen las opciones de configuración como el tamaño de la malla, el tipo de la malla, etc. En este caso se coloca un tamaño determinado de

mallas como por ejemplo 4 mm. Para poner el valor de la malla se despliega la opción *sizing* y se pone el valor en *element size*, como se muestra en la siguiente figura.

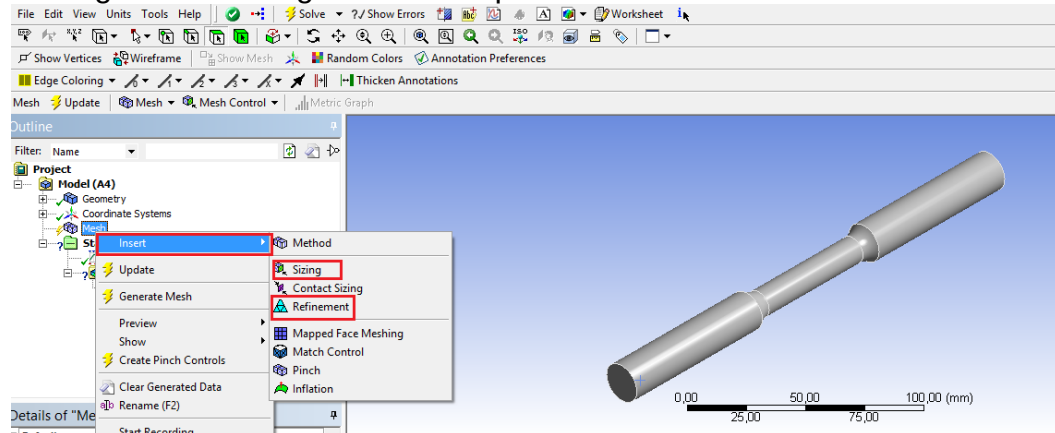
Figura 45. Configuración del tamaño de la malla



Fuente: El Autor

- Para configurar la malla, se selecciona la sección de interés y se aplican los correspondientes refinamientos de la malla en la probeta. Para esto, se hace click derecho en la opción *mesh*, luego en *insert* donde se despliegan las opciones de *sizing* (medida) y *refinement* (redefinir) como se muestra en la siguiente figura.

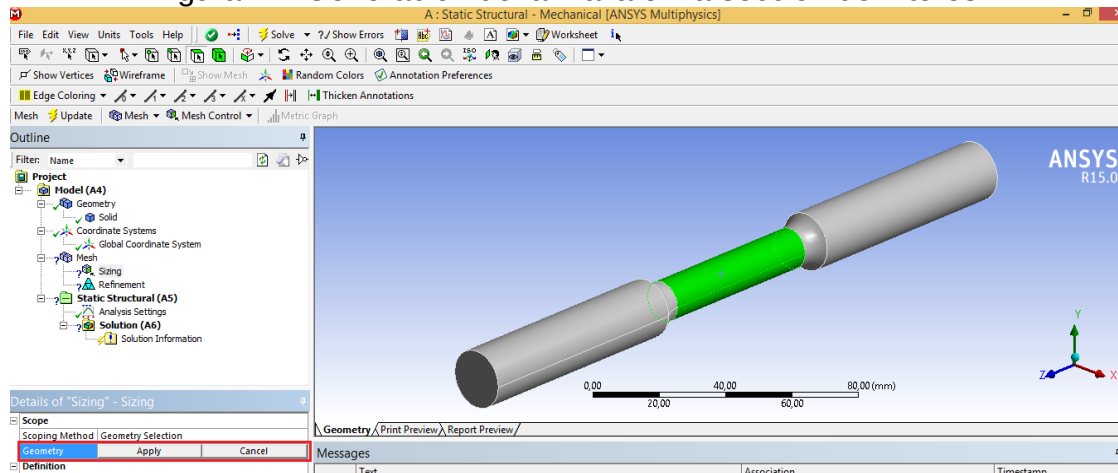
Figura 46. Configuración del tipo de malla en la sección de interés



Fuente: El Autor

- Hacer primero click en *sizing*, y seleccionar la sección la cual se va a analizar, para el caso de la probeta la sección de interés a analizar es la sección delgada, una vez seleccionada dicha sección, se hace click en *geometry* y *apply* como se aprecia en la siguiente figura.

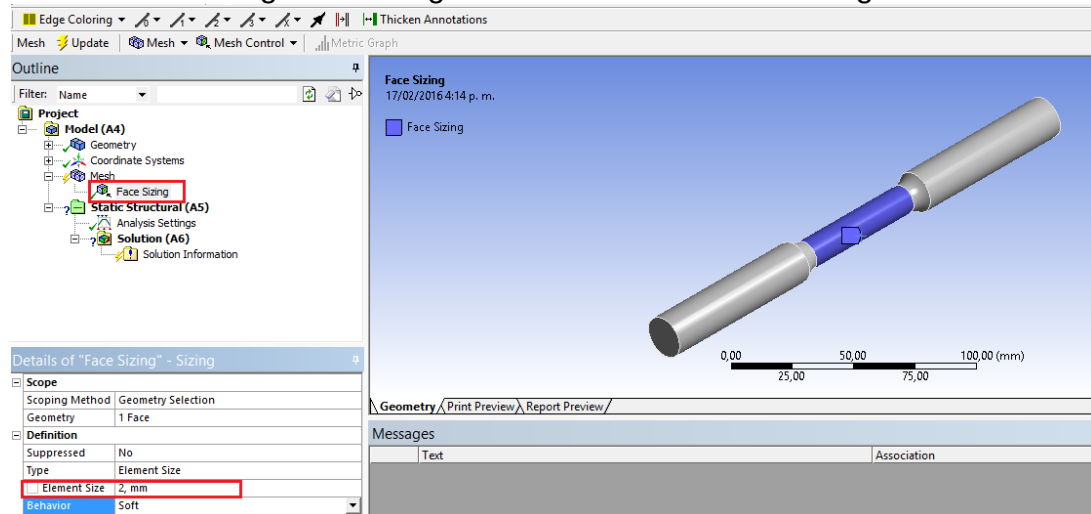
Figura 47. Generación de la malla en la sección de interés



