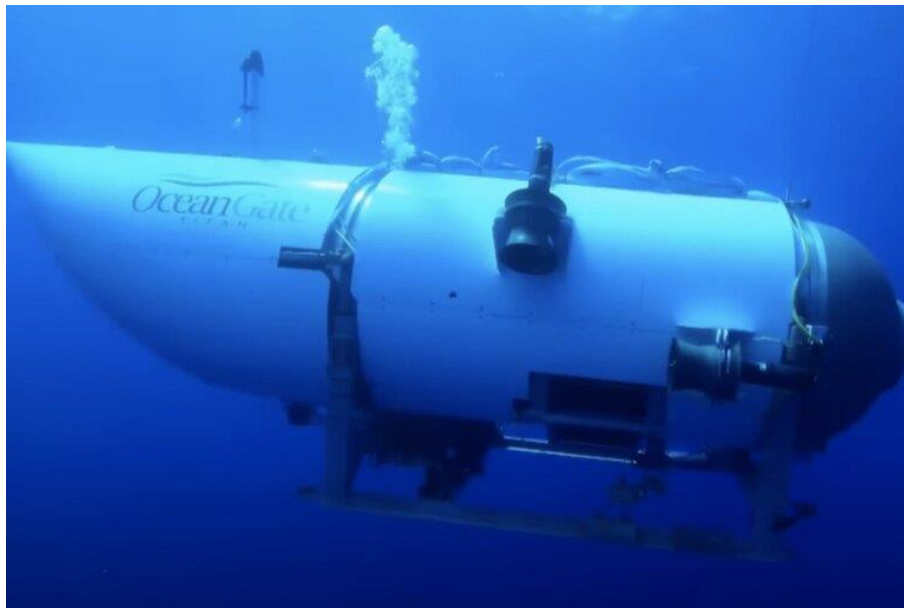


“LA DESTRUCCIÓN DEL SUMERGIBLE TITAN: LAS CONCLUSIONES”

A. Los antecedentes.

El sumergible “*Titan*” desapareció en las profundidades del océano Atlántico Norte el pasado domingo día 18 de agosto; tras **105 minutos de viaje submarino**, acabó completamente destruido por una implosión con el resultado de la muerte de las cinco personas que iban a bordo.



En los anteriores viajes para visitar a los restos del “*Titanic*” que se encuentran a **3.800 m de profundidad**, también había tenido algunos problemas eléctricos y con las comunicaciones, pero el “*caso resistente*” o “*casco de presión*” no tuvo ningún problema estructural que se sepa.

Pero el mayor enemigo de los sumergibles es la presión exterior y, francamente, no conviene desafiarla.

En esos viajes, tanto la inmersión como la emersión fueron controlados por el piloto de la nave, descendiendo y ascendiendo de forma gradual con lo que el casco se iba deformando gradualmente en todo momento y de acuerdo con la presión existente en cada cota.

Eso demuestra que la “*tasa de seguridad*” del *Titan* era más o menos correcta, del orden del 80 o el 90 %, porque todos los sumergibles construyen sus “*cascos resistentes*” bajo dos cotas de cálculo:

- La “*cota de seguridad*”, correspondiente a la de la resistencia de los materiales.
- La “*cota de colapso*” o de “aplastamiento”, que es aquella a la que el submarino es literalmente aplastado por las fuerzas de la presión del agua.

Supongamos solamente a modo de ejemplo, que para el Titan se tendrían las siguientes:

- **Cota de seguridad: 4.000 m**
- **Cota de colapso: 4.300 m**
- **Tasa de seguridad: $4000/4300 = 0,93 = 93 \%$**

Entonces, se deduce fácilmente que un submarino será tanto mejor, cuanto mayor sea esa relación.

Entonces, si la implosión que destruyó al *Titan* se produjo aproximadamente **105 minutos** de viaje y por lo tanto en ese tiempo no había podido llegar a los **3.800 m de profundidad**, ¿por qué se originó la implosión a una cota menor?, y ¿qué causa la provocó?

