



Instituto Mexicano del Espacio Exterior, A. C.

Mariano Abasolo # 810, Colonia Centro, San Luis Potosí , S. L. P.

C.P 78000 ; México.

+52 55 55607387

gsaucedo@inmee.org



Luis Gerardo Saucedo Zárate ,INMEE , A. C. ,México.

“Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia”

6° Congreso Argentino de Tecnología Espacial;
Universidad de La Punta, San Luis, Argentina;
18, 19 y 20 de mayo del 2011.

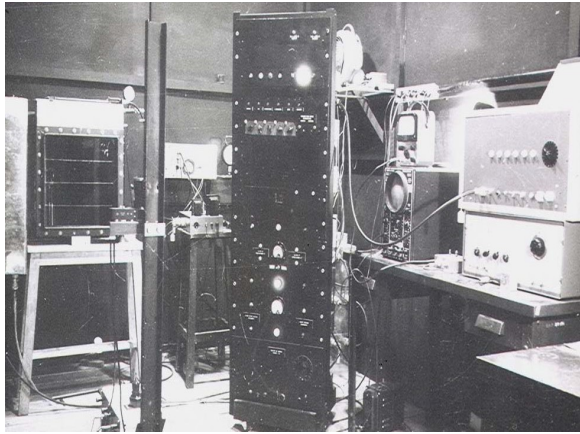


Science Cartoons

ANTECEDENTES

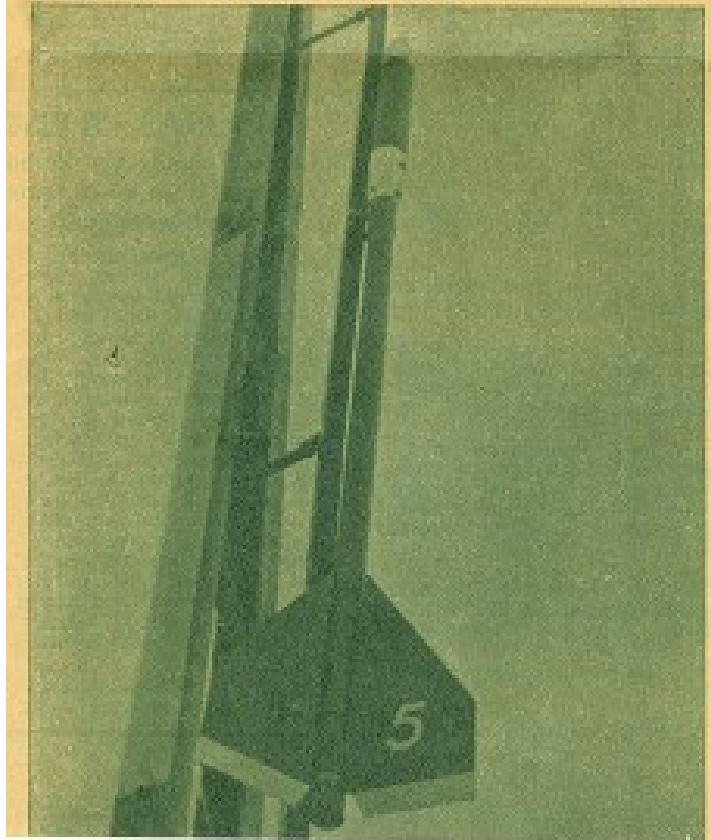
- Universidad Autónoma de San Luis potosí : 1957;
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes : 1960;
- Comisión Nacional del Espacio Exterior : 1960 -1978.

29 de diciembre de 1957 : el cohete Física I ,construido por los profesores y alumnos de la naciente Escuela de Física de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, se convierte en el primer lanzamiento de un cohete con fines científicos, realizado en la República Mexicana. Así se complementaba el estudio de radiaciones cósmicas que se llevaban a cabo en el laboratorio recién construido.



Laboratorio de Radiación Cósmica construido por Gustavo Del Castillo, sin recursos oficiales, entre 1956 y 1957

EL PROYECTIL mexicano se construyó con acero y aluminio. Tiene un peso aproximado de diez kilos, en los cuales están incluidos los cuatro y medio que pesa el combustible empleado para su lanzamiento



Dr Gustavo Del Castillo Y Gamma
Fundador de la Escuela e Instituto de Física
De la Universidad Autónoma
de San Luis Potosí. Trabajó para esos
proyectos sin cobrar un centavo a la
Universidad

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia



Ing. Porfirio Becerril Buitrón (1960)