Fuente: El Autor

- Para poner el valor de *face sizing*, hacer click en esta opción y luego hacer click en la parte inferior izquierda en *element size*, en este espacio se pone un valor como por ejemplo 2 mm como se observa en la siguiente figura.

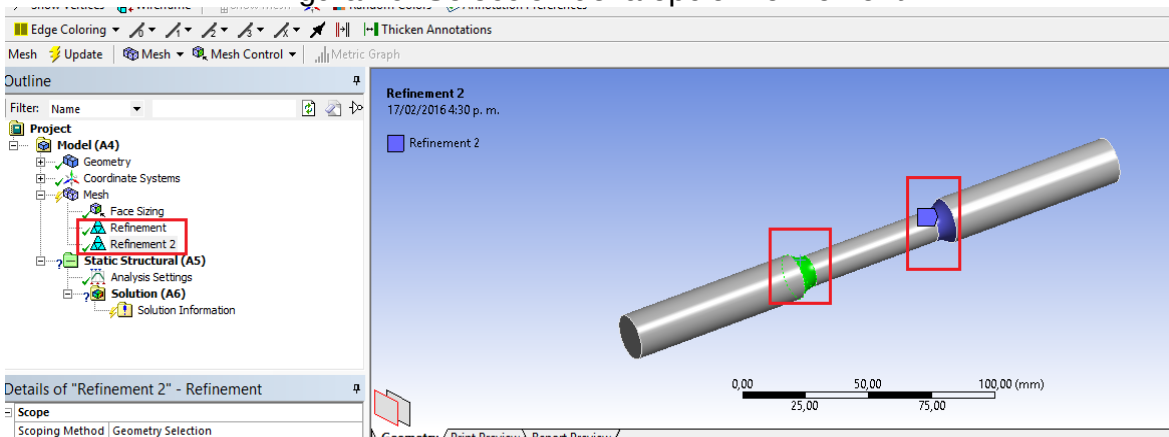
Figura 48. asignacion del valor de face sizing



Fuente: El Autor

- De igual forma hacer click en *mesh*, luego en *insert* y *refinement* para redefinir la malla en cada una de las reducciones de sección o concentradores de esfuerzo de la probeta, (un concentrador de esfuerzos es un cambio de sección de la geometría analizada lo que provoca un aumento en el esfuerzo local), hay que tener en cuenta que se deben aplicar dos *refinements* realizando el mismo procedimiento, ya que son dos los concentradores de esfuerzo como se muestra en la siguiente figura.

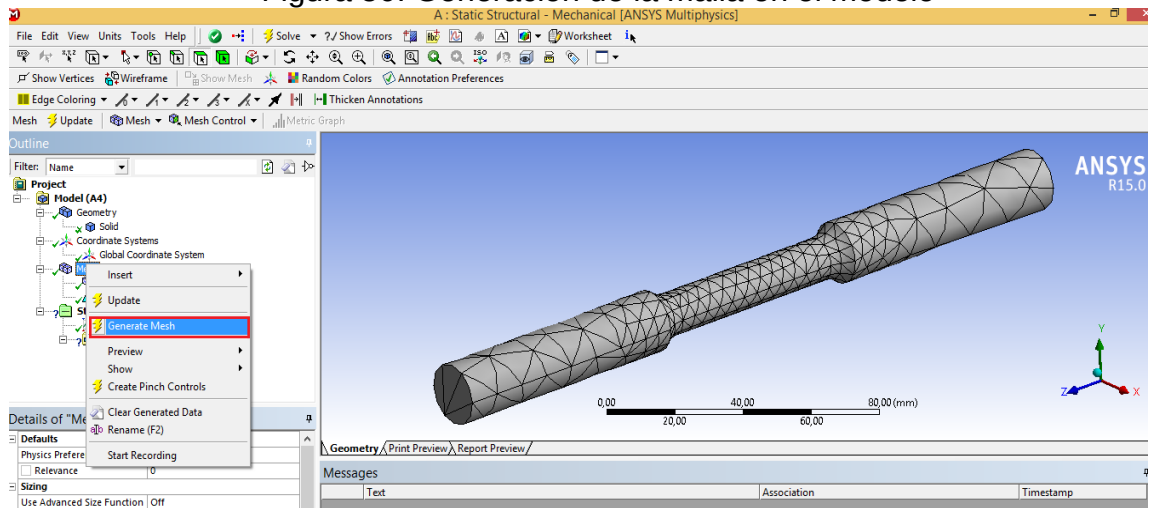
Figura 49. Selección de la opción *refinement*



Fuente: El Autor

- Generar la malla haciendo click derecho en *mesh*, luego hacer click en *generate mesh* como se muestra en la siguiente figura.