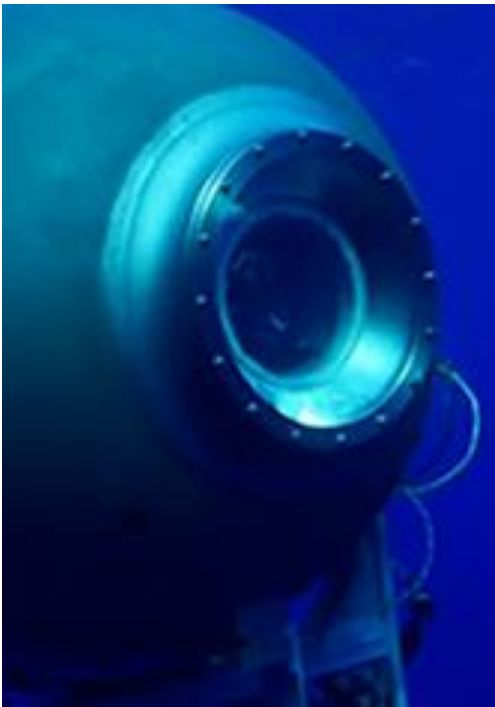
Desde luego, porque existió una entrada de agua instantánea a tal nivel de presión que lo aplastó en el acto.

Por lo tanto, o pudo ser una microgrieta, o un microporo en alguna de las soldaduras, o en el propio seno de los materiales, o un súbito cambió de las dimensiones de los diferentes materiales del casco que no se contrajeron por igual.

De todas las fotografías tomadas a los restos del Titan, hay una que pasando desapercibida, **tiene toda la información** para comprender la tragedia vivida por las cinco personas que iban a bordo: se trata de la foto del semicasquete esférico que formaba la misma proa del *Titan*:



- ¿Por qué está completo sin deformaciones ni fracturas?
- ¿Por qué no están los 14 tornillos de afijación del aro-bridá?
- ¿Por qué falta el pasador de la bisagra de Estribor?
- ¿Por qué falta la tornillería del cierre de la “cerradura” de Babor?



- ¿Por qué falta el “ojo de buey”?
- ¿Por qué faltan los tornillos y la brida de fijación al cuello del semicasquete “proel”)?

Pues la tragedia de la “**implosión**” sobrevino por el instantáneo aumento de la presión del interior del Titan, que actuó como un **monumental y tremendo “ariete”** que golpeó, tanto al “**semicasquete proel**” como al “**ojo de buey**” **arrancándolos en el acto del cuerpo cilíndrico del sumergible.**

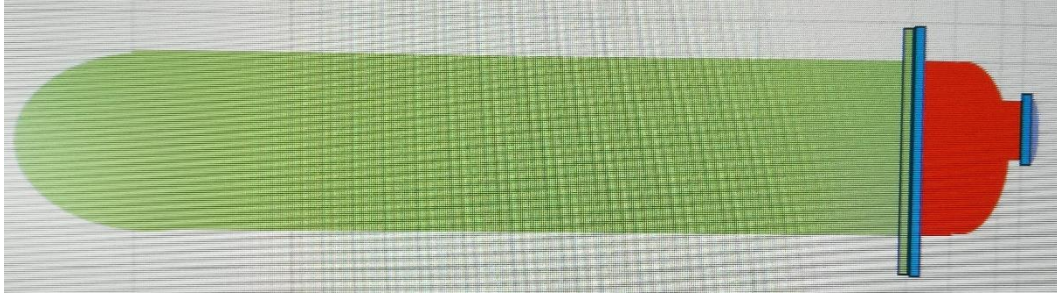
Veamos cómo pudo ser:

1. El submarino va bajando de forma gradual según una pendiente determinada por el piloto. El sumergible mantiene su estructura del casco de presión sin alteraciones: no hay cambio de las medidas.