Foto : Revista SCT Nov-Dic 1960

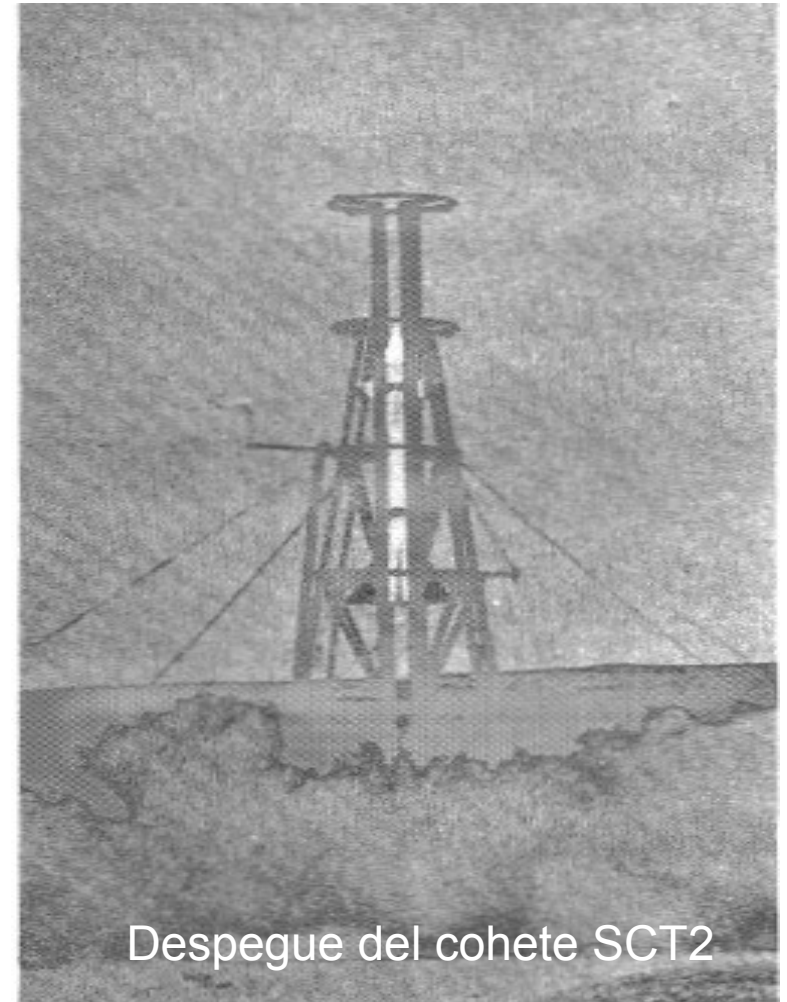
El Ingeniero Porfirio Becerril Buitrón autor del diseño de los cohetes SCT, trabajó en los Ferrocarriles ,donde fué un factor importante en la transición de las locomotoras a vapor en diesel. Mantuvo una brillante carrera en la docencia ,en su Instituto Politécnico Nacional, de donde se graduó en 1939. Apoyado por su jefe en FCN de M, Ing Walter C. Buchanan, se dedicó a recopilar información técnica espacial,hasta llegar a contar más de 5000 volúmenes.Escribió varios artículos que fueron traducidos al inglés por la NASA y hoy forman parte del acervo de documentos NASA-TT-F. De particular interés es un planteamiento analítico para la solución de lo que ahora se conoce como : “Problema de Goddard”, sencilla y elegante disertación. Su gran entusiasmo y dinamismo lo llevaron a plantear la creación de la Agencia Espacial Mexicana que se concretó con la creación el 31 de agosto 1962, de la Comisión Nacional del Espacio Exterior. Ésta CNEE fué extinguida, a decreto ,14 años después. El Ingeniero Becerril visionó que un día se construirían en México cohetes de combustible líquido equipados con turbobombas para misiones orbitales.

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia



Ing. Walter C. Buchanan

Foto : ESIME Libro de Oro 1916-1966

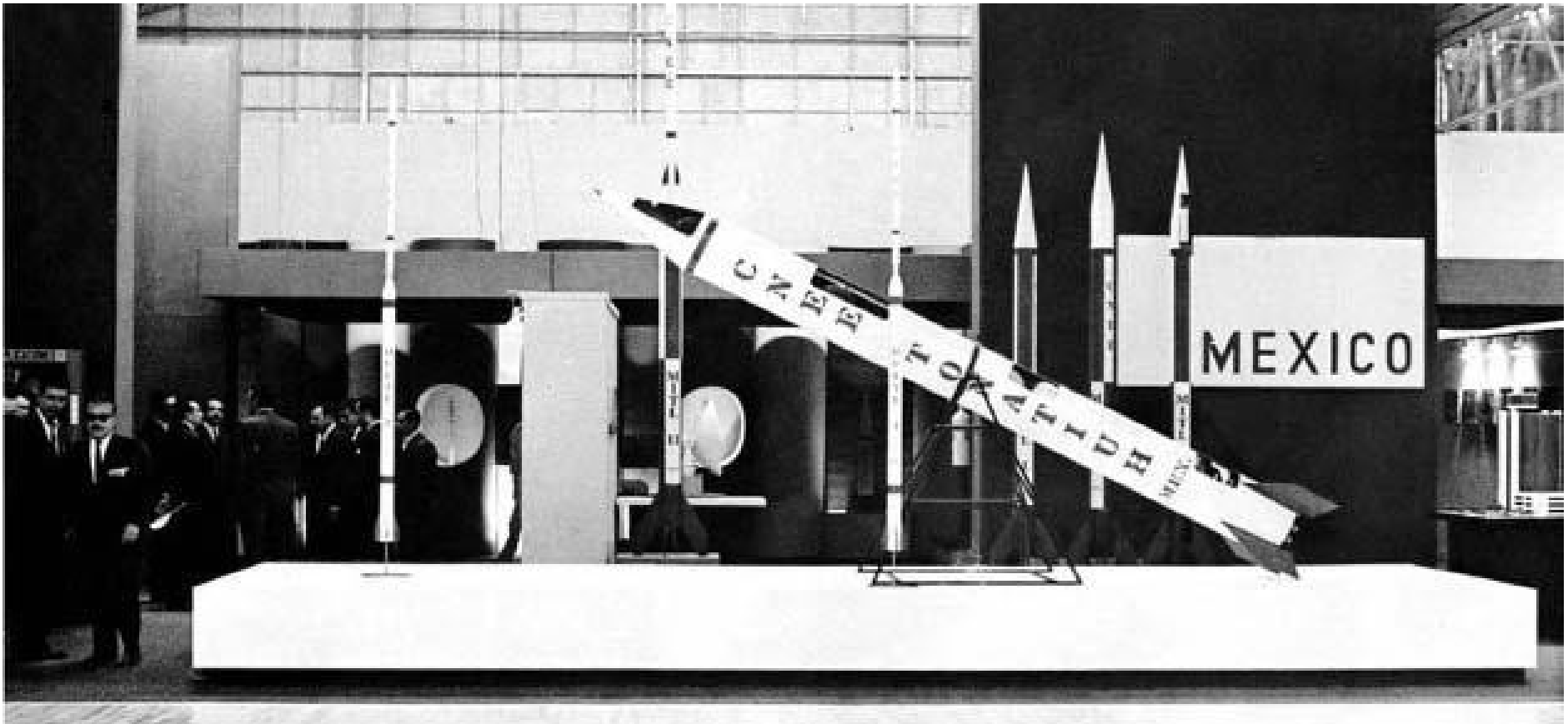


Despegue del cohete SCT2

Foto : Revista SCT Nov-Dic 1960

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

EXHIBICIÓN DE COHETES DESARROLLADOS POR LA CNEE (1968)