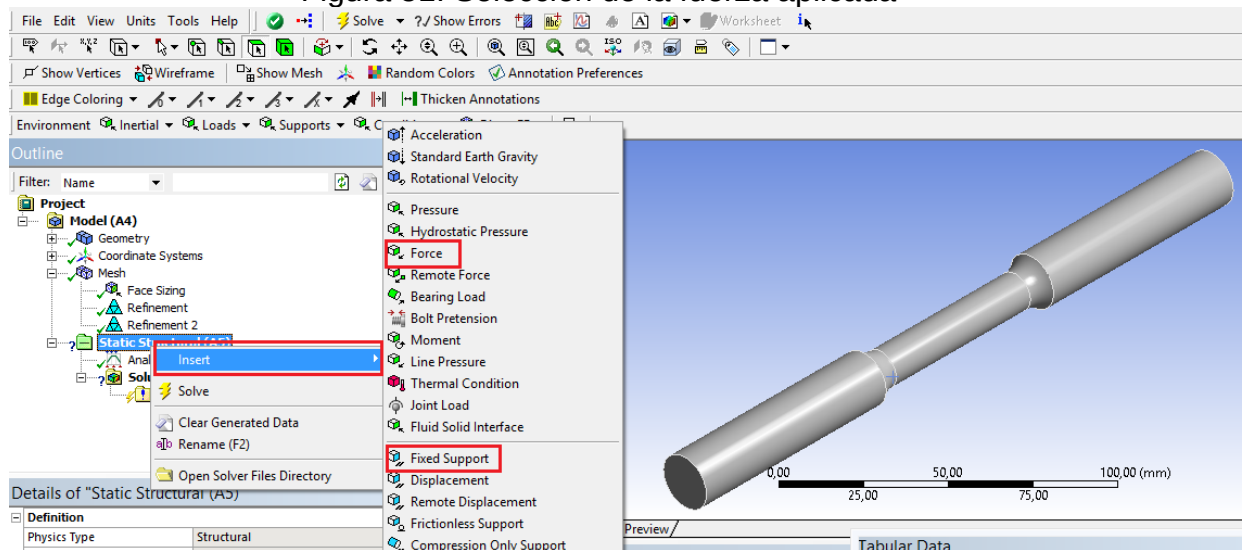
Figura 50. Generación de la malla en el modelo



Fuente: El Autor

- Luego de haber generado y configurado la malla se debe hacer click derecho en la opción de *static structural* y luego en *insert*, lo cual permite aplicar las restricciones (*fixed support*) y fuerzas (*force*) con las que la probeta va a estar sometida como se muestra en la siguiente figura.

Figura 51. Selección de la fuerza aplicada

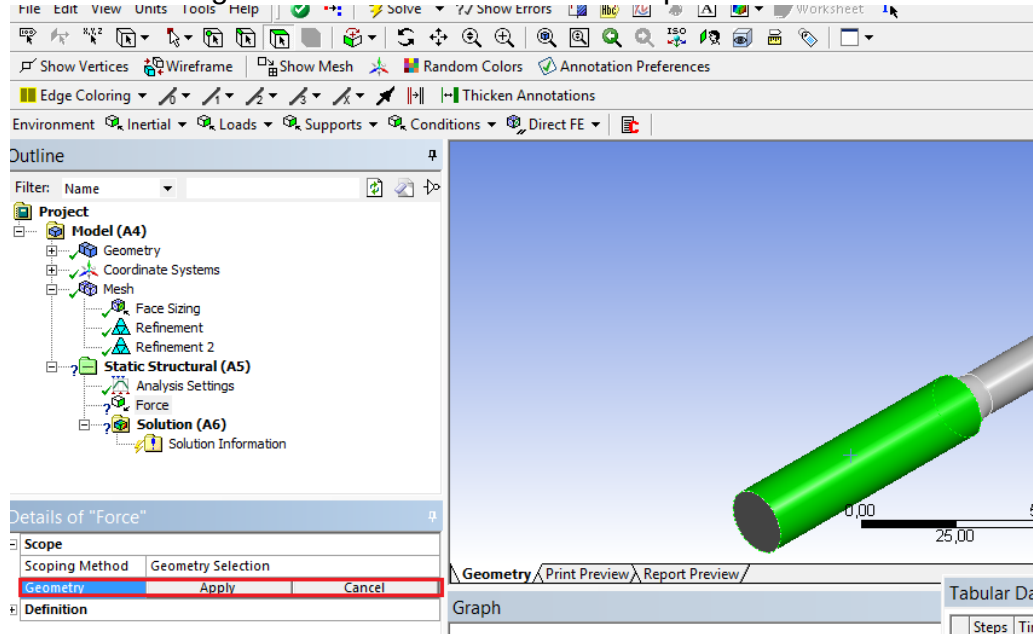


Fuente: El Autor

- Hacer primero click en *force* para aplicar la correspondiente carga a la cual va a estar sometida la probeta, simulando que está sujeta a una de las mordazas de la maquina universal, la carga se ubica en un extremo de la probeta y se debe

seleccionar dicho extremo, luego hacer click en *geometry* y en *apply*, como se aprecia en la siguiente figura.

