

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



COMEC

**Cálculo del recipiente cilíndrico para el almacenamiento del gas licuado del petróleo, a utilizar en el Almacén Tecnológico de Santa Clara.**

*Calculation of the cylindrical container for the storage of liquefied petroleum gas, to be used in the Santa Clara Technology Warehouse.*

**Ing. Yohanny Rangel Machado.** Universidad Centra “Marta Abreu” de las Villas, Cuba.  
yrm9202@gmail.com

**Resumen:**

En el presente trabajo se aborda el tema relacionado con el cálculo del recipiente cilíndrico para el almacenamiento del gas licuado del petróleo, utilizado en el Almacén Tecnológico de la ciudad de Santa Clara, ubicado en el Reparto Brisas del Capiro, Santa Clara, Villa Clara. Para ello se realizó un desglose de las principales características de dicho recipiente, así como de sus componentes más importantes (las tapas, cuerpo y el soporte), además se brindan las características fundamentales del gas licuado del petróleo, sustancia que será contenida en este. Se utilizó el método de elementos finitos (MEF) para realizar un estudio entre las diferentes formas geométricas de los tipos de tapas más utilizadas en los recipientes a presión, con el objetivo de seleccionar cuál de estas formas geométricas es la que presenta mejores características en cuanto a la resistencia mecánica se refiere. Se realizó además el cálculo tanto de la distancia óptima entre soportes como el de la carga actuante sobre estos lo que condujo a la correcta sección del tipo de soporte para este caso de estudio y a una mejor distribución de las cargas en el recipiente. Fueron determinados además los espesores del cuerpo y las tapas del recipiente finalizando el

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



trabajo con la determinación de las presiones admisibles para condiciones de trabajo y de pruebas.

**Abstract:**

*In this paper the issue related to the calculation of the cylindrical vessel for storage of liquefied petroleum gas, used in the Storage Technology of the city of Santa Clara, located in Brisas del Capiro zone, Santa Clara, Villa Clara is addressed. This requires that was made a breakdown of the main characteristics of the vessel, as well as its most important components (heads, body and support), the fundamental characteristics of liquefied petroleum gas, a substance that will be contained in this addition are provided. The finite element analysis (FEA) was used to perform a study of the different geometric shapes of the main types of heads used in pressure vessels, in order to select which of these shapes is the one that has better characteristics in terms the mechanical strength is concerned. The calculation of both the optimal distance between supports such as the load acting on those was also made which led to the correct selection of the type of support for this case study and a better distribution of loads in the vessel. They were also determined the thickness of the body and container heads finishing the work with the determination of allowable pressures for working conditions and testing.*

**Palabras Clave:** recipiente, cilíndrico, soporte, cargas, presiones.

**Keywords:** vassel, cylindrical, supports, loads, pressures.

## 1. Introducción

Un recipiente a presión no es más que un contenedor cerrado de longitud limitada, su dimensión más pequeña es considerablemente mayor que la de las tuberías de conexión. Son equipamientos peligrosos que pueden ocasionar diversos daños cuando son mal proyectados u operados. Los recipientes a presión son utilizados en numerosas aplicaciones en la industria y los servicios como por ejemplo en el transporte, producción, manipulación, almacenamiento y procesos de transformación de líquidos y gases [1].

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Aunque las invenciones realizadas con el vapor se usaron con alguna prioridad hasta el año 1800, las presiones involucradas fueron bajas. No se emplearon presiones significativas de vapor hasta el desarrollo del motor de vapor, en los primeros años del siglo XIX. Durante este período ocurrieron múltiples explosiones de calderas tanto en Estados Unidos como en Europa, causando grandes pérdidas de vidas humanas y materiales, y por tanto la inquietud del público. A partir del comienzo del siglo XX fueron ocurriendo anualmente de 350 a 400 explosiones de calderas en los Estados Unidos, acarreado numerosas pérdidas [1].