Se aprecian : Cohete Tonatiuh, Mitl, Tototl ,Huite; y otras versiones de combinaciones en dos etapas.

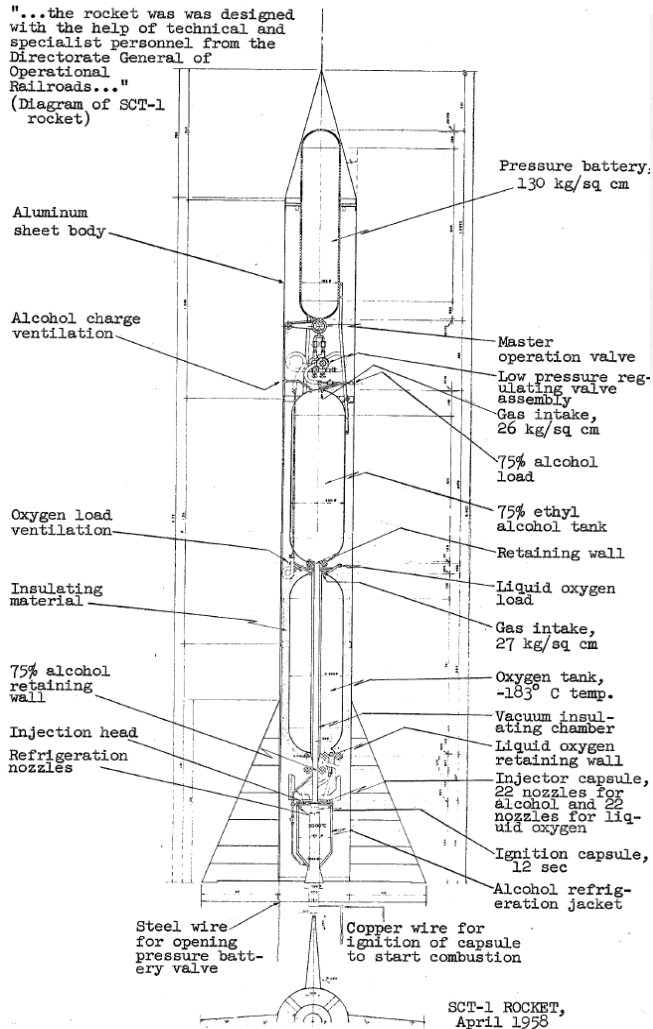
Todos a base de combustible sólido compuesto de primera generación (base perclorato de amonio y plastisol de PVC).

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia



Cohete Tonatiuh en vuelo .Una combinación en dos etapas con el cohete Mitl alcanzó una altura de 120 Kms, transportando una carga útil de 8 Kgs.