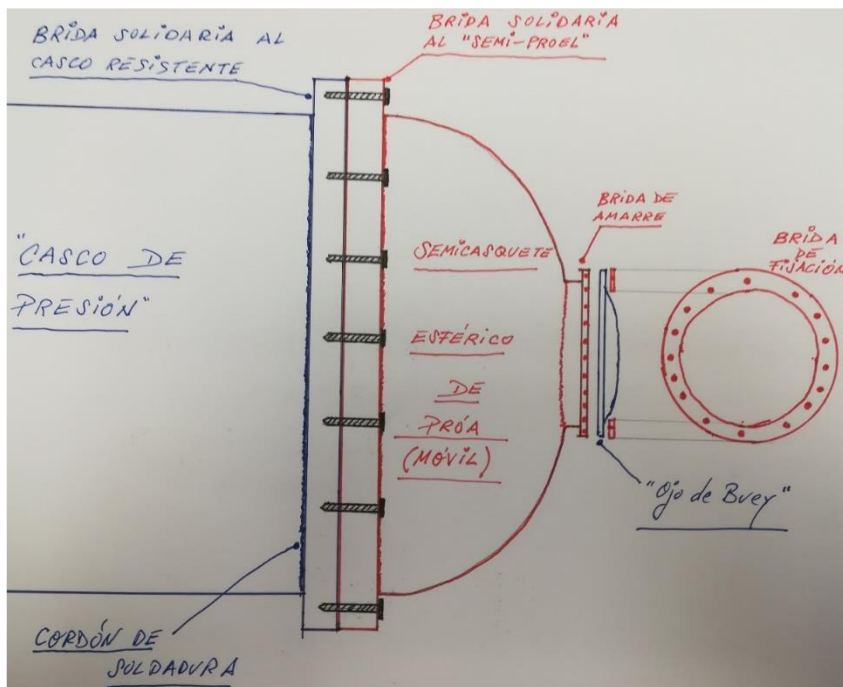
Pero en el caso resistente del *Titan* hay “**un error de diseño astronómico**”: **no tiene escotilla de acceso como todos los submarinos, sumergibles y batiscafos conocidos hasta el momento.**

La entrada se realiza a través de una estructura móvil cuasi semiesférica, abisagrada y fijada con tornillos...iiii; el “semicasquete esférico proel”iiiiii

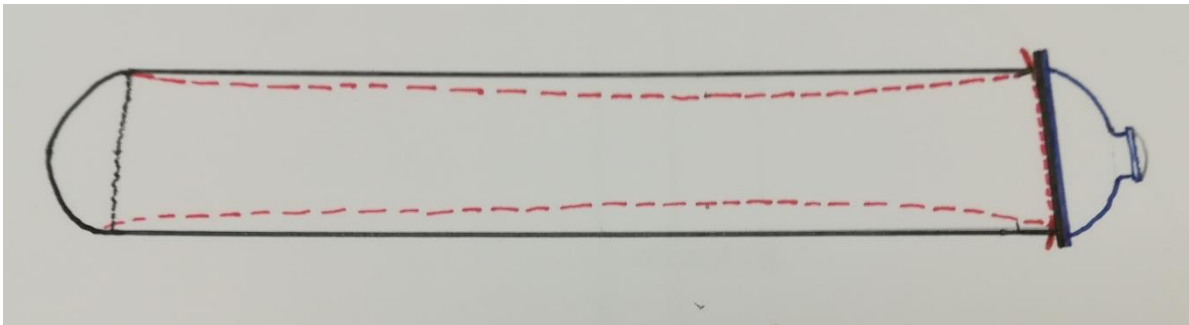


Éste, a su vez, está compuesto de las siguientes estructuras:

- Una brida taladrada con **14 taladros** solidaria al semicasquete por soldadura.
- Una Bisagra a Babor (Br), con cuerpo fijo al casco resistente y cuerpo fijo al "semi" con su pasador vertical
- Una cerradura a estribor (Er), con tornillos de ajuste y cierre.
- Un tramo cilindro ligeramente cónico en la parte delantera, unido por soldadura al semicasquete por la parte trasera del mismo y acabado en una brida taladrada.