Basado en lo anterior varias asociaciones decidieron apadrinar el proyecto y fabricación de calderas en primera instancia y de recipientes a presión no sometidos a llama. De esta forma surgieron, como medida de seguridad, varios códigos o normas que gobiernan los procedimientos de proyecto, fabricación, prueba y operación de recipientes a presión. La mayoría de los países tienen reglas de seguridad, normas o códigos nacionales para recipientes a presión o calderas, o aceptan la construcción de estos por códigos extranjeros [2].

En el mundo existen varios códigos de recipientes a presión [1] de los cuales los más difundidos son:

1. ASME (American Society of Mechanical Engineers de los Estados Unidos). BOILER AND PRESURE VESSEL CODE.
2. El código BS 5500, Specification for Unfired Fusion Welded Pressure Vessel, que sustituyó a los códigos BS 1500 y BS 1515 del Reino Unido.
3. Los códigos A.D. Merkhlatler (ADM) y DIN de Alemania.

Existen además códigos en otros países como Italia, Francia, Suecia, Holanda, Japón, la India, y la antigua URSS. La International Organization for Standarization, tiene un anteproyecto de código denominado ISO/TC 11, pero no un código.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

❖ Problema

En Almacén Tecnológico de Gas Licuado del Petróleo (GLP) de Santa Clara, ubicado en el Reparto Brisas del Capiro, Santa Clara, Villa Clara, se necesita diseñar un recipiente para almacenar una composición de (60/40) de butano/propano.

❖ Objetivo general

Diseñar, para el Almacén Tecnológico de Gas Licuado del Petróleo (GLP) de Santa Clara, un recipiente para almacenar una mezcla (60/40) de butano/propano a 30°C.

❖ Objetivos específicos

- 1- Seleccionar el tipo de recipiente adecuado y calcular el espesor ejecutivo recomendado, así como la presión máxima que soporta.
- 2- Seleccionar el tipo de tapa adecuado y calcular el espesor ejecutivo recomendado, así como la presión máxima que soporta.
- 3- Seleccionar el tipo de soporte adecuado, calcular la carga que soporta y la distancia óptima que existe entre ellos.

## **2. Metodología**

Para el desarrollo del trabajo se cuenta con la información brindada por el cliente, la bibliografía necesaria para la revisión bibliográfica y se dispone de computadora para los cálculos, simulación y escritura del documento a presentar. Se hizo uso del software Autodesk Inventor y del método de elementos finitos (MEF), lográndose así desarrollar correctamente los diseños necesarios para la correcta ejecución de la investigación que se desarrollaba.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

### 3. Resultados y discusión

A continuación, se realizará el diseño y modelación de diferentes tipos de tapas de un recipiente a presión, para luego seleccionar la que mejor resultados en cuanto a tensiones y deformaciones mecánicas proporcione. Para ello se hace uso del método de elementos finitos (MEF) [10], con un valor de espesor igual 10 mm, para un material del tipo acero al carbono (tomado del software) [10] y se les aplicará una carga de 1,2 MPa (presión real de trabajo del equipo). Las tapas a emplear serán del tipo toriesférico, elíptico, plano y semi - esférico; con los cuales, luego de diseñados y simulados, se realizará una comparación de todos los resultados obtenidos y se seleccionará el que mejores resultados proporcionó.

**Tabla 2.1.** Comparación de los resultados obtenidos durante la simulación de los diferentes tipos de fondos planos

Tipos de Fondos	Tensión Von Mises (MPa)		Deformación (mm)
	Mín.	Máx.	
Fondo circular plano	471,417	17083,5	5285,36
Fondo circular plano rebordado	253,382	15969,7	4846,72

Como se puede observar en los resultados obtenidos en la tabla 2.1, el fondo circular plano rebordado es el que menor valor de tensiones presenta, para un valor de tensión máxima igual a 15969,72 MPa, además de poseer también el menor valor de deformación, para un valor de este igual a 4846,72 mm.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Tabla 2.2.** Comparación de los resultados obtenidos durante la simulación de los diferentes tipos de fondos elípticos

