

Next100 Pressure Vessel Specification

Derek Shuman and Sara Cárcel

Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA, USA

Instituto de Física Corpuscular (IFIC), CSIC, Univ. de Valencia, Valencia, Spain

1 October 2011

1. Introduction

This is a preliminary specification for a pressure vessel to be used in a (neutrino) physics experiment. This draft is for the purpose of obtaining a preliminary quote for fabrication and testing (price and schedule). Prospective vendors are encouraged to provide feedback on details of fabrication. The final specification is expected to be released for RFQ approx. 2 months after this release.

2. Description

The NEXT Collaboration is a group of academics and engineers affiliated with the Universitat de Valencia, IFIC (principal institution), LBNL, Texas A&M, and others. The NEXT-100 experiment proposal is funded by this collaboration to build a detector to look for a phenomenon called neutrinoless double beta decay. The experiment requires a pressure vessel, to be used as the housing for a neutrino detector.

The pressure vessel has the following general requirements:

- Size: 1.14m I.D. x 1.6m inside length, cylindrical, horizontal axis, with torispheric heads on each end. Welded in nozzles extend the overall size to 2.2m overall length x 1.5m high
- Assembly Configuration: 3 parts, a main cylindrical vessel with flange connections on each end to the torispheric heads. There are two options for flanges, bolted or clamped, with O-ring or Helicoflex C-ring seals
- Material: vessel: Titanium ASME grade 2 ; all bolting: Inconel 718
- Fluid: gaseous xenon, argon, neon, nitrogen, with small amounts of CF₄, CH₄, at room temperature to 50C (negligible corrosive, flammable or toxic hazard)
- Pressure Range: High Vacuum (1×10^{-6} torr to 16.4 bara (15.4 barg))
- Low residual background radioactivity; additional material and process screening over and above that required by ASME PV Code sec VIII div 2 will be performed by the Collaboration; full cooperation by Vendor is required.
- Internal detector components will be supported by flanges on the vessel (main cylindrical and torispheric heads), and nozzle flanges. Total weight of detector inside vessel does not exceed 1 tonne.

- Vessel to be designed, fabricated and tested in full accordance with ASME Pressure Vessel Code section VIII. division 2 (except as noted) . A

The design will be according to the rules of ASME sec VIII division 2 to the greatest extent possible, and to the rules of section VIII division 1 and/or division 2, part 5 (design by analysis) where needed. Fabrication and inspection will be performed according to division 2, even for any sections designed to div. 1 rules. The pressure vessel is being designed by the Collaboration with regards to materials, thicknesses. There are two possible configurations: A bolted flange (flat faced) flanged Vendor is invited offer some details as to preferred fabrication details before final specification is issued. The two unique and noteworthy aspects of this vessel are the radiopurity requirement and, to a lesser extent, the need to mount internal components Our neutrino detector is highly sensitive to trace amounts of radioactive materials, most notably Uranium (U) and Thorium (Th) Most metals and alloys contain uranium and thorium in trace amounts, from several parts per billion (PPB) to hundreds of parts per million (PPM). Two notable exceptions are electrolytically pure copper and Commercially Pure (CP) Titanium Of these materials, CP Titanium grades 2 and (perhaps) 3 (ASME) provide the highest strength to radiopurity ratio. The lightweight of Titanium is also desirable. Thus we have chosen CP titanium grade 2 as the material for the pressure vessel.

3. Data Design

3.1. Pressure

Cuadro 1: Pressure

Internal Pressure,Mpa	Ext.Pressure,Mpa
1,52	0,1

3.2. Materials Vessel

Material:

- Titanium Grade 2, R50400 (shells, flanges and nozzles)
- Inconel 718, N07718 (bolts)

From ASME II :

Cuadro 2: Table Y1

Material	Specification	Denomination	YS(MPa)	TS(Mpa)
Ti,Grade2	SB 265	R50400	275,6	344,5

From Helicoflex Catalog:

Cuadro 3: Titanium

Material	Table	Section	Division	Maximum allowable stress value,Mpa
Ti,Grade2,plate	1B	ASMEVIII	1	S=98,5
Ti,Grade2,plate	5B	ASMEVIII	1	Sm=143,3