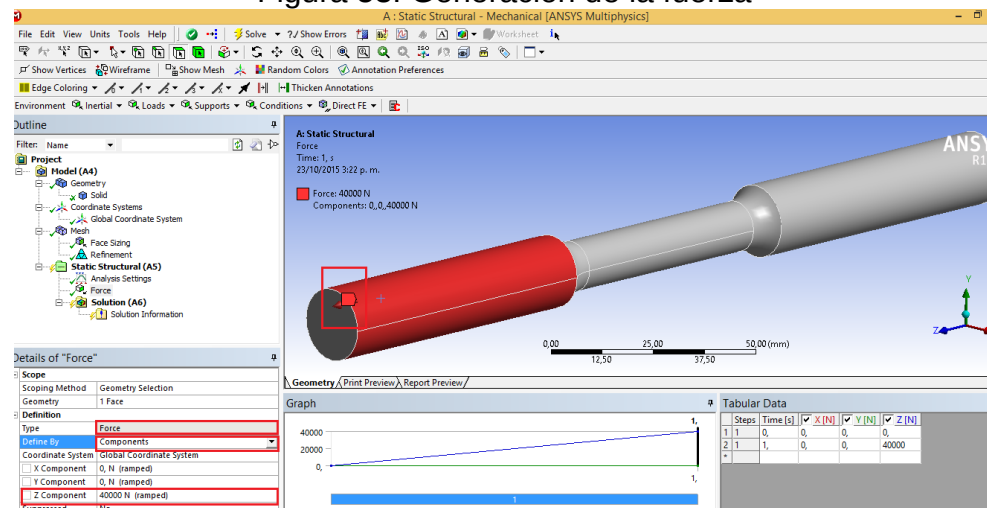
Figura 52. Sección en donde se aplica la fuerza



Fuente: El Autor

- Para aplicar el valor de la fuerza se hace click en la pestaña de *define by* y hacer click en *components*, y luego hacer click en la dirección en la que va la fuerza que en este caso es la dirección z ya que el extremo va sobre el eje z, el valor de la fuerza es por ejemplo 40000 N y se escribe en la dirección z, como se muestra en la siguiente figura.

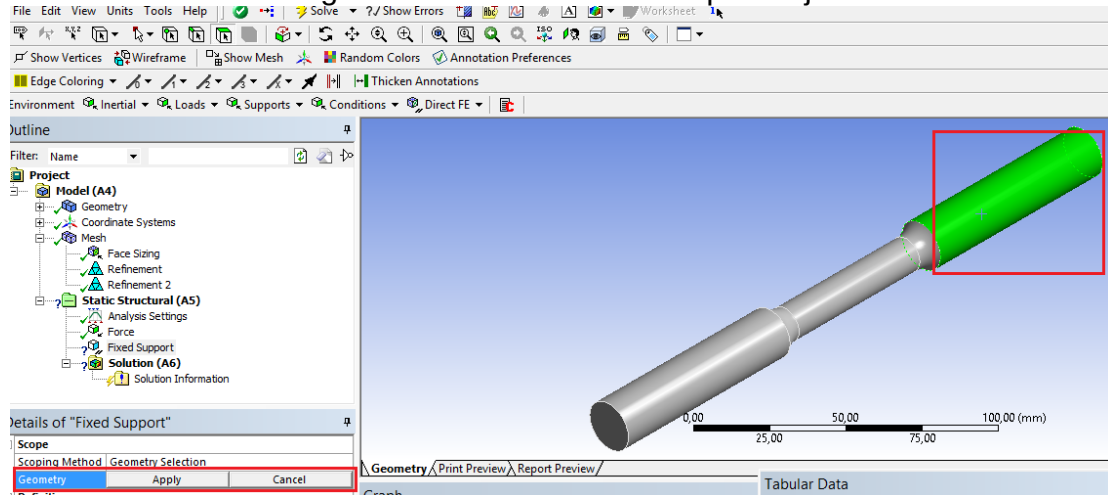
Figura 53. Generación de la fuerza



Fuente: El Autor

- De igual forma hacer click en *fixed support* luego en *gemetry* y *apply* para aplicar una restricción que en este caso es un soporte fijo el cual debe ser ubicado en el otro extremo de la probeta como se muestra en la siguiente figura.