Tipos de Fondos	Tensión Von Mises (MPa)		Deformación (mm)
	Mín.	Máx.	
Elíptico con $h_f = 650$ mm	43,861	361,952	6,0195
Elíptico estándar con $h_f = 750$ mm	22,032	261,368	4,2437
Elíptico con $h_f = 850$ mm	7,923	186,433	3,0239

Como se puede observar en los resultados obtenidos en la tabla 2.2, el fondo elíptico con  $h_f = 850$  mm es el que menor valor de tensiones presenta, para un valor de tensión máxima igual a 186.433 MPa, esto se debe a que a mayor valor de altura del reborde; menor valor de tensiones. Por otra parte, se puede decir además que posee menor valor de deformación 3,0239 mm. Es por ello que, de los tres tipos de fondos elípticos, el elíptico con  $h_f = 850$  mm es el más ideal.

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Tabla 2.4.** Comparación de los resultados obtenidos durante la simulación de los diferentes tipos de fondos toriesféricos

Tipos de Fondos	Von Mises (MPa)		Deformación (mm)
	Mín.	Máx.	
Fondo Toriesférico con $L/r = 8$	1,085	630,494	7,8111
Fondo Toriesférico estándar con $L/r = 10$	9,845	749,683	8,7923
Fondo Toriesférico con $L/r = 12$	13,739	800,309	8,9636

Como se puede observar en los resultados obtenidos en la tabla 2.4, el fondo toriesférico con  $L/r = 8$  es el que menor valor de tensiones presenta, para un valor de tensión máxima igual a 186,433 MPa, además de poseer también menor valor de deformación, para un valor de esta igual a 7,8111. Es por ello que, de los tres tipos de fondos toriesféricos, el toriesférico con  $L/r = 8$  es el más apropiado, pues como se pudo observar, a menor valor de relación  $L/r$ , menor es el valor de las tensiones y deformaciones mecánicas.

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



**Tabla 2.5.** Resultados obtenidos durante la simulación de un fondo tipo esférico

Tipos de Fondos	Tensión Von Mises (MPa)		Deformación (mm)
	Mín.	Máx.	
<b>Fondo Semi-Esférico para h = 3000 mm</b>	2,782	151,248	0,5215

Como se puede observar en los resultados obtenidos en la tabla 2.5, el fondo semi - esférico es el que mejores valores de tensiones presenta, para un valor de tensión máxima igual a 151,248 MPa, además de poseer también menor valor de deformaciones, para un valor de esta igual a 0,5215.

**Tabla 2.6.** Resumen de los mejores resultados obtenidos en cuanto a tensiones y deformaciones durante la simulación de todos los fondos diseñados anteriormente

Tipos de Fondos	Tensión Von Mises (MPa)		Deformación (mm)
	Mín.	Máx.	
<b>Fondo Semi-esférico para h = 3000 mm</b>	2.7827	151.248	0,5215
<b>Elíptico con h<sub>f</sub> = 850 mm</b>	7.923	186.433	3,0239
<b>Fondo Toriesférico con L/r = 8</b>	1.0854	630.494	7.8111
<b>Fondo circular plano rebordeado</b>	253,382	15969,7	4846,72