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia



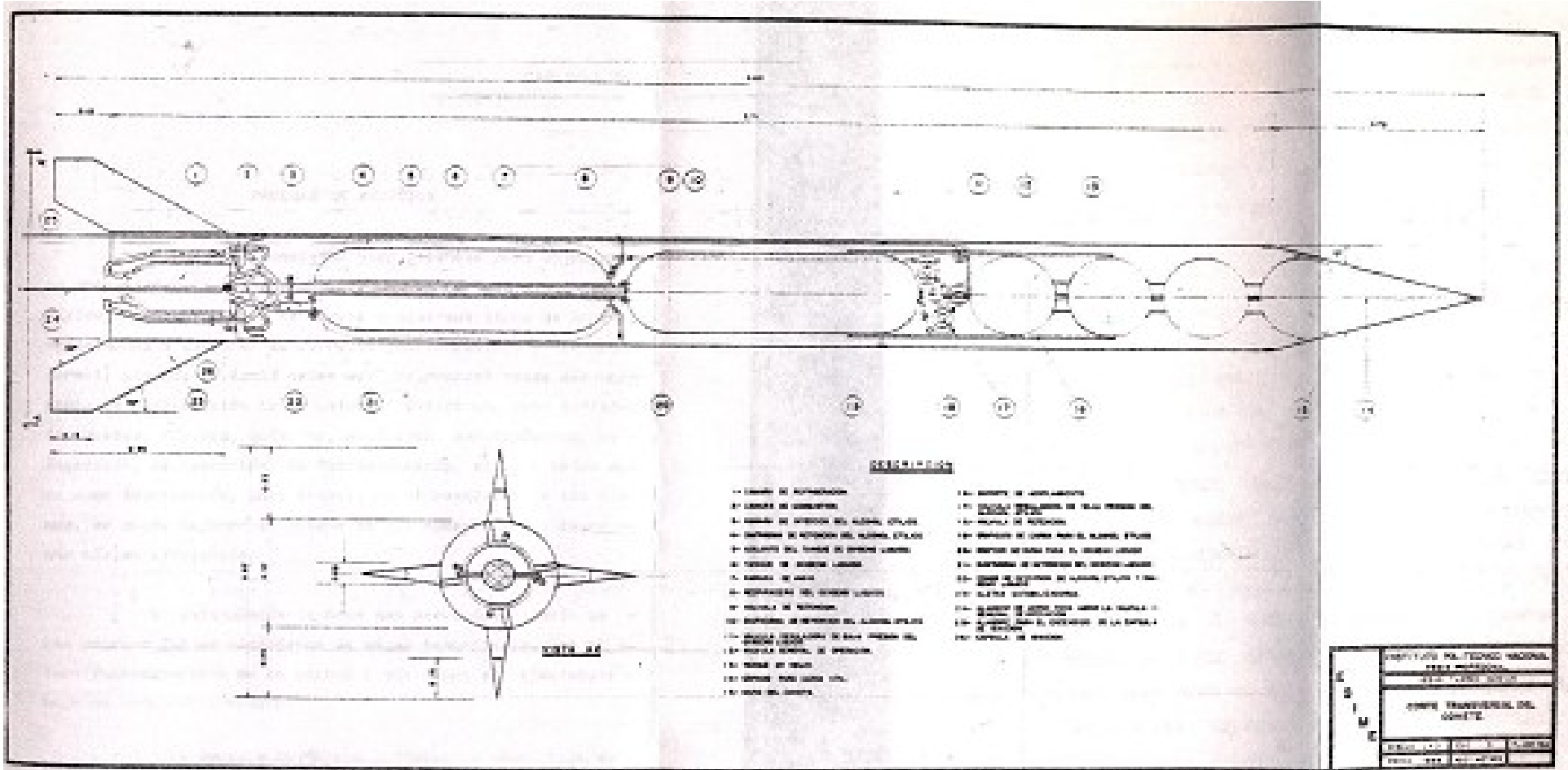
Characteristics of SCT-2 rocket

Deadweight of structure:	103.000
Weight of alcohol, oxygen, and helium (44 sec)	115.600
Weight of alcohol for refrigeration chamber (4 sec)	1.400
Total weight	<u>225 kg.</u>
Combustion time:	44 sec.
Outside diameter of body:	0.375 m.
Total height:	4.480 m.
Total width of wings:	1.184 m.

Construido totalmente en acero tipo AISI 304

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

COHETE SCT-3



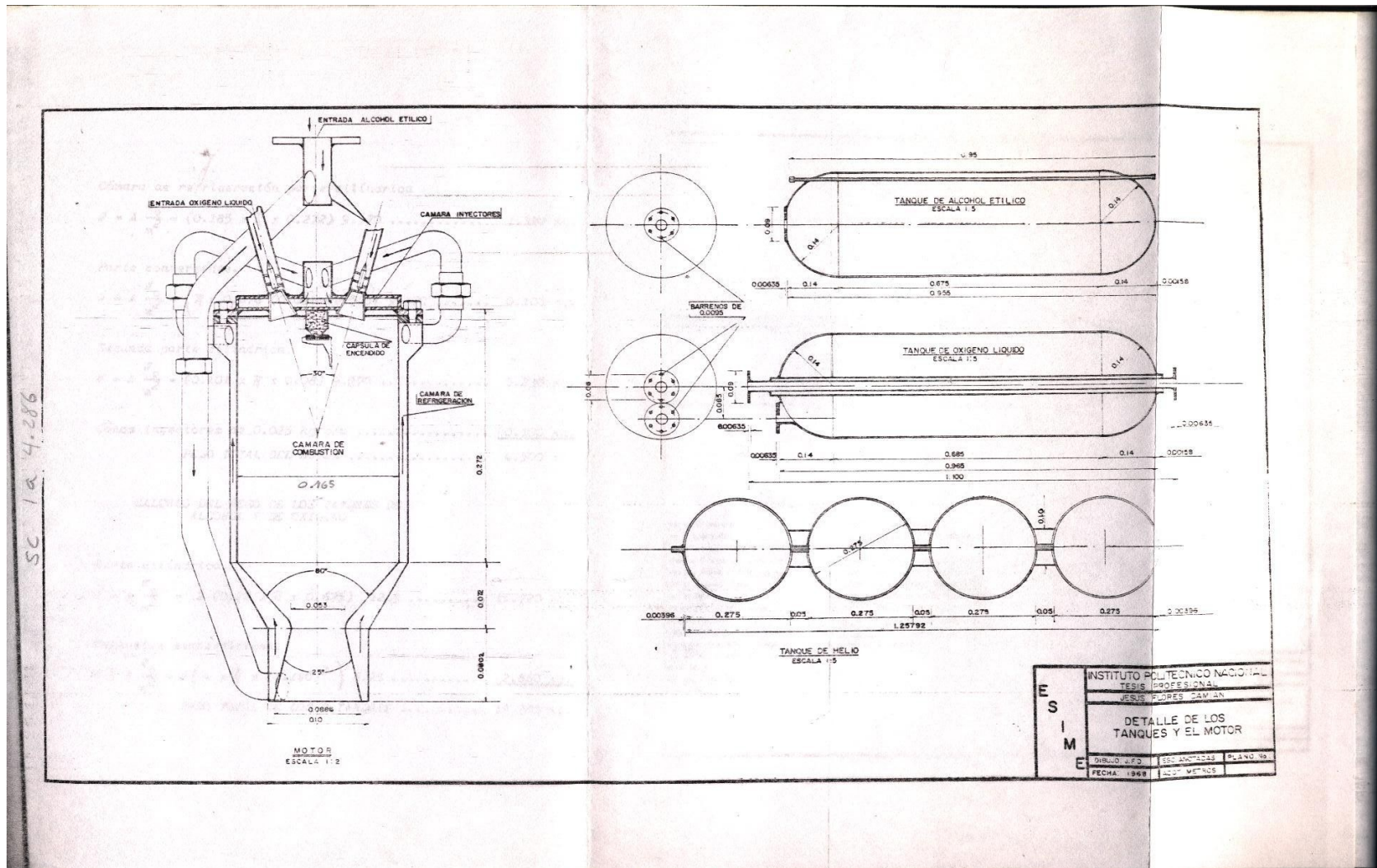
Peso Total : 182 Kgs;
Peso Oxígeno Líquido : 61 Kgs ;
Peso Alcohol etílico (20% Agua): 46 kgs;
Peso Helio : 1 Kg .

