

Desarrollo de una interfaz de usuario para el diseño de recipientes a presión¹

RESUMEN

Se desarrolló una herramienta informática que calcula y dimensiona recipientes en condiciones de presión interna o externa, de acuerdo con las normas de diseño API y ASME. Finalmente, genera la representación de la geometría a través del entorno plano de Solid Edge.

Palabras clave: Recipientes a presión, automatización, parametrización, Solid Edge, Visual Basic, interfaz de usuario.

1. Introducción

Para el diseño de recipientes a presión es importante hacer un cálculo preciso y realizar planos acordes con el diseño. Hoy en día, en muchos casos, estos trabajos se desarrollan a mano y sin una interacción que garantice una correcta elaboración. Tal procedimiento implica una mayor demanda en tiempo y dinero, en verificaciones e incluso en software no especializado.

A partir de la norma API 620-650 [1], se quiere obtener las ecuaciones para diseñar el algoritmo que permita reemplazar la tarea de hacer cálculos largos, tediosos y repetitivos necesarios para la determinación de parámetros de diseño de recipientes a presión.

El objetivo de este proyecto es elaborar una herramienta capaz de integrar un software de diseño con un lenguaje de programación, para crear una interfaz de usuario. En dicha interfaz se introducen los datos correspondientes a las características específicas del recipiente y de forma paralela se visualiza la representación en el entorno plano de Solid Edge.

Autores

Karen Catalina Matiz Arcos²

Wilfrand Frederick Montenegro Suárez³

Director

Carlos Arturo Bohórquez⁴

1. Proyecto curricular de Tecnología Mecánica. Semillero de Mecánica Computacional.
2. Tecnóloga mecánica. Correo electrónico: karenmatizar@hotmail.com
3. Tecnólogo mecánico. Correo electrónico: alaskaliquida@yahoo.com.ar
4. Ingeniero mecánico, docente de la Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: ingcarlosbohorquez@gmail.com

Inicialmente, se establece un conjunto de fórmulas, parámetros y algoritmos necesarios para determinar el proceso de diseño y la estimación de la geometría del recipiente. Luego, se dispone del lenguaje programador y, finalmente, se hace la conexión entre las dos aplicaciones.

2. Regulación y códigos

En el diseño y la construcción de muchas estructuras, tales como puentes, vehículos de transporte, tuberías, edificios, tanques, reservorios, recipientes a presión, etc., está involucrada la seguridad de las personas y de las mismas estructuras. Para reducir al mínimo el peligro de que se produzcan fallas que pudieran ser catastróficas, se han establecido especificaciones normalizadas sobre la construcción de dichas estructuras. Estas especificaciones son llamadas códigos, normas y reglas. Son escritas generalmente por organizaciones profesionales, grupos empresariales o industriales, o institutos gubernamentales.

2.1. Códigos para el diseño de recipientes

Existen algunos códigos relacionados con el diseño, construcción y representación de recipientes. Entre las organizaciones que describen dichos códigos se encuentran: la Sociedad Americana de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés), la Sociedad Americana de Ingenieros (ASME, por sus siglas en inglés), el Instituto Americano de Petróleo (API, por sus siglas en inglés). Entre las normas que describen estos procesos se encuentran el código ASME, sección VII, y las normas API 620 a 650.

Mientras estos códigos proveen las fórmulas necesarias para calcular los espesores requeridos y los correspondientes esfuerzos de membrana de los componentes básicos debido a presiones externas e internas, queda a criterio del diseñador el uso del procedimiento analítico para calcular el esfuerzo debido a otras cargas.

2.2. Fundamentos de diseño

Para realizar los cálculos de esfuerzo en las paredes de los recipientes, se considera el cilindro de pared delgada como un trozo de tubería, el cual está sometido a presión interna o externa. Para este análisis se hacen las siguientes suposiciones:

- El material del cilindro es elástico.
- No hay tensiones térmicas.
- Se considera cilindros de pared delgada aquellos en los que el espesor de pared es menor o igual que 1/10 de su radio interior.

3. Diseño de recipientes

El diseño de recipientes es variable de acuerdo con sus requerimientos. Los recipientes se pueden diseñar para ser sometidos a condiciones de presión interior o exterior o para almacenar diversos tipos de fluidos. Para su correcto diseño y fabricación, se han creado varias normas como la API 620 a 650. Es importante basar el diseño de recipientes en estas normas, ya que así se garantiza que sea correcto y de calidad.