- Y sobre la brida taladrada con **16 taladros**, el ojo de buey con su brida de cierre
- 2. El sumergible tiene un problema eléctrico a la cota 1.700 - 1.800 m y se queda sin propulsión; a esa cota soporta una presión de 170 a 180 kg/cm².
- 3. Al quedarse sin propulsión, cambia rápidamente de posición debido al peso de unos 400 kg concentrado en la proa del sumergible
- 4. En tal disposición “cae verticalmente como una flecha hacia el fondo”.
- 5. Al caer bruscamente a unos **900 o 1000 m de profundidad**, su casco recibe un aumento instantáneo de la presión del orden de **90 a 100 kg/cm²**, lo que se traduce en una súbita contracción por reducción instantánea del diámetro de la parte cilíndrica del caso resistente.

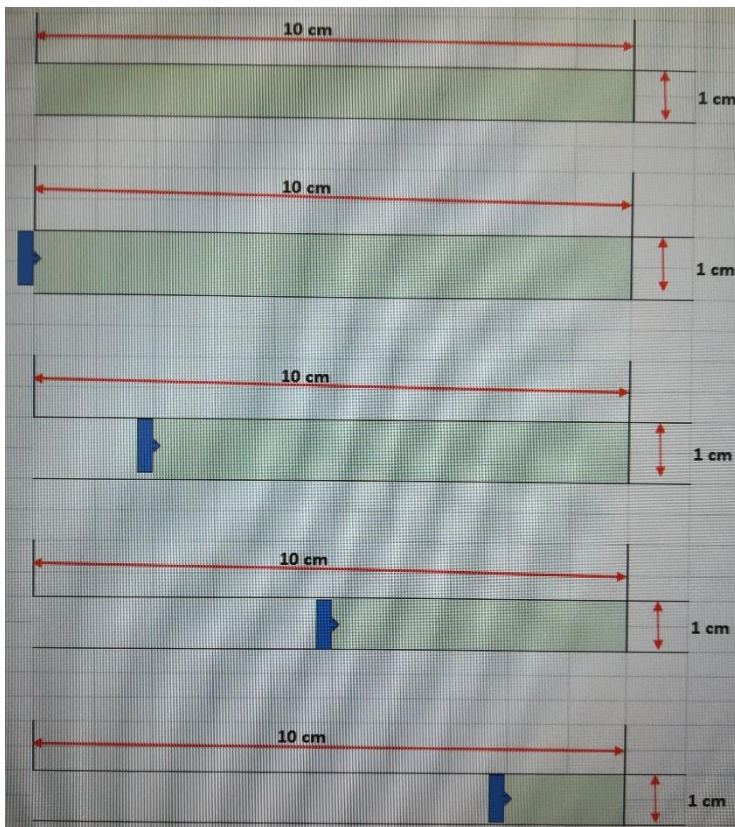


Esa contracción cambia en el acto, la forma “*apléxica*” de un casco de **sección circular** porque rompe instantáneamente la proporcionalidad de las “*curvas funiculares*” de su curvatura y por tanto el “***Momento Flector Resultante No es Nulo***”.

B. Los Cálculos

Para comprenderlo mejor, tomemos como ejemplo a un cilindro tapado perfectamente por uno de sus extremos, en donde un émbolo o pistón, comienza a desplazarse desde el extremo abierto al cerrado; vamos, como una “jeringuilla” con el orificio de salida taponado:

1. Inicialmente, el cilindro de **10 cm** de longitud y **1 cm** de diámetro está en reposo y dentro del mismo hay un volumen de aire proporcional a sus dimensiones que está a presión atmosférica.