Alcance Vertical > 50,000 mts ;
Velocidad Máxima > 3.5 Mach;
Aceleración Máxima 39 mts / seg²

Figs :Tesis ESIME IPN 1968
Jesús Flores Damián

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

COHETE SCT-3



Figs :Tesis ESIME IPN 1968
Jesús Flores Damián

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

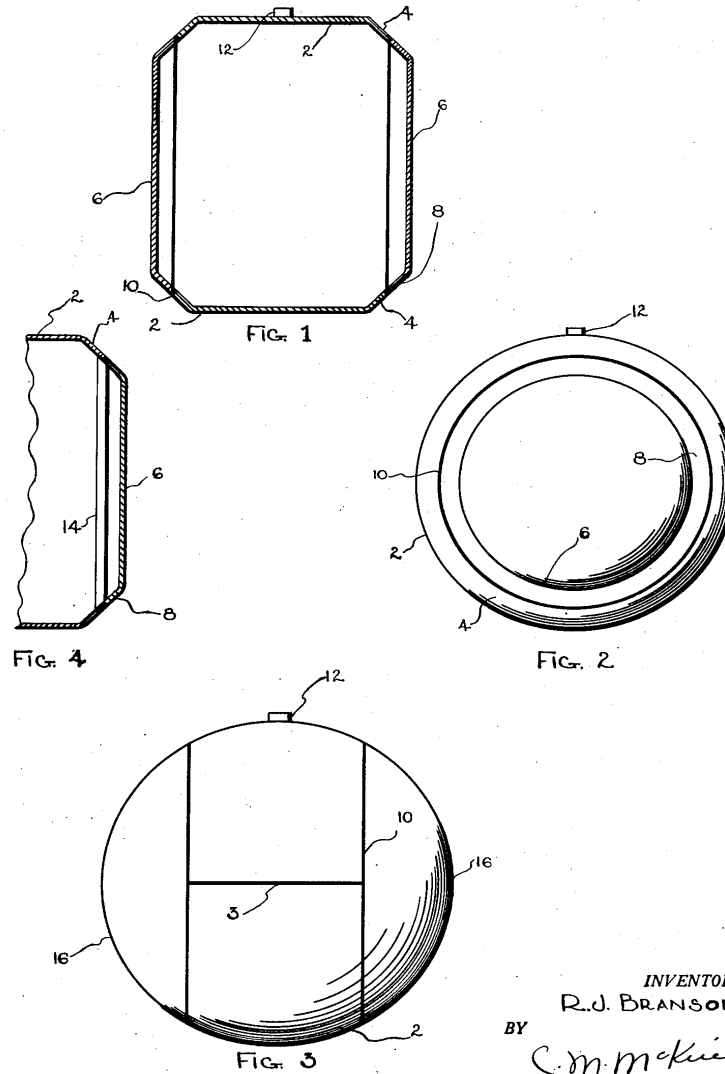
April 4, 1950

R. J. BRANSON

2,503,191

METHOD OF FORMING TANKS OF SPHERICAL CONFIGURATION

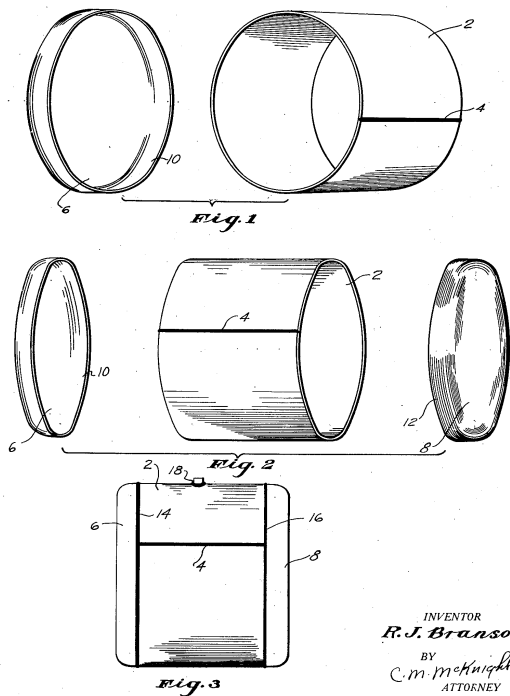
Filed June 30, 1947



INVENTOR.
R. J. BRANSON
BY
C. M. McKnight

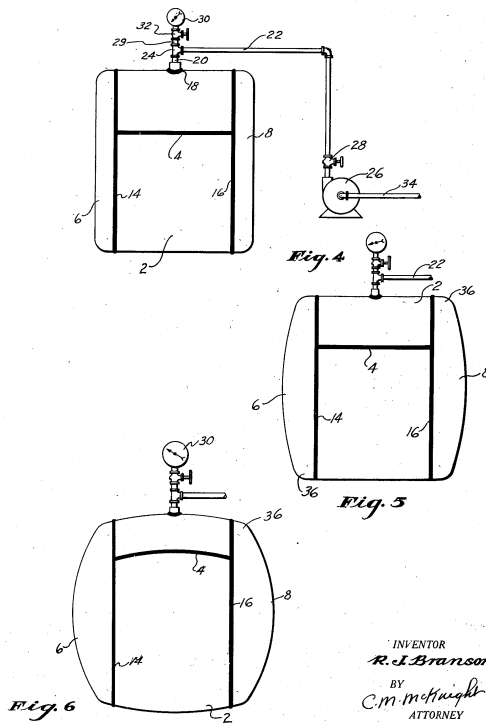
Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