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

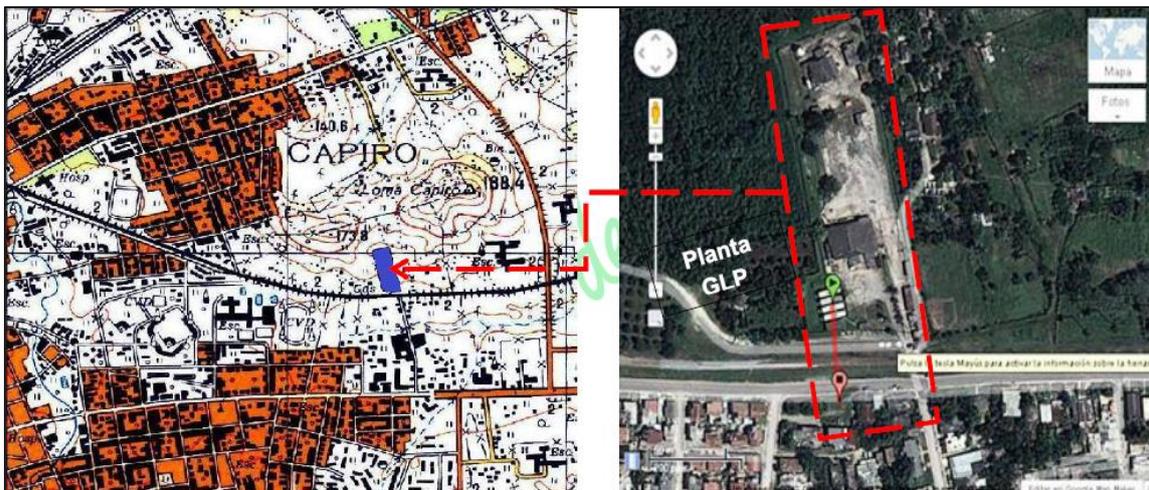
PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Como se puede observar en la tabla 2.5, el fondo semi - esférico fue el que mejores valores de tensión y deformación presentó, por lo que desde el punto de vista de resistencia de materiales resulta ser el más resistente a utilizar en los recipientes a presión que se pretendan diseñar. Es de destacar que, como se planteó en el epígrafe 1.3, estos fondos resultan difíciles de fabricar y encuentran un mayor uso en los recipientes que presentan grandes diámetros. Tomando en consideración lo antes expuesto es por lo que para la gran mayoría de los recipientes el fondo que mayor uso encuentra es el elíptico rebordeado con  $h_f = 850$  mm, por ser además uno de los que presenta mejores resultados en cuanto a características de resistencia mecánica se refiere, y porque resulta más fácil y más barato de fabricar que el semi - esférico.

El recipiente a presión sobre el cual está enfocado este trabajo de diploma, pertenece al Almacén Tecnológico de Gas Licuado del Petróleo (GLP) de Santa Clara, ubicado en el Reparto Brisas del Capiro, Santa Clara, Villa Clara (Figura 3.1). El mismo, posee una dimensión en su virola de 15000 mm y un diámetro interior igual a 3000 mm, este se encuentra sometido a una presión de trabajo de 1,2 MPa y su material es un acero al carbono tipo 09r2c [9].



**Figura 3.1.** Reparto Brisas del Capiro. Santa Clara, Villa Clara. Vista aérea del Almacén tecnológico de GLP [9].

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



El recipiente a presión fue diseñado en el Autodesk Inventor Profesional (Figura 3.2), y sus medidas más importantes están dadas en el anexo I 12, en este caso de estudio, el GLP que se almacena es una mezcla (60/40) butano/propano respectivamente, en la tabla 1.1 se muestran las propiedades fundamentales de cada componente.



**Figura 3.2.** Recipiente a presión para el almacenamiento de GLP [10].

#### 4. Conclusiones

1- Según los estudios realizados y considerando el lugar donde se ubicará el recipiente en cuestión, así como las posibilidades tecnológicas para su fabricación, se decide el diseño de un recipiente cilíndrico horizontal.

2-El fondo semi-esférico fue el que mejores valores de tensión y deformaciones mecánicas presentó, por lo que desde el punto de vista de resistencia de materiales resulta ser el más resistente a utilizar. Estos fondos resultan difíciles de fabricar y encuentran un mayor uso en los recipientes que presentan grandes diámetros. Es por ello que se decide utilizar una tapa elíptica estandarizada con  $h_f = 850 \text{ mm}$  .