2. Entonces, al ir comprimiéndose, cambian sus condiciones físicas de presión y volumen a razón de la “**Ley de Boyle-Mariotte**”:

$$p_1 \times v_1 = p_2 \times v_2$$

por lo que entonces:

$p_2 = \frac{p_1 \times v_1}{v_2}$

Y tras un compresión gradual se obtiene la siguiente tabla:

L (cm)	πr^2 cm ²	v ₁ (cm ³)	v ₂ (cm ³)	p ₁ kg/cm ²	p ₂ kg/cm ²
10	0,7854	7,8538	-	1	-
9			7,0684		1,1
8			6,283		1,3
7			5,4976		43,2
6			4,7123		1,7
5			3,9269		2,0
4			3,1415		2,5
3			2,3561		3,3
2			1,5708		5,0
1			0,7854		10,0
0,5			0,3927		20,0

En donde se observa claramente que **en los volúmenes comprimidos cada vez más pequeños, la presión resultante no es proporcional sino exponencial.**

3. Entonces, si tomamos como ejemplo el caso anterior para el interior del Titan mientras está siendo aplastado o “comprimido” por la presión exterior, tendremos (suponiendo que permanecen constantes las temperaturas del mar y la del interior del sumergible, por lo que se desprecian para el cálculo) que:

$p_1 \times v_1 = p_2 \times v_2$ por lo que de nuevo:

$$p_2 = \frac{p_1 \times v_1}{v_2}$$

- 3.1. Compresión del material del “semicasquete esférico proel”: para unas dimensiones del sumergible de **6,5 m de eslora y 2,5 de manga:**

L	πr^2	v1	v2	p1	p2
(m)	m ²	(m ³)	(m ³)	kg/cm ²	kg/cm ²
6,5	4,9	31,85	31,9	271	271,0
6			29,4		293,6
5,5			27,0		320,3
5			24,5		352,3
4,5			22,1		391,4
4			19,6		440,4
3,5			17,2		503,3
3			14,7		587,2
2,5			12,3		704,6
2			9,8		880,8
1,5			7,4		1174,3
1			4,9		1761,5
0,5			2,5		3523,0

En donde se aprecia claramente el mismo efecto del **aumento exponencial de la presión al llegar a un volumen de aire comprimido cada vez más pequeño.**

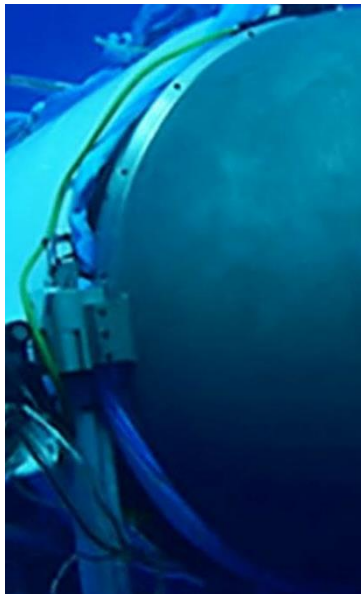
Entonces, la presión de aplastamiento a 2.700 m de profundidad pudo ser perfectamente de **3.523 kg/cm², correspondiente a una profundidad de 35.230 metros.**

A continuación (todavía estamos en el primer mililésimo de segundo), esa presión, ejerció una fuerza sobre una superficie transversal del “semicasquete esférico”, que suponiendo fuera una disco de **2,5 m** de diámetro la superficie es de **49.000 cm²:**

$$p = \frac{F}{S} \quad \rightarrow \quad F = p \times S$$

p2	S	F
kg/cm2)	cm2	kg
271,0	49.000	13.279.000
293,6		14.385.583
320,3		15.693.364
352,3		17.262.700
391,4		19.180.778
440,4		21.578.375
503,3		24.661.000
587,2		28.771.167
704,6		34.525.400
880,8		43.156.750
1174,3		57.542.333
1761,5		86.313.500
3523,0		172.627.000

Y todo el empuje de esa fuerza desmesurada, hizo saltar instantáneamente a los **14 tornillos de acero inoxidable** que fijabana al semicasquete esférico de proa.