April 4, 1950 R. J. BRANSON 2,503,190
 METHOD OF FORMING SPHERICAL CONTAINERS
 Filed April 7, 1947 3 Sheets-Sheet 1



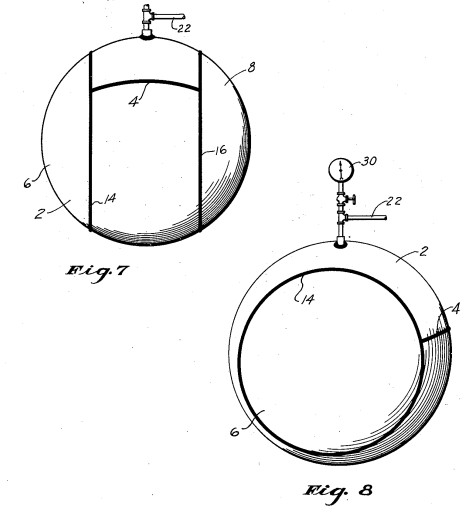
INVENTOR
R. J. Branson
 BY
C. M. McKnight
 ATTORNEY

April 4, 1950 R. J. BRANSON 2,503,190
 METHOD OF FORMING SPHERICAL CONTAINERS
 Filed April 7, 1947 3 Sheets-Sheet 2



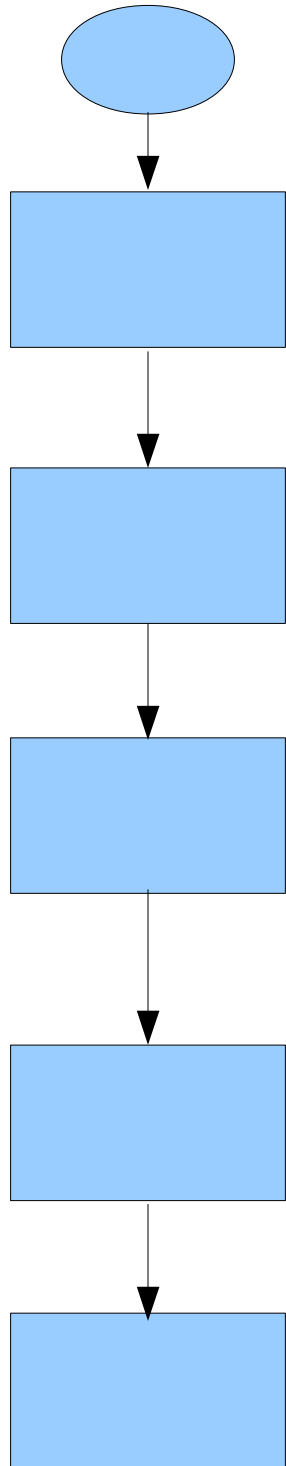
INVENTOR
R. J. Branson
 BY
C. M. McKnight
 ATTORNEY

April 4, 1950 R. J. BRANSON 2,503,190
 METHOD OF FORMING SPHERICAL CONTAINERS
 Filed April 7, 1947 3 Sheets-Sheet 3



INVENTOR
R. J. Branson
 BY
C. M. McKnight
 ATTORNEY

Proceso de fabricación de tanquería en acero inoxidable crioformado



Adquisición del material, especificaciones :

- AISI 301 ó 304L;
- Láminas sueltas u orden mínima.
- Barra / Placa para fabricar boquillas y otros accesorios (Típicamente AISI 304L).

Acondicionado del material :

- Análisis Químico / Pruebas mecánicas ;
- Recocido / normalizado ;
- Decapado.

Corte del material :

- Laser ó hidrocorte;
- Preparación de bisel para soldaduras.
- Soldadura TIG aporte 308L..

Expansión Criogénica

- En nitrógeno líquido (-196°C);
- En alcohol etílico y hielo seco (-78°C)

Terminado

- Decapado;
- Envejecimiento a 430°C por 20 horas;
- Pruebas ND: Líquidos penetrantes ,ultrasonido,etc.

MATERIALES

- Acero Inoxidable tipo AISI 301;
- Acero Inoxidable tipo AISI 304L.

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

Materiales disponibles en México : Mexinox, Thyssen-Krupp

TIPO DE ACERO	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Cr %	Ni %	Mo %	Ti %	N %
	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.					Max.
301	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	16.0 - 18.0	6.0 - 8.0	-	-	0.10
304	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0 - 20.0	8.0 - 10.5	-	-	0.10
304L	0.03	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0 - 20.0	8.0 - 12.0	-	-	0.10
316	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	-	0.10
316L	0.03	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	-	0.10
321	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0 - 19.0	9.0 - 12.0	-	5 x (C+N) Min. 0.70 Max.	0.10