3.1. Clasificación y cálculo de recipientes

La clasificación de los recipientes a presión está dada de acuerdo con las normas API 620 a 650 [1], en recipientes sometidos a presión interna, recipientes sometidos a presión externa, tanques soldados para producción y tanques rectangulares.

3.1.1. Recipientes sometidos a presión interna

En esta clasificación se incluyen los recipientes de casco cilíndrico, con diferentes tipos de cabeza, como la hemisférica y la elipsoidal. Otras poco utilizadas son la de sección cónica o con sección en forma de toro. El reconocimiento del proceso de diseño se muestra en la Tabla 1.

Recipientes sometidos a presión interna			
Dimensiones interiores		Dimensiones exteriores	
Casco cilíndrico		Casco cilíndrico	
Espesor de placa	Presión	Espesor de placa	Presión
$t = \frac{PR}{(SE - 0.6P)}$	$P = \frac{SEt}{(R + 0.6t)}$	$t = \frac{PR}{(SE + 0.4P)}$	$P = \frac{SEt}{(R - 0.4t)}$
Cabeza hemisférica		Cabeza hemisférica	
Espesor de placa	Presión	Espesor de placa	Presión
$t = \frac{PR}{(2SE - 0.2P)}$	$P = \frac{2SEt}{(R + 0.2t)}$	$t = \frac{PR}{(2SE + 0.8P)}$	$P = \frac{2SEt}{(R - 0.8t)}$
Cabeza elipsoidal		Cabeza elipsoidal	
Espesor de placa	Presión	Espesor de placa	Presión
$t = \frac{PD}{(2SE - 0.2P)}$	$P = \frac{2SEt}{(D + 0.26t)}$	$t = \frac{PD}{(2SE + 1.8P)}$	$P = \frac{2SEt}{(D - 0.8t)}$

Tabla 1. Proceso de diseño para recipientes sometidos a presión interna

p es la presión de diseño o presión máxima permitida de trabajo, [lb/pulg²] [Pa]; S , el valor de esfuerzo del material, [lb/pulg²] [Pa]; e , la eficiencia de la junta; t , el espesor de pared, [pulg]; R , el radio, [pulg] [m]; y D , el diámetro, [pulg] [m].

3.1.2. Recipientes sometidos a presión externa

Para los recipientes sometidos a presión externa, se debe utilizar cascos cilíndricos con y sin anillos atiesadores y con cabeza alabeada, hemisférica y elipsoidal. El proceso de diseño se muestra en la Tabla 2.

En la tabla, P_a es la presión máxima de trabajo permitida, [lb/pulg²] [Pa]; E , el módulo de elasticidad del material, [lb/pulg²] [Pa]; t , el espesor mínimo requerido de pa-

Recipientes sometidos a presión externa	
Casco cilíndrico	
Sin anillos atiesadores	Con anillos atiesadores
$P_a = \frac{2AE}{3\left(\frac{D_0}{t}\right)}$	$P_a = \frac{4B}{3\left(\frac{D_0}{t}\right)}$
Cabeza hemisférica, cabeza elipsoidal y cabeza alabeada	
Obteniendo valor	Sin obtener valor
B	B
$P_a = \frac{B}{(R_0/t)}$	$P_a = \frac{0.0625 \cdot E}{(R_0/t)^2}$

Tabla 2. Proceso de diseño para recipientes sometidos a presión externa

red, [pulg]; , el diámetro exterior, [pulg] [m]; , el radio exterior de la esfera o cabeza hemisférica, [pulg] [m]; , el valor obtenido por gráfica; y , el valor obtenido por gráfica.

3.2. Tanques soldados

Los tanques soldados se pueden subdividir en tanques pequeños para producción y tanques para almacenaje de petróleo. La forma de cálculo de estos recipientes se muestra en la Tabla 3.