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

**3-** Los cálculos fueron realizados bajo las siguientes condiciones:

- Recipiente cilíndrico horizontal con tapas elípticas.
- Diámetro interior de 3000 mm.
- Longitud de cálculo igual a 15 540 mm.
- Material a utilizar: acero al carbono tipo 09r2c.
- Almacenando Propano/Butano en estado líquido a 30 °C.
- Arrojaron como resultados:
  - Presión de cálculo de 1,36 MPa.
  - Presión de prueba de 1,5 MPa
  - Espesor ejecutivo de 15 mm, tanto para la virola cilíndrica como para la tapa elíptica estandarizada.
  - Presión admisible para condiciones de trabajo para la virola cilíndrica de 1,45 MPa, y para la tapa elíptica estandarizada de 1,46 MPa.
  - Presión admisible para las condiciones de prueba de 2,0 MPa tanto para la virola cilíndrica como para la tapa elíptica estandarizada.
  - Carga en los soportes de 392,5 kN.

**4-** El soporte seleccionado es del tipo Silleta. Para este tipo de soporte y bajo las condiciones de trabajo del recipiente en cuestión se calculó que la distancia óptima entre ambos apoyos es de 9106mm.

**5-** En la figura 3.2 se muestra el diseño propuesto mediante el Autodesk Inventor Profesional

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



## 5. Referencias bibliográficas

- [1] Moss, Dennis.R, Pressure Vessel Design Manual, Ilustrat procedures for solving major Pressure Vessel design problems, Elsevier LSBN-13:987-0-7506-7740-0; ISBN-10:0-7306-6, 2004
- [2] Martínez, Estrada, Eric, Diseño de recipientes a presión de paredes delgadas, Trabajo de diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Mecánica, Villa Clara, Cuba, 2000.
- [3] Brownell, L. E. Process Equipment Design / L. E. Brownell, E. H. Young. --New York: John Wiley & Sons, Inc, 1959.
- [4] Boardman, H.C. Optimun Torispherical Pressure Vessel Heads / H. C. Boardman. --New York: The Water Tower, 1949.
- [5] Azbel, David S., Chemical and Process Equipment Design. Vessel Design and Selection / David S.Azbel, Nicholas P. Cheremisinoff.--Primera Edición.--Cuba:Edición Revolucionaria, 1986.-- 2t.
- [6] Mijalev, M.F., Tectiakok, N.P., Milchenko, A.I, Zobnin, V.V., Cálculo y diseño de máquinas y aparatos de la Industria Química, Editorial Pueblo y Educación, Cuba, 1987.
- [7] Laschiski, A.A., Construcción de aparatos químicos soldados, Manual del Ingeniero, Editorial Pueblo y Educación, Cuba, 1983.
- [8] Stiopin, P.A, Resistencia de Materiales, Editorial MIR, Moscú, 1985.
- [9] Hernández, Ibarra, E. Vladimir, Metodología de análisis cuantitativo de riesgo incluyendo el efecto dominó, Tesis para optar por el grado de Máster en Seguridad tecnológica y ambiental en procesos químicos, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Centro de estudios de Química Aplicada, Villa Clara, Cuba, 2016.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



- [10] Autodesk Inventor Profesional, Microsoft Corporation, Estados Unidos de América, 2016.
- [11] Eugene F. Megyesy, manual de recipientes a presión diseño y calculo, primera edición, Ed. limusa. 1989.
- [12] Leon Estrada Juan Manuel, diseño y cálculo de recipientes a presión, Primera edición 2001.
- [13] Lloyd E. Brownel And Edwin H. Young. process equipment design. Edición 1959.
- [14] Díaz Mora, A., Cálculo y diseño de equipos para la industria química, UCLV 1989.
- [15] Feitó, R.V, Gómez,D.R “Sistema de Ayuda al Diseño de Aparatos Químicos (SADAQ)”, Trabajo de Diploma, UCLV, 1997.
- [16] Azbel, D.S, Ceremisinoff, N.P “Vessel Design and Selection”, Tomo I y II, Edición Revolucionaria, 1987.
- [17] Pavlov.K.F, P.G.Romankov, A.A.Noskov.,“Problemas y Ejemplos para el Curso de Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química”, M.I.R. Moscú. 1981.
- [18] O'Brien, H. L., Design Correlations for Cylindrical Pressure Vessel with Conical or Toriconical Heads / H. L O'Brien, E. Witterstrom, M. G. Dykhuizen.--New York: Res. Suppl, 1950.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)