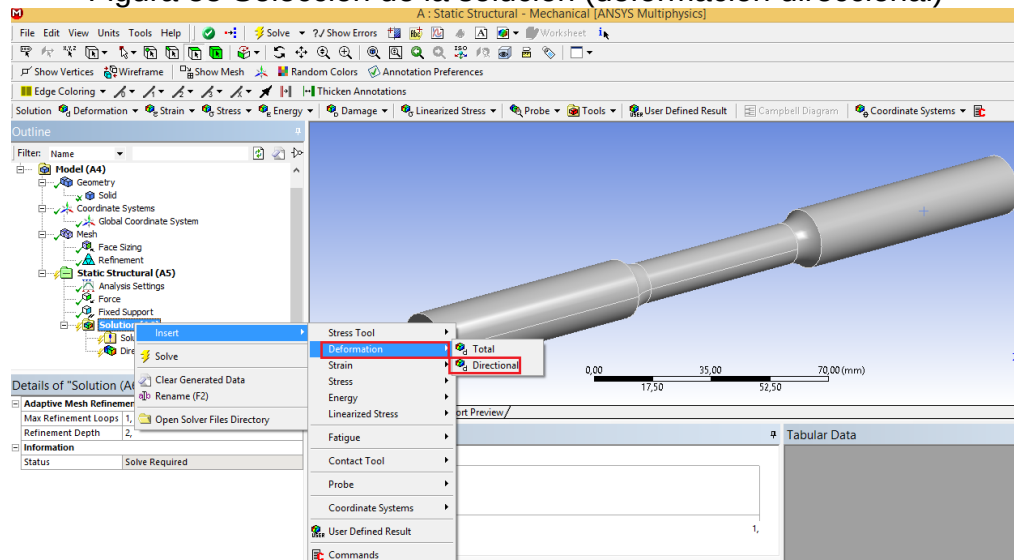
Figura 54. Generación del soporte fijo



Fuente: El Autor

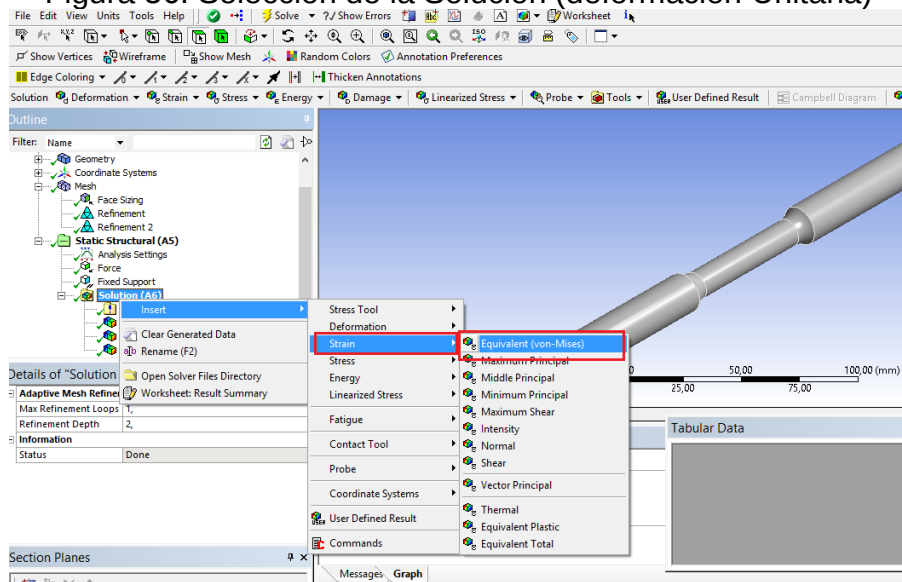
- Una vez establecidas las cargas y restricciones, se configura la solución del problema. Para llevar a cabo este paso, se hace click derecho en la opción *solution* donde aparecen las diferentes opciones de solución como la deformación, esfuerzo entre otras. En este caso se va a medir y analizar el esfuerzo y la deformación, para la deformación total se hace click en *insert* luego *deformation* y luego en *directional*, como se ve en la figura 55. Para la deformación unitaria se hace click en *strain* y luego en *equivalent strain Von mises* como se muestra en la figura 56.

Figura 55 Selección de la solución (deformación direccional)



Fuente: El Autor

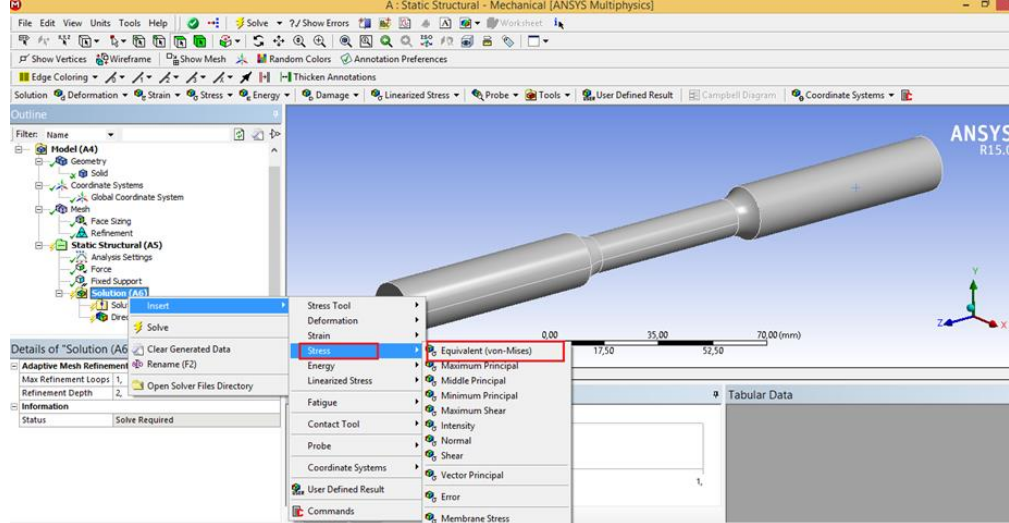
Figura 56. Selección de la Solución (deformación Unitaria)



Fuente: El Autor

- De igual forma hacer click en *stress*, luego click en *insert* y click en *Equivalent Von mises*, para aplicar el esfuerzo el cual es el esfuerzo de Von Mises como se muestra en la siguiente figura.