Tanto los 14 tornillos del aro-brida del “semi-proel” como los 16 de la brida de cierre del “ojo de buey” eran del material conocido como “**acero inoxidable**”.

Pero dentro de la familia de los aceros inoxidables, el *Titan* llevaba los de mejor calidad: los “**Aceros Austeníticos**”:

AUSTENÍTICOS	DENOMINACIÓN	RESISTENCIA
A 1 A 2 A 3 A 4 A 5	50	500 N/mm ²
	70	700 N/mm ²
	80	800 N/mm ²

Entonces, se escogieron unos tornillos que tuvieran las mejores prestaciones de dureza, elasticidad y resistencia a la rotura; solo un tipo de tornillo podía cumplir con esas características:

PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

TIPO	RESISTENCIA A LA	DUREZA	MAGNETISMO	SOLDABILIDAD
	CORROSIÓN			
MARTENSÍTICO	BAJA	ALTA	SI	POBRE
FERRÍTICO	BUENA	MEDIA BAJA	SI	LIMITADA
AUSTENÍTICO	EXCELENTE	ALTA	NO	EXCELENTE

TIPO	No. MATERIAL	C (%)	Cr (%)	Mo (%)
A 2	1. 4301	≤ 0,07	17,5 - 19,5	-
A 2	1. 4306	≤ 0,03	18,0 - 20,0	-
A 2	1. 4303	≤ 0,07	17,0 - 19,0	-
A 3	1. 4541	≤ 0,10	17,0 - 19,0	-
A 4	1. 4401	≤ 0,07	16,5 - 18,5	2,0 - 2.5
A 4	1. 4404	≤ 0,03	16,5 - 18,5	2,0 - 2.5
A 5	1. 4571	≤ 0,10	16,5 - 18,5	2,0 - 2.5

De acuerdo con las tablas anteriores, el mejor tornillo que podía emplearse por su contenido en **Carbono (C)**, **Cromo (Cr)**, **Molibdeno (Mo)**, su **dureza** y su **resistencia a la corrosión** era el tornillo:

A 4 80

Es decir, un tornillo inoxidable austenítico de **800 Nmm²** de tensión de rotura. Como los tornillos se pueden definir por su diámetro nominal, tenemos que en el sistema métrico, podemos encontrarnos con tornillos métricos diferenciados solo por su diámetro.

Así el Titan podía llevar tornillos **M12** (demasiados pequeños), **M 14** o **M16**.

Entonces, conocidos los diámetros, se conocen sus superficies:

- **M 14 = 153 mm²**
- **M 16 = 201,05 mm²**

Por lo que la fuerza máxima que pueden soportar antes de su rotura es de:

RESISTENCIA	M	S	N	kg
N/mm ²		(mm ²)	(Newtons)	
500	14	153,93	76.965	7.696,5
	16	201,05	100.525	10.052,5
700	14	153,93	107.751	10.775,1
	16	201,05	140.735	14.073,5
800	14	153,93	123.144	12.314,4
	16	201,05	160.840	16.084,0

Por lo tanto, ya podemos conocer la fuerza de empuje ejercida sobre cada uno de los **14 tornillos**:

F	No.	M	kg/Tornillo
kg	Tornillos		
13.279.000,00	14	14 & 16	948.500,00
14.385.583,33			1.027.541,67
15.693.363,64			1.120.954,55
17.262.700,00			1.233.050,00
19.180.777,78			1.370.055,56
21.578.375,00			1.541.312,50
24.661.000,00			1.761.500,00
28.771.166,67			2.055.083,33
34.525.400,00			2.466.100,00
43.156.750,00			3.082.625,00
57.542.333,33			4.110.166,67
86.313.500,00			6.165.250,00
172.627.000,00			12.330.500,00

Y conociendo las dimensiones de cada tipo **M14** o **M 16**, podemos afirmar que:

kg/Tornillo	< o >	kg
948.500,00	>	
1.027.541,67		
1.120.954,55		
1.233.050,00		7.696,5
1.370.055,56		10.052,5
1.541.312,50		10.775,1
1.761.500,00		14.073,5
2.055.083,33		12.314,4
2.466.100,00		16.084,0
3.082.625,00		
4.110.166,67		
6.165.250,00		
12.330.500,00		

Entonces, ninguno de los **14 tornillos de fijación del “semi-proel”** pudo aguantar la fuerza de empuje, por lo que fueron literalmente arrancados de cuajo y el “semi-proel” salió despedido a una extrema velocidad.