Cuadro 4: Inconel 750(N07750):70Ni-16Cr-7Fe-Ti-Al

Material	Table	Section	Division	Min Y.S,Mpa	Min TS, MPa	Max all.Stress,Mpa
N07750	3	ASMEVIII	1and 2	1033,5	1274,6	255

3.3. Dimension Vessel

Cuadro 5: Module of elasticity E,MPa

Material	Table	E,MPa
Ti,R50400	TM-4	106795

Cuadro 6: Gasket,Helicoflex

Al jacket,CS	5mm
Yi=Ym1	30N/mm
Y2	220N/mm
e_2	0,9mm
P_u	63
Y_m	30
G_g groove depth	6,78mm
F_g groove width	4,1mm

Cuadro 7: Geometric Values

Inside diameter(mandatory)	B=1140mm
Diameter at location of gasket load reaction0	G= 1147,5mm
Bolt-circle diameter	C=1235mm
Outside diameter of flange	A=1370mm

4. Calculation NEXT100

4.1. Calculation of the thickness

4.1.1. Cylindrical Shell

2007 Section VIII, Division 2 4.3.3 Cylindrical Shell

$$t = \frac{D}{2} \left[\exp \left(\frac{P}{SE} \right) - 1 \right] = \frac{D}{2} \left[\exp \left(\frac{P}{SE} \right) - 1 \right] = \quad (1)$$

Where :

- D=outside diameter of a shell or head.
- P=internal design pressure.
- S=allowable stress value from Annex 3.A evaluated at the design temperature.
- E=weld joint factor.

4.1.2. Torishperical Head

a) **STEP 1:** Determine the inside diameter, D, and assume values for the crown radius, L , the knuckle radius, r , and the wall thickness t

In Torispheric Head DIN 28011:

D= 1140mm

L=D +2t=1140 +16=1156mm

r=0.1D=114mm

t=8mm

b) **STEP 2:** Compute the head L/D, r/D, and L/t ratios and determine if the following equations are satisfied. If the equations are satisfied, then proceed to Step 3.

The following equations are satisfied:

$$0,7 \leq \frac{L}{D} \leq 1,0$$

$$\frac{r}{D} \geq 0,006$$

$$20 \leq \frac{L}{t} \leq 2000$$

c) **STEP 3:** Calculate the following geometric constants

Torispherical_head.png

$$\beta_{th} = \arccos \left[\frac{0,5D-r}{L-r} \right] = 64,10 \text{ rad}$$

$$\phi_{th} =$$

5. Escribiendo Matemáticas con LaTeX

Uno de los puntos fuertes de LaTeX es su versatilidad para escribir fórmulas matemáticas. Cuando escribimos una fórmula en mitad de una línea la insertamos entre dos caracteres \$. por ejemplo a_{ij} se escribe como `a_{ij}`. Si queremos que la fórmula aparezca separada del texto y centrada escribiremos lo siguiente :

```
\begin{equation}
\label{integral}
f(x)=\int f'(x)dx+C
\end{equation}
```

lo cual produce la salida

$$f(x) = \int f'(x)dx + C \quad (2)$$

existe una enorme cantidad de comandos para escribir símbolos y fórmulas matemáticas, no entraremos en ello aquí y aconsejamos mirar algún libro de texto sobre el tema.

5.1. Escribiendo teoremas, lemas, etc..

Para que LaTeX numere los teoremas de forma automática, es necesario definir contadores para los teoremas, lemas, etc. ello se hace con el comando `\newtheorem{teorema}{Teorema}` que se pone al principio del documento. Un teorema se escribe de la siguiente forma :

```
\begin{teorema}
\label{Pitagoras}
Dado un triángulo rectángulo, la suma
de los cuadrados de los catetos
es igual a la hipotenusa al cuadrado
\end{teorema}
```

que da como resultado

Teorema 1 *Dado un triángulo rectángulo, la suma de los cuadrados de los catetos es igual a la hipotenusa al cuadrado*