Tanques soldados	
Casco cilíndrico	
$t = \frac{2.6D(H - 1)G}{21000(E)}$	
Techo de cono	Techo de domo
$t = D/400 \sin \theta$	$t = R / 200$

Tabla 3. Proceso de diseño para tanques soldados

Tanques rectangulares	
Sin anillos atiesadores	
$t = 2.45L \sqrt{\left(\frac{\alpha H 0.0036G}{S}\right)}$	$t = \frac{l}{1.254 \sqrt{0.036GH}}$
Fondo soportado sobre vigas	
$l = 1.254t \sqrt{\frac{S}{0.036GH}}$	
Con atiesamiento vertical	
$l = 0.455t \sqrt{\left(\frac{S}{\alpha 0.036GH}\right)}$	

Tabla 4. Proceso de diseño para tanques rectangulares

Los parámetros usados son , el diámetro medio del tanque, [pies] [m]; , la altura, [pies] [m]; , la densidad relativa del líquido a almacenar; , la eficiencia de la junta; , el espesor mínimo requerido de la placa, [pulg]; , el radio de curvatura de la cubierta; y , el ángulo del cono con la horizontal, [grados].

3.2.1. Tanques rectangulares

Para los tanques rectangulares se reconoció el diseño de recipientes sin elementos atiesadores y con elementos atiesadores verticales, así como se muestra en la Tabla 4

es el factor que depende de la relación de la longitud a la altura del tanque H/L; , la gravedad específica del líquido; , el valor de esfuerzo de la placa, [lb/pulg2] [Pa]; , la altura, [pulg] [m]; , la distancia máxima entre soportes, [pulg] [m]; y , el espesor requerido de la placa, [pulg].

4. Creación del algoritmo para generar la interfaz

Después de tener claro cuáles son la clasificación y la forma de cálculo para el diseño y fabricación de reci-

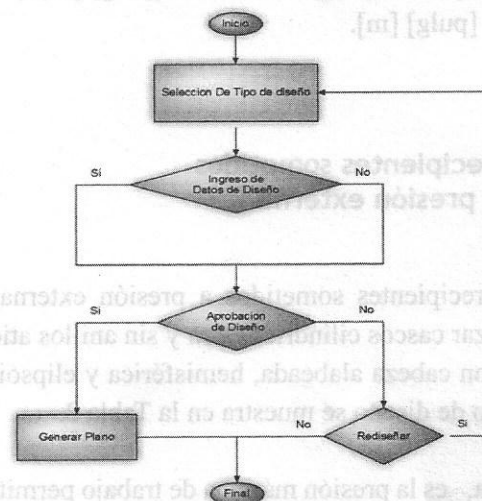


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de diseño y generación de planos

pientes, es necesario tener en cuenta la forma en que esta información se va a introducir en el asistente de diseño. Para ello, es necesario crear el algoritmo y las pautas que se necesitan para realizar el proceso de diseño y la generación de plano. El algoritmo de diseño se muestra en la Figura 1.

Mediante el diagrama de flujo se puede generar el orden en el cual se va a realizar el proceso de diseño. Además, nos muestra las opciones y los caminos que puede utilizar el usuario para llegar al diseño final.

El objetivo es dar al programa las herramientas que se necesitan en pro del correcto diseño y soluciones de problemas adscritos a este. También es necesario crear el mapa conceptual de las divisiones y subdivisiones del diseño de recipientes, para abarcar así todas las po-

sibilidades de diseño y llegar a buen término en la realización de planos.

El mapa conceptual del proceso de diseño que abarca la interfaz se muestra en la Figura 2.

4.1. Parametrización

Solid Edge es un software de modelado tridimensional que permite representar geometrías de gran complejidad denominadas piezas. Es posible parametrizar la geometría de dichas piezas a través de tablas de variables [2], como se presenta en la Figura 3, de forma que sus dimensiones puedan cambiar de acuerdo con los resultados que se obtengan al operar las variables por medio de relaciones funcionales.