3.2. Compresión del material del **“ojo de buey”** en la misma proa:



$$p2 = \frac{p1 \times v1}{v2}$$

L	πr^2	v1	v2	p1	p2
(m)	m ²	(m ³)	(m ³)	kg/cm ²	kg/cm ²
6,5	4,9	31,85	31,9	271	271,0
6			29,4		293,6
5,5			27,0		320,3
5			24,5		352,3
4,5			22,1		391,4
4			19,6		440,4
3,5			17,2		503,3
3			14,7		587,2
2,5			12,3		704,6
2			9,8		880,8
1,5			7,4		1174,3
1			4,9		1761,5
0,5			2,5		3523,0

En donde se aprecia claramente de nuevo, el mismo efecto del **aumento exponencial de la presión al llegar a un volumen de aire comprimido cada vez más pequeño.**

Ahora, la fuerza debida a la presión, se ejerció sobre una superficie mucho más pequeña, correspondiente al disco de **40 cm** de diámetro del “**ojo de buey**”, cuya superficie es de **1256 cm²**.

p2	S	F
kg/cm²)	cm²	kg
271,0	1.256	340.376
293,6		368.741
320,3		402.263
352,3		442.489
391,4		491.654
440,4		553.111
503,3		632.127
587,2		737.481
704,6		884.978
880,8		1.106.222
1174,3		1.474.963
1761,5		2.212.444
3523,0		4.424.888

Y todo el empuje de esa fuerza desmesurada, hizo saltar instantáneamente a los **16 tornillos de acero inoxidable** que fijaban al “Ojo de Buey” de proa.

F	No.	M	kg/Tornillo
kg	Tornillos		
340.376,00	16	14 & 16	21.273,50
368.740,67			23.046,29
402.262,55			25.141,41
442.488,80			27.655,55
491.654,22			30.728,39
553.111,00			34.569,44
632.126,86			39.507,93
737.481,33			46.092,58
884.977,60			55.311,10
1.106.222,00			69.138,88
1.474.962,67			92.185,17
2.212.444,00			138.277,75
4.424.888,00			276.555,50

Y conociendo las dimensiones de cada tipo **M14** o **M 16**, podemos afirmar que:

kg/Tornillo	< o >	kg
21.273,50	>	
23.046,29		
25.141,41		
27.655,55		7.696,5
30.728,39		10.052,5
34.569,44		10.775,1
39.507,93		14.073,5
46.092,58		12.314,4
55.311,10		16.084,0
69.138,88		
92.185,17		
138.277,75		
276.555,50		

Entonces, ninguno de los **16 tornillos de fijación** del “ojo de buey” pudo aguantar la fuerza de empuje, por lo que fueron literalmente arrancados de cuajo y el “ojo de buey” salió despedido a una extrema velocidad.

C. Las Conclusiones

Visto el estudio anterior, podemos concluir el presente informe en los siguientes puntos:

1. Que el sumergible Titan tuvo el peor diseño de construcción posible debido al nefasto sistema de acceso al submarino por estructura abisagrada y atornillada.
2. Que un acceso tradicional tipo escotilla con tapa circular sobre la generatriz del casco y de pequeñas dimensiones (S) para soportar menos fuerzas

$$F = P \times S$$

habría sido el diseño acertado acorde a los más de **100 años de construcción de submarinos en todo el mundo, con ese sistema.**

