

**CAPÍTULO VI:**  
**COMPARACIÓN DE RESULTADOS**  
**Y CONCLUSIONES**

## **6 Comparación de resultados y Conclusiones**

### **Índice**

6.1	Objeto.....	107
6.2	Comparación de resultados.....	107
	4.2.1    Envolvente.....	107
	4.2.2    Cubierta.....	110
	4.2.3    Anillo de refuerzo.....	110
6.3	Conclusiones.....	110

## **6.1 Objeto**

El objeto del presente documento es resumir y comparar los resultados obtenidos en el diseño de un tanque por dos métodos de cálculo distintos:

- Diseño según la norma ASME B96.1-1999
- Diseño según el Eurocódigo 9

Los parámetros a comparar son:

- Espesores de chapas: virolas y cubierta
- Dimensiones del anillo de compresión

Se analizarán también los ratios de aprovechamiento obtenidos tras el análisis con los procedimientos del Eurocódigo 9.

Además, es importante tener en cuenta la complejidad de cálculo que ocasiona cada método.

## **6.2 Comparación de resultados**

### **6.2.1 Envoltente**

Tras el análisis de las dimensiones obtenidas por la norma americana mediante el Eurocódigo 9, se obtuvieron los siguientes ratios de aprovechamiento de cada parte:

<i>Zona</i>	<i>Ratio de aprovechamiento</i>
1ª virola	54,45%
2ª virola	52,86%
3ª virola	56,14%
4ª virola	59,12%
5ª virola	60,29%
6ª virola	61,69%
7ª virola	61,90%
8ª virola	64,14%
9ª virola	65,57%
10ª virola	67,27%

Tabla 6.1: Ratio de aprovechamiento en la envolvente

Se comprueba a simple vista que los espesores podrían ser disminuidos con el fin de obtener un mayor aprovechamiento.

Así, en la siguiente tabla se comparan los espesores de la envolvente calculados según la norma ASME B96.1 y el Eurocódigo 9:

<i>Virola</i>	<i>Espesor ASME (mm)</i>	<i>Espesor Eurocódigo 9 (mm)</i>
<b>1</b>	7	5
<b>2</b>	9	7
<b>3</b>	12	10
<b>4</b>	16	14
<b>5</b>	20	18
<b>6</b>	24	22
<b>7</b>	27	25
<b>8</b>	31	29
<b>9</b>	35	33
<b>10</b>	39	37

Tabla 6.2: Espesores de las virolas obtenidos

Las conclusiones que se pueden extraer tras estos resultados es que los espesores proporcionados por la norma americana están sobredimensionados desde el punto de vista del Eurocódigo 9. Esto conlleva una mayor cantidad de material y, por consiguiente, un precio más elevado en la construcción del tanque de almacenamiento. Sin embargo, el diseño mediante la norma europea requiere un mayor tiempo de cálculo y un conocimiento previo de métodos numéricos. La utilización del Método de los Elementos Finitos, requiere el manejo de programas de cálculo que no son conocidos por la mayoría de ingenieros.

La disminución de material al construir el tanque de almacenamiento según el Eurocódigo 9 sería la siguiente:

<i>Virola</i>	<i>Volumen ASME (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Volumen EC9 (m<sup>3</sup>)</i>
1	1,1543	0,8245
2	1,4840	1,1543
3	1,9785	1,6488
4	2,6377	2,3081
5	3,2967	2,9672
6	3,9556	3,6262
7	4,4497	4,12039
8	5,1084	4,7791
9	5,7669	5,4376
10	6,4252	6,0960
<b>TOTAL</b>	<b>36,2573</b>	<b>32,96268</b>

Tabla 6.3: Volumen de material

Puesto que la densidad de la aleación de aluminio empleada es 2.700 kg/m<sup>2</sup>, el peso total de ambas estructuras será:

<i>Peso ASME (kg)</i>	<i>Peso EC9 (kg)</i>
97.894,96	88.999,24

Tabla 6.4: Peso del material

La reducción de peso que se obtiene al considerar las dimensiones obtenidas por el Eurocódigo 9 en vez de las obtenidas por la norma ASME B96.1 es de *8.895,73 kg*.

Esto implica una reducción importante en el coste de la construcción del material al emplearse una menor cantidad de aluminio.

### **6.2.2 Cubierta**

El ratio de aprovechamiento de esta zona, considerando las dimensiones obtenidas por la norma ASME B96.1, es del *91,08 %*. Esto implica que prácticamente el resultado obtenido por el diseño con la norma americana y la norma europea coincide. No obstante si se tiene en cuenta el tiempo empleado y la necesidad de unos conocimientos previos para el diseño, parece más óptimo el diseño mediante el ASME B96.1.

### **6.2.3 Anillo de compresión**

El ratio obtenido tras el análisis mediante el Eurocódigo 9 es del *82,42%*. Quizá podría contemplarse el estudio de un perfil de dimensiones menores pero puede que el resultado obtenido no compensase a las horas de cálculo necesarias para la comprobación de esta estructura según la norma europea.

## **6.3 Conclusiones**

Como se ha visto en los apartados anteriores, atendiendo únicamente al ahorro de material, los cálculos según el Eurocódigo 9 implican un aprovechamiento del aluminio mayor.

A priori se podría concluir que la Teoría de los Estados Límites proporciona resultados más realistas del comportamiento de la estructura, al igual que ocurre con las estructuras de barras, donde este método es ampliamente utilizado.

Sin embargo, el Eurocódigo 9, a pesar de indicar los distintos estados límites que deben considerarse y proponer la utilización de métodos numéricos para el diseño óptimo de los depósitos, no incluye en ningún momento directrices o normas para dicho cálculo.

La utilización de métodos numéricos, como el Método de los Elementos Finitos, requiere el manejo de programas de cálculo específicos que suelen exigir un importante esfuerzo de aprendizaje, tanto de la herramienta informática en sí, como de los conceptos que se utilizan en este método, y que no son conocidos por la mayoría de ingenieros.

Además, el diseño basado en este método requiere cierta experiencia por parte del calculista para decidir qué medidas tomar en el caso de que la solución inicial no cumpla con todas las exigencias de la norma.

Por el contrario, los cálculos basados en la norma ASME B96.1, si bien son más conservadores, resultan mucho más sencillos de realizar, no necesitando una gran experiencia por parte del diseñador. Este código indica de forma clara los pasos a seguir en el diseño, sin necesidad de que el calculista tome decisiones respecto a qué zona reforzar o qué elementos auxiliares utilizar. Además, está basado en la larga experiencia de la industria del petróleo en el cálculo de estas estructuras y ha dado, hasta el momento, muy buenos resultados.

Como conclusión, parece que los depósitos de aluminio de la industria deberían calcularse con ASME B96.1

El paso de la Teoría de las Tensiones de Diseño y las Tensiones Admisibles a la Teoría de los Estados Límite, en el cálculo de estructuras laminares, será factible cuando aparezcan herramientas informáticas que faciliten el modelado del depósito y la interpretación de los resultados obtenidos con elementos finitos. De esta forma, el ahorro de material irá parejo con el ahorro de horas de ingeniería.

Cuando se tenga experiencia suficiente en el diseño de tanques con este método, y las normas detallen con más precisión los factores utilizados en el cálculo, se prevé que haya un movimiento hacia la utilización del Eurocódigo 9, puesto que el ahorro de material se sobrepondría al coste del diseño por esta norma.