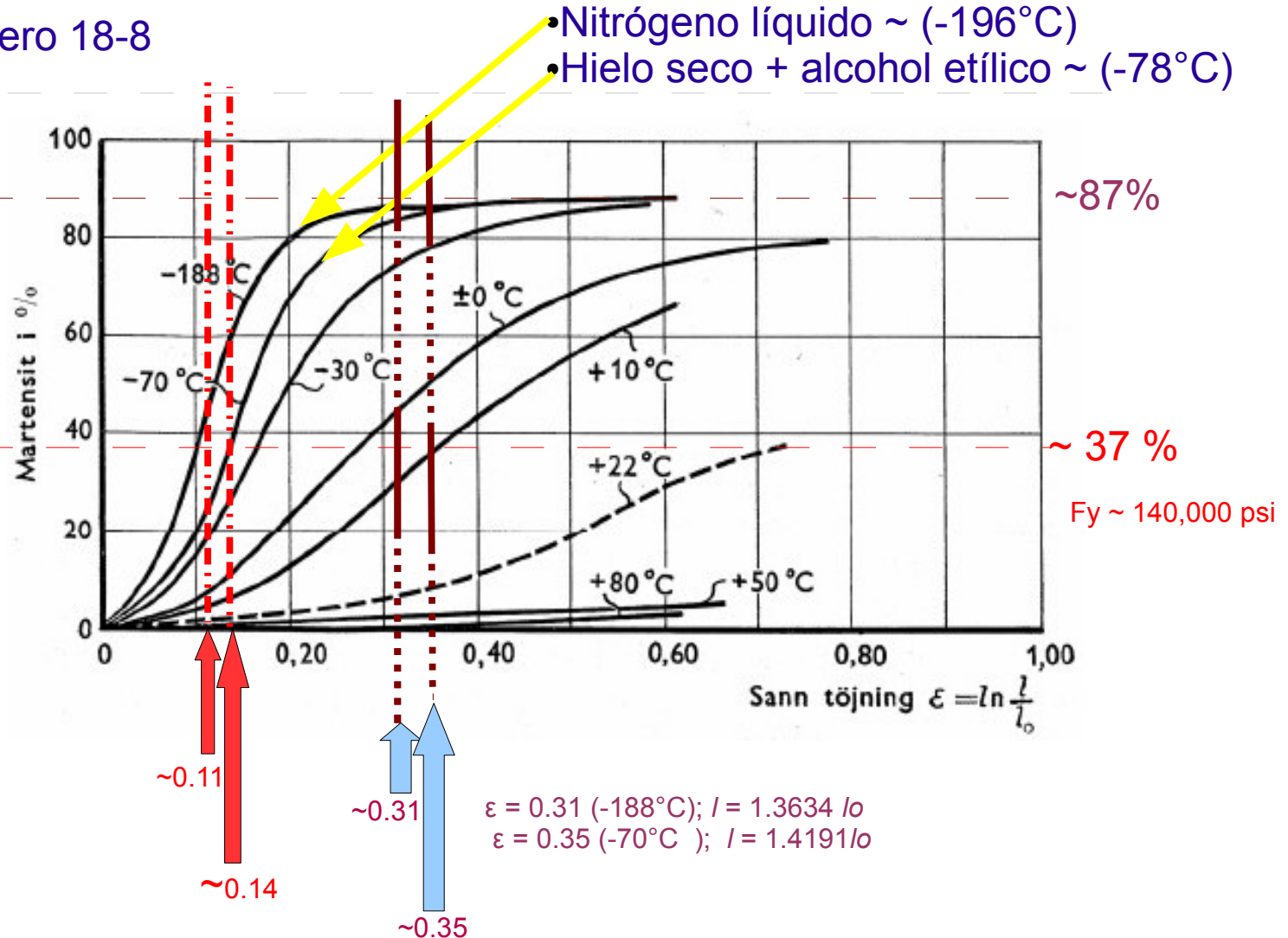
TIPO DE ACERO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		RESISTENCIA A LA FLUENCIA A LA 0.2%		ELONGACIÓN EN 50 mm o 2 pulg.	DUREZA	
	Min. Ksi	Min. MPa	Min. Ksi	Min. MPa		Max. Brinell	Max. Rockwell B
301	75	515	30	205	40	217	95
304	75	515	30	205	40	201	92
304L	70	485	25	170	40	201	92
316	75	515	30	205	40	217	95
316L	70	485	25	170	40	217	95
321	75	515	30	205	40	217	95

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

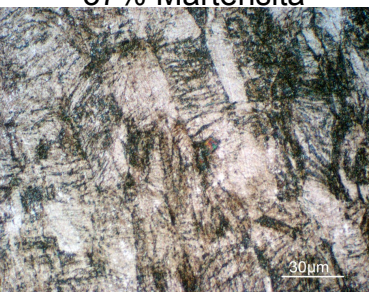
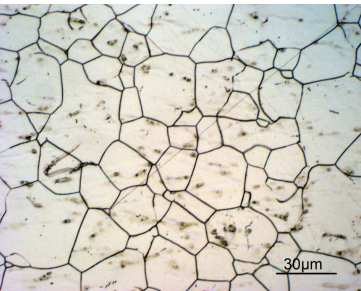
Crioformado NL