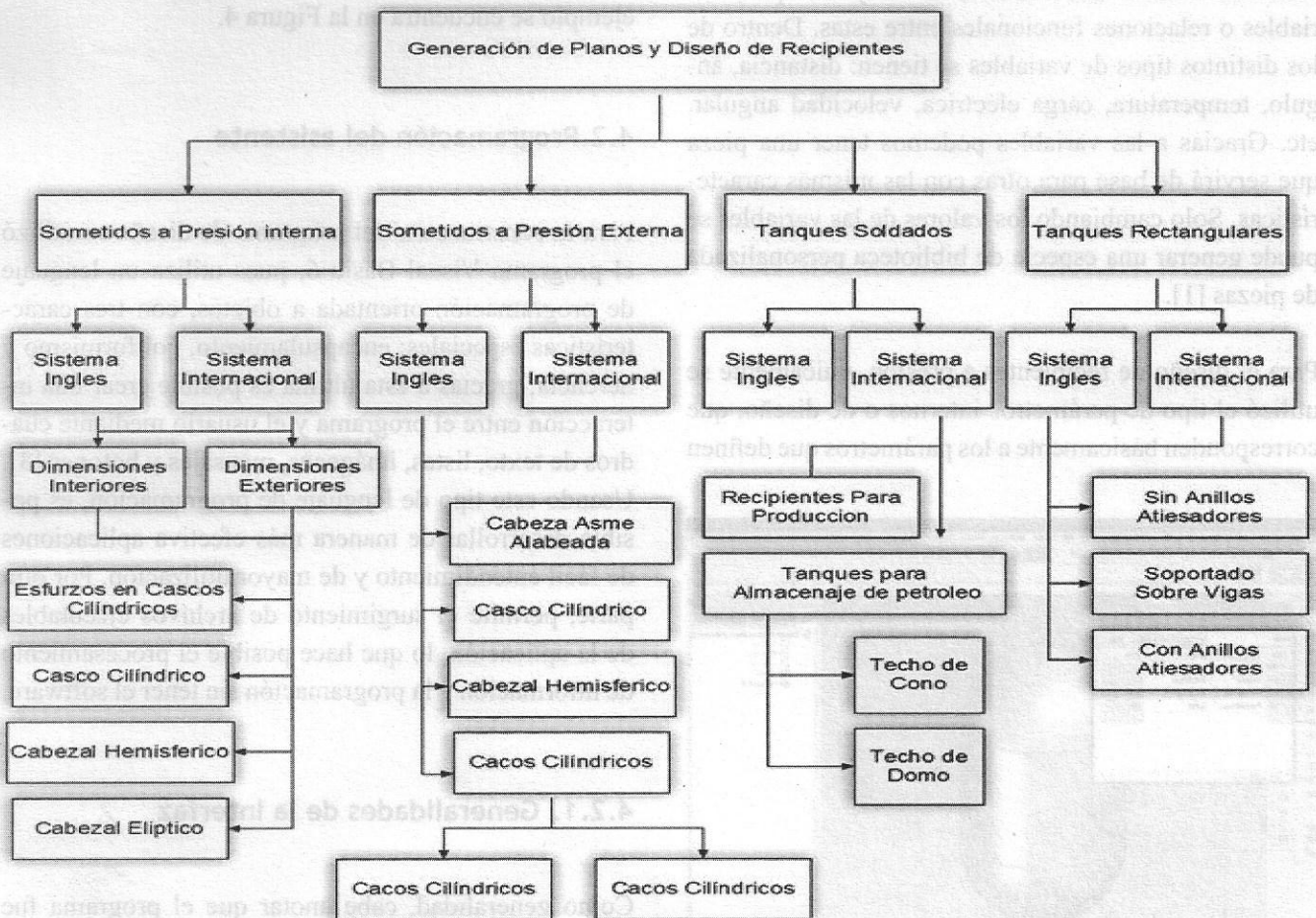


Figura 2. Mapa conceptual de los tipos de diseño existentes en la aplicación

Type	Name	Value	Rule
Dim	Diametro	40,00 mm	
Dim	Longitud	200,00 mm	
Var	PhysicalProp...	0,000 kg/m ³	Limit
Var	PhysicalProp...	0,990	Limit

Figura 3. Tabla de variables en el entorno pieza

A través de la herramienta Variables [2], en el entorno Pieza de Solid Edge, muestra, define y manipula variables o relaciones funcionales entre estas. Dentro de los distintos tipos de variables se tienen: distancia, ángulo, temperatura, carga eléctrica, velocidad angular, etc. Gracias a las variables podemos tener una pieza que servirá de base para otras con las mismas características. Solo cambiando los valores de las variables se puede generar una especie de biblioteca personalizada de piezas [1].