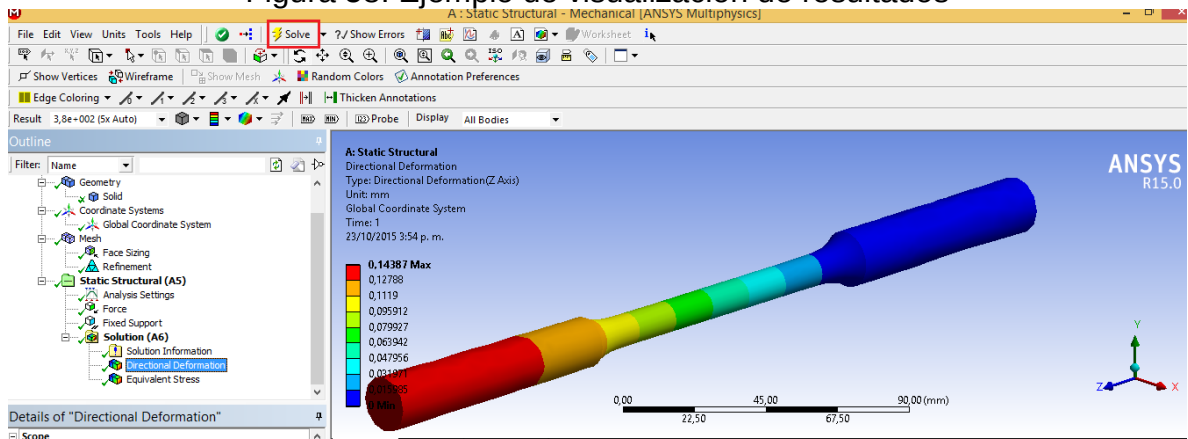
Figura 57 Selección de la solución del esfuerzo (equivalente de von mises)



Fuente: El Autor

- Finalmente para solucionar el problema se hace click en *solve* para poder observar la deformación y el esfuerzo generado como se muestra en la siguiente figura.

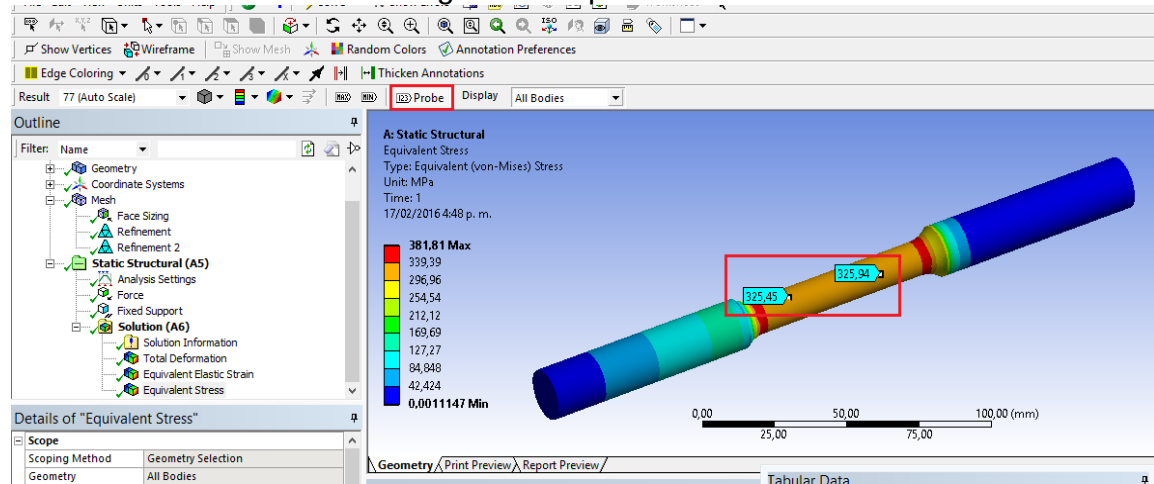
Figura 58. Ejemplo de visualización de resultados



Fuente: El Autor

- Para observar el esfuerzo y la deformación en cualquier punto determinado de la probeta se hace click en la opción *probe* y luego seleccionar el punto de interés, en este caso el punto de interés es la sección delgada de la probeta como se aprecia en la siguiente figura.