6. Bibliografía y referencias cruzadas

Otro aspecto interesante de LaTeX es la flexibilidad para introducir la bibliografía y la manera de hacer referencias en el texto. La bibliografía se escribe así :

```

\begin{thebibliography}{1}

\bibitem{La86} Leslie Lamport.
{\em "LaTeX : A document Preparation System"}.
Addison-Wesley, 1986.

\bibitem{Ro93} Christian Rolland.
{\em "LaTeX guide pratique"}.
Addison-Wesley, 1993.

\end{thebibliography}

```

Lo que da como resultado :

Referencias

- [1] Leslie Lamport *LaTeX : A document Preparation System*. Addison-Wesley, 1986.
- [2] Christian Rolland *LaTeX guide pratique*. Addison-Wesley, 1993.

La etiqueta de cada referencia es lo que acompaña al comando `\bibitem`, por ejemplo `La86` es la etiqueta del primer libro y `Ro93` es la etiqueta del segundo, aunque se puede poner lo que se quiera como etiqueta, una buena regla es poner las primeras letras de los apellidos del autor o autores y a continuación el año.

Para hacer referencia en el texto a un documento de la bibliografía se utilizará el comando `\cite`, para hacer referencia a una etiqueta que se haya puesto en una fórmula, etc.. se utilizará el comando `\ref`. A continuación veremos un ejemplo de utilización de citas y referencias.

En las referencias `\cite{La86}` y `\cite{Ro93}` se encuentra una descripción en profundidad de las características de LaTeX. La figura `\ref{MiFigura}` que está en la página `\pageref{MiFigura}`, la tabla `\ref{MiTabla}`, el teorema `\ref{Pitagoras}` y la fórmula `\ref{integral}` son ejemplos de como utilizar las etiquetas.

La salida de este texto es :

En las referencias [1] y [2] se encuentra una descripción en profundidad de las características de LaTeX. La figura ?? que está en la página ??, la tabla ??, el teorema 1 y la fórmula 2 son ejemplos de como utilizar las etiquetas.

Una forma más avanzada de manejar bibliografía es utilizar la aplicación BibTeX que acompaña al LaTeX, con ella podemos, a partir de un fichero donde tenemos almacenado una gran cantidad de citas bibliográficas (que suele tener la extensión `.bib`) construir la bibliografía de nuestro documento. Esto es especialmente útil cuando se hacen múltiples documentos que comparten bibliografía.

7. Donde encontrar LaTeX y software relacionado

El lenguaje LaTeX viene en la mayoría de las distribuciones Linux. En el caso de windows, se puede encontrar una versión gratuita de LaTeX, denominada MikTeX que se puede encontrar en el sitio web :

www.miktex.org

Si el espacio en disco no es un problema, yo instalaré la versión completa de MikTeX con todos los paquetes, de esta forma nunca tendremos problemas de que el documento no se compila porque le falta algún paquete.

MikTeX funciona a nivel de línea de comando, un entorno más agradable que sirve de interfaz con MikTeX es Led. En este entorno, que ha sido utilizado para escribir este documento, se puede compilar, construir documentos PDF, y escribir fórmulas matemáticas a través de los menus, de tal manera que no es necesario conocer de memoria los comandos de LaTeX. Este software se puede descargar desde

<http://www.latexeditor.org/>

A más alto nivel está el software Scientific WorkPlace, que sigue una filosofía "What you see what you get", es decir, en ningún momento aparecen comandos LaTeX directamente y lo que se ve es el resultado del comando. Además este software incluye un núcleo del MAPLE lo que permite hacer cálculos como resolver sistemas, dibujar gráficas, etc.. Para utilizar este software no es necesario conocer LaTeX, pero hay que tener cuidado si queremos que el fichero compile bien en un compilador de Latex standard, pues el software suministra herramientas que no están en Latex standard. Este software requiere licencia de pago y se puede encontrar en el sitio web :

www.tcisoft.com

Para encontrar información de Latex en español, y por ejemplo, ver como se puede hacer que los cortes de palabras al final de la línea se hagan siguiendo las reglas del castellano se aconseja visitar la página web

<http://filemon.mecanica.upm.es/CervanTeX/>