Para el diseño de recipientes a presión, únicamente se utilizó el tipo de parámetros internos o de diseño, que corresponden básicamente a los parámetros que definen

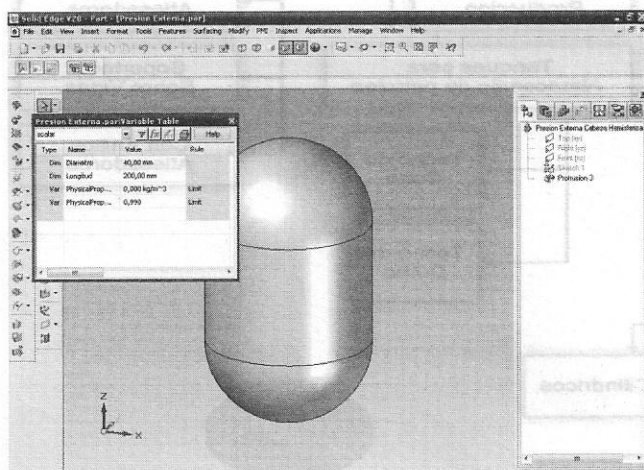


Figura 4. Parametrización final

la geometría de la pieza, tales como longitudes, ángulos, diámetros, espesores, paralelismo, concentricidad, etc., y están ligados al diseño. No se aplicaron parámetros de estado ni parámetros externos o independientes, puesto que con el software modelador solo se pretende controlar la geometría de los tanques. Los comportamientos de los esfuerzos, presiones, entre otros, y las propiedades asociadas al material se obtienen a través de la aplicación y hacen parte de la programación.

La aplicación fue comprobada con todos los valores estándar de acuerdo con la norma para cada tipo de recipiente. Las relaciones y la geometría se mantienen en cualquier combinación de datos dimensionales incluidos dentro de los límites preestablecidos, puesto que las dimensiones se condicionaron según las fórmulas de cálculo de los recipientes. Así, se concluye que los resultados para todos los diseños son los esperados. Un ejemplo se encuentra en la Figura 4.

4.2. Programación del asistente

Para la construcción del programa de diseño se utilizó el programa Visual Basic 6, pues utiliza un lenguaje de programación orientada a objetos, con tres características especiales: encapsulamiento, poliformismo y herencia; gracias a esta última es posible crear una interacción entre el programa y el usuario mediante cuadros de texto, listas, imágenes, mensajes y botones [3]. Usando este tipo de lenguaje de programación, es posible desarrollar de manera más efectiva aplicaciones de fácil entendimiento y de mayor utilización. Por otra parte, permite el surgimiento de archivos ejecutables de la aplicación, lo que hace posible el procesamiento de información y la programación sin tener el software.

4.2.1. Generalidades de la interfaz

Como generalidad, cabe anotar que el programa fue diseñado y basado en un conjunto de fórmulas para el cálculo y diseño de todos los tipos de recipiente mostrados en la Figura 2.

Dentro de las herramientas para el desarrollo y simplificación para el usuario se encuentra la utilización de bases de datos, las cuales contienen valores estandarizados, con el fin de que disminuya el uso de catálogos, tablas o manuales para determinar este tipo de valores. De esta manera se reducen el trabajo y el tiempo de realización del diseño y la generación de planos; además, se automatizan estas operaciones.

Otro de los aspectos importantes de esta interfaz es que es consecutiva e interactiva, es decir, que va ejecutando la aplicación de manera secuencial, empezando por lo esencial. Permite seleccionar el tipo de diseño, el sistema de medidas y termina en lo particular: espesor requerido de diseño y presión máxima de trabajo. Avanza conjuntamente con el usuario y lo guía para poder continuar con el diseño y consecución de los planos de taller.

4.2.2. Integración entre las plataformas de diseño y dibujo

Compartir información sobre distintas aplicaciones es una de las características más potentes que permite el entorno de Visual Basic. En este programa se comparten los objetos que poseen dos o más aplicaciones del sistema operativo Windows. Como no es posible realizar una comunicación directa entre Solid Edge y la interfaz diseñada en Visual Basic, existen diversas opciones, por ejemplo, el Control WebBrowser de Visual Basic 2008, que proporciona un contenedor administrado para el control ActiveX WebBrowser, lo que permite alojar documentos habilitados por explorador de las aplicaciones de Windows. Se establece una dirección URL del documento de la otra aplicación, ubicando la ruta específica donde está guardado el archivo. El control tiene varias propiedades, métodos y eventos relacionados con la navegación. El único parámetro que necesita dicho método es la URL para cargar el documento [4].