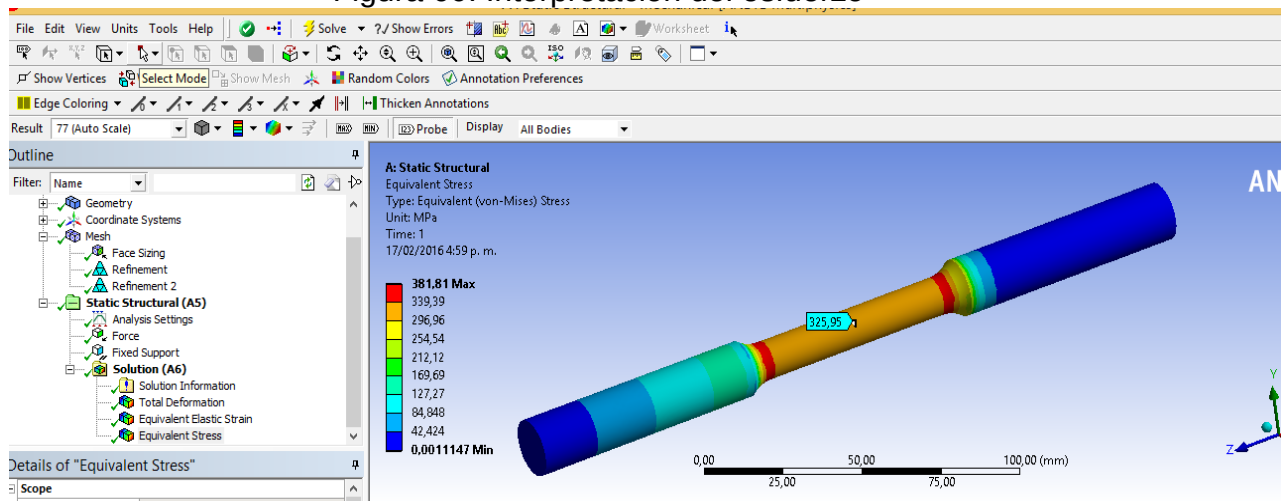
Figura 59. Opción Probe



Fuente: El Autor

7.4 INTERPRETACIÓN DE LA SOLUCIÓN (ESFUERZO)

Figura 60. Interpretación del esfuerzo



Fuente: El autor

En la figura 60 se muestra la solución de la simulación de la probeta, donde da como resultado el esfuerzo en MPa . La tabla de colores que se aprecia en la imagen representa la intensidad del esfuerzo que se produce en la probeta, el color azul muestra el mínimo esfuerzo y el color rojo el máximo esfuerzo.

De acuerdo a los datos introducidos para una fuerza de 40 *kN* el esfuerzo es 381,81 *MPa*. De igual forma el esfuerzo producido en la sección de interés, es decir la sección delgada de la probeta es 325,95 *MPa*

7.4.1 Comparación cálculos teóricos del esfuerzo con el software ANSYS

A continuación se muestra la ecuación para el cálculo teórico del esfuerzo para que se compare con el valor que tiene como resultado el software ANSYS.

La ecuación que se utiliza para calcular el esfuerzo es la siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (13)$$

Donde:

σ = Esfuerzo

F = Fuerza aplicada

A = Area transversal

Con base en la ecuación (13) el esfuerzo teórico es el siguiente:

Fuerza = 40 *kN*

Área = 123 *mm*²

$$\sigma = \frac{40000 \text{ N}}{123 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 325,20 \text{ MPa}$$

El Esfuerzo teórico es 325,20 *MPa*

En la tabla 6 se observa el esfuerzo teórico y el esfuerzo del software ANSYS

Tabla 6. Comparación de los resultados obtenidos del esfuerzo

ESFUERZO TEORICO MPa	ESFUERZO CON ANSYS MPa
325, 20	325,96

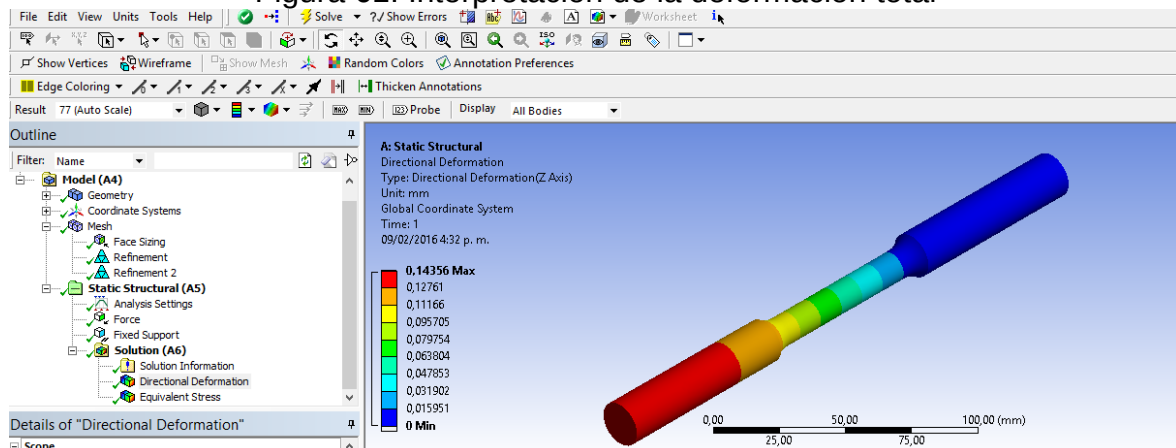
Fuente: El Autor

De acuerdo a la tabla anterior se puede decir que el esfuerzo que dio como resultado el software ANSYS es 325,96 *MPa* y el esfuerzo teórico es 325,20 *MPa*. Lo cual quiere decir que tiene un error del 0,23%.

7.5 INTERPRETACIÓN DE LA SOLUCIÓN (DEFORMACION)

En la figura 61 se muestra la solución de la simulación de la probeta, donde da como resultado la deformación total en mm . La tabla de colores que se aprecia en la imagen representa la intensidad de la deformación que se produce en la probeta, el color azul muestra la mínima deformación y el color rojo la máxima deformación. De acuerdo a los datos introducidos para una fuerza de 40 kN un esfuerzo de $325,20\text{ MPa}$ la deformación resultante es $0,14356\text{ mm}$