Acero 18-8



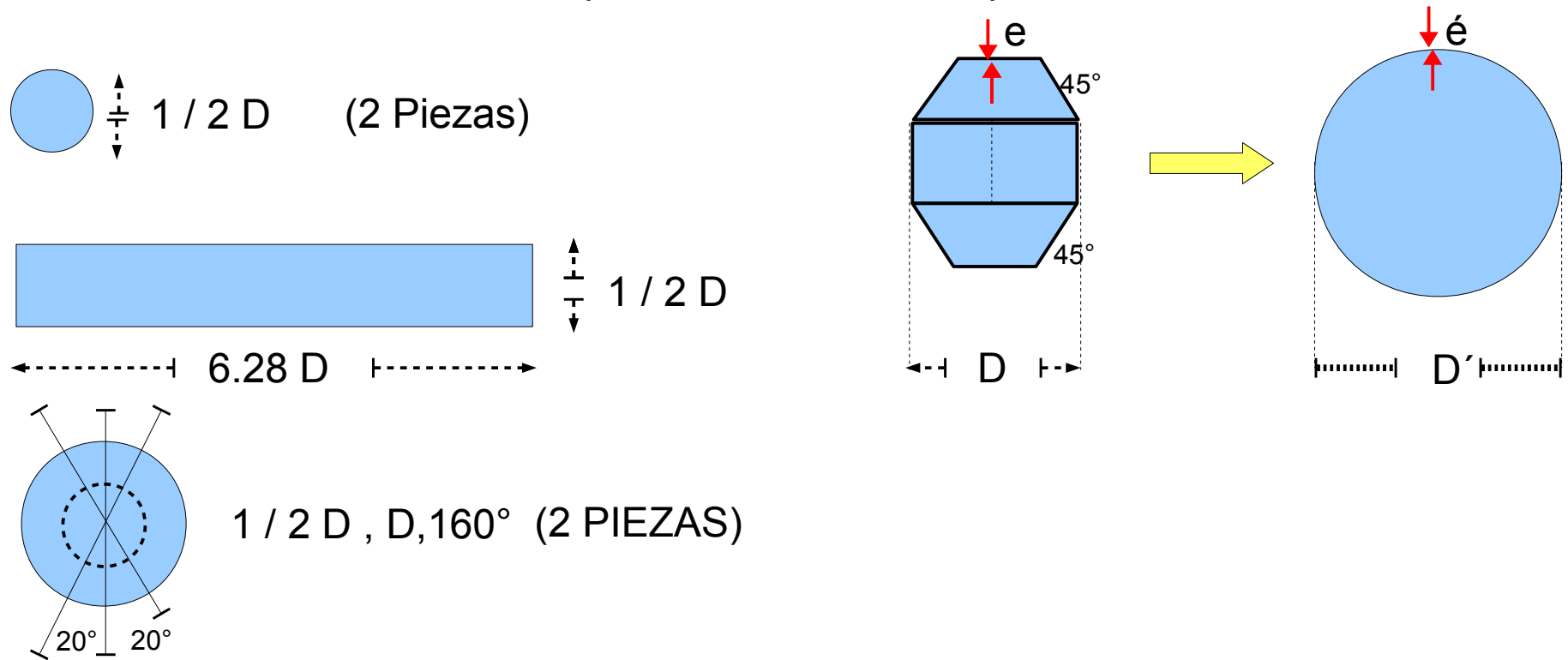
Normalizado



Angel, T. (1954). Formation of martensite in austenitic stainless steels: Effects of deformation, temperature, and composition. Journal of the Iron and Steel Institute, May, 165-174.

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

Desarrollo de Pailería para la fabricación de preformas de esferas



$D' = 1.1162 D$ para expansión en nitrógeno líquido (-196°C)

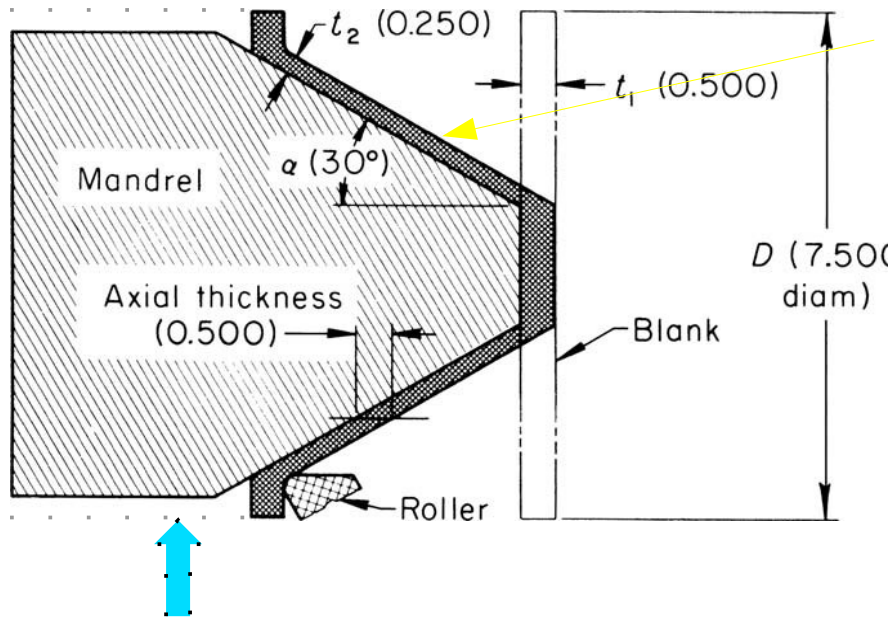
$D' = 1.1500 D$ para expansión en hielo seco y alcohol etílico (-78°C)

El espesor e se elige de acuerdo al espesor final \acute{e} deseado:

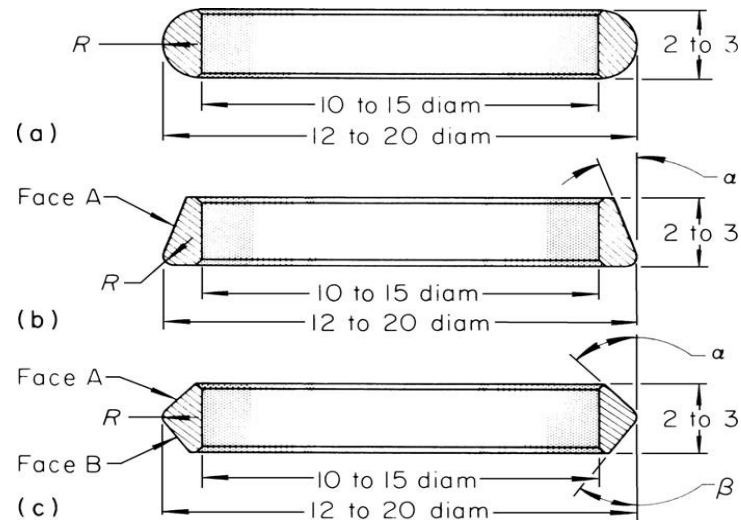
$$D / D' = \acute{e} / e$$

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

Desarrollo de Partes por fluotorneado para la fabricación de preformas de esferas / cilindros