Además, esta es una herramienta mucho más moderna y permite que la aplicación sea útil durante más tiempo y que tenga un entorno más actual.

5. Viabilidad económica

En la ciudad de Bogotá, Makron Ltda. diseña y construye tanques encargados para fines específicos, según la finalidad. Unos son diseñados por pedido del cliente y también hay una gran gama de diseños ilustrados en catálogos para selección según la aplicación. Sin embargo, la metodología de diseño no es apropiada, debido a que para cada recipiente se realiza un proceso de síntesis y análisis detallado de manera manual, es decir, desarrollando el proceso de diseño, evaluando una por una ciertas fórmulas ya establecidas y verificando los resultados obtenidos según los factores de diseño hallados. Si los factores de diseño no resultan adecuados, el proceso se reinicia, lo que genera grandes retrasos en el tiempo de cumplimiento de entrega del recipiente pedido. Esto causa, obviamente, pérdida de clientes y, por lo tanto, de dinero.

Si el procedimiento de diseño se obtiene con éxito la primera vez que el diseñador realice los cálculos, puede tardar entre una y dos semanas; de lo contrario, puede demorar alrededor de un mes.

Para la realización de un nuevo producto, un recipiente a presión, se propuso la creación de un nuevo método de diseño, siguiendo los parámetros establecidos por la norma API (con la cual trabaja Makron Ltda.) y utilizando un formato de diseño asistido por computador. Se realiza una aplicación en Visual Basic 6.0 y se establece una comunicación con Solid Edge V.20, donde se generan los recipientes diseñados en un ambiente gráfico 3D. Cabe anotar que los tiempos de iteración se mejoran, puesto que en cualquier momento el usuario del software puede modificar los datos de entrada según nuevos requerimientos, optimizando así el tiempo de iteración de diseño y creando una familia de recipientes de este tipo.

Para el desarrollo del diseño del recipiente se consideraron también ciertos aspectos determinados por la empresa, tales como:

- Versatilidad: forma geométrica.

- Necesidad de dimensiones estándar.
- Necesidad, en el caso de recipientes cilíndricos, de variedad en la forma de las tapas.
- Confiabilidad de diseño: se realiza una prueba para comparar los resultados arrojados por el software desarrollado con los del catálogo de Makron Ltda.

Una vez realizada la prueba, se comparan las dos formas de obtención de datos para la elaboración del recipiente. Se concluye que se reduce al máximo el tiempo que se emplea en los cálculos cada vez que se fabrique un recipiente específico, según la necesidad de cada cliente.

El costo de la implementación de la aplicación es elevado, pero si se tiene en cuenta que es constante la fabricación de tanques, se reducen los gastos a mediano o largo plazo.

6. Conclusiones

Por medio de este trabajo se han podido alcanzar las metas que se trazaron al realizar la interfaz, entre otras, automatizar y agilizar el diseño de recipientes a presión mediante el uso de la norma API 620 a 650.

Se realizó el diseño de recipientes a presión de una manera flexible y óptima, que permitirá crear rápidamente diseños para familias y grupos.

El uso del diseño asistido por computador se considera como uno de los avances más importantes del proyecto, puesto que simplifica sustancialmente el proceso, que de otra forma se tornaría largo y complejo.

La aplicación desarrollada para diseño de recipientes a presión cumple con todas las especificaciones impuestas al principio del proyecto, y genera un entorno práctico, sencillo y de gran seguridad para el usuario.

Referencias

- [1] "Diseño y construcción de recipientes a presión". Norma API 620-650, 10ª ed. Washington, 2002.
- [2] Guía del programador. Personalización de Solid Edge. Versión 15, 2003.
- [3] C. Rodríguez. Visual Basic 6.0, programación orientada a objetos. República Dominicana: Grupo Experto Bucarely, 2004.
- [4] <http://www.cadalyst.com/manufacturing/solid-edge-variable-limits-on-edge-solid-edge-tutorial-11051>
- [5] G. F. Aguayo. Metodología del diseño industrial: un enfoque desde la ingeniería concurrente. Madrid: RA-MA Editorial, 2003.
- [6] E. F. Megyesy, E.F. Manual de recipientes a presión: diseño y cálculo. México: Limusa Editores, 1992.