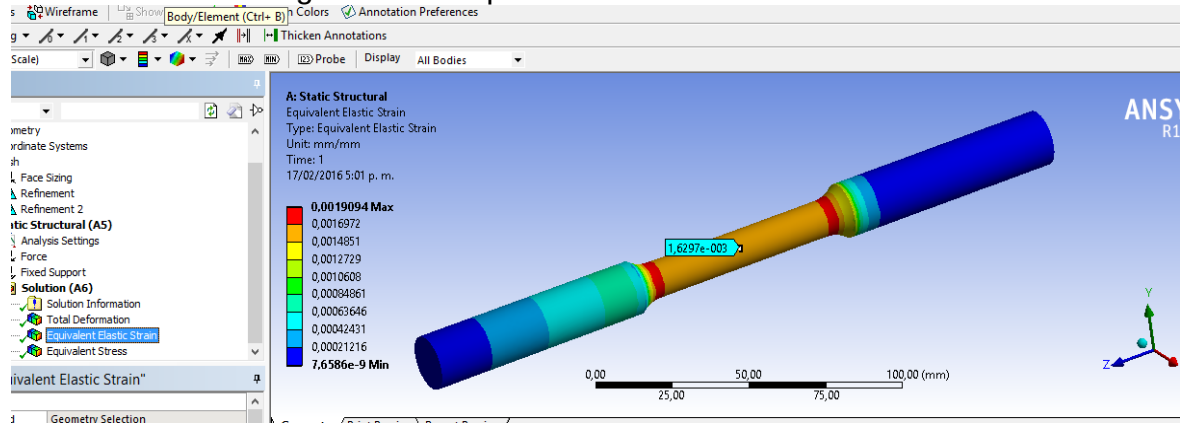
Figura 61. Interpretación de la deformación total



Fuente: El Autor

En la figura 62 se muestra la solución de la simulación de la probeta, donde da como resultado la deformación unitaria en mm/mm . La tabla de colores que se aprecia en la imagen representa la intensidad de la deformación que se produce en la probeta, el color azul muestra la mínima deformación y el color rojo la máxima deformación. De acuerdo a los datos introducidos para una fuerza de 40 kN un esfuerzo de 381.84 MPa la deformación unitaria resultante es $0,0019094\text{ mm/mm}$, de igual forma la deformación unitaria en la sección de interés es decir en la sección delgada de la probeta es $0,001697\text{ mm/mm}$.

Figura 62. Interpretación deformación Unitaria



Fuente: El Autor

7.5.1 Comparación cálculos teóricos con el Software ANSYS

En la figura 61 se muestra la deformación total de la probeta sometida a una fuerza de 40 kN , la deformación es $0,14356 \text{ mm}$ y en la figura 62 se muestra la deformación unitaria en mm/mm que es $0,001697 \text{ mm/mm}$.

A continuación se muestra la ecuación para el cálculo teórico de la deformación unitaria para que se compare con el valor que tiene como resultado el software ANSYS.

La ecuación que se utiliza para el cálculo de la deformación unitaria es la siguiente:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (14)$$

Donde:

ϵ = Deformación Unitaria

σ = Esfuerzo

E = Módulo de Elasticidad

Con base en la ecuación (14) la deformación unitaria teórica es la siguiente:

Esfuerzo = $325,20 \text{ MPa}$

Módulo de elasticidad = 210 *GPa*

$$\epsilon = \frac{325,20 \text{ MPa}}{210 \text{ GPa}}$$

$$\epsilon = 0,0015476 \text{ mm/mm}$$

La deformación unitaria teórica es 0,0015476 *mm/mm*

En la tabla 7 se observa el esfuerzo teórico y el esfuerzo del software ANSYS

Tabla 7. Comparación de los resultados obtenidos de la deformación unitaria

DEFORMACION UNITARIA TEORICA mm/mm	DEFORMACION UNITARIA ANSYS mm/mm
0,0015476	0,001697

Fuente: El Autor

De acuerdo a la tabla anterior se puede decir que la deformación unitaria que dio como resultado el software ANSYS es 0,001697 *mm/mm* y la deformación unitaria teórica es 0,0015476 *mm/mm*. Lo cual quiere decir que tiene un error del 8,5%.

8 ACTIVIDAD PRÁCTICA DE LABORATORIO

- Realizar el ensayo de tensión para las probetas de acero 1045, Latón y Aluminio 1100
- Tomar los datos y realizar los respectivos diagramas de esfuerzo - deformación
- Calcular el módulo de elasticidad
- Calcular el límite elástico
- Calcular la resistencia última a la tensión
- Realizar el análisis y las conclusiones de la práctica

9 ACTIVIDAD PRACTICA SIMULACION DEL ENSAYO DE TENSION EN ANSYS

Con base a la práctica realizada en el laboratorio:

- Simular el ensayo de tensión de los materiales Acero 1045, Aluminio 1100 y Laton en el software ANSYS siguiendo el tutorial.
- Comparar los resultados de esfuerzo vs deformación obtenidos en el laboratorio y validarlos en el software ANSYS.
- Realizar las gráficas de esfuerzo vs deformación con los datos obtenidos en el laboratorio y los datos obtenidos en el software.

10 BIBLIOGRAFIA

- [1] Lawrence., *ENSAYO DE TRACCION*, pag 35, editorial montena, 2da edicion. 2008.
- [2] G. Calle Trujillo, *Ensayo de tension*, pag 24, editorial Universidad e Granada, 4a edicion. 2013.
- [3] C. Luis, "Ensayo de Tension," 2014. [Online]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/ensayo_de_traccion.htm.
- [4] Astm E8, "ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1," *Annu. B. ASTM Stand.* 4, no. C, pp. 1–27, 2010.
- [5] M. Ast, "D638, Standard test method for tensile properties of plastics," *TF_~VFING HOOP TENSILE I'REN ...*, no. C, pp. 1–16, 2013.
- [6] Z. Da Fonseca, "Conceptos básicos del método de los elementos finitos," *El Metod. los Elem. finitos una Introd.*, pp. 1–15, 3ra edicion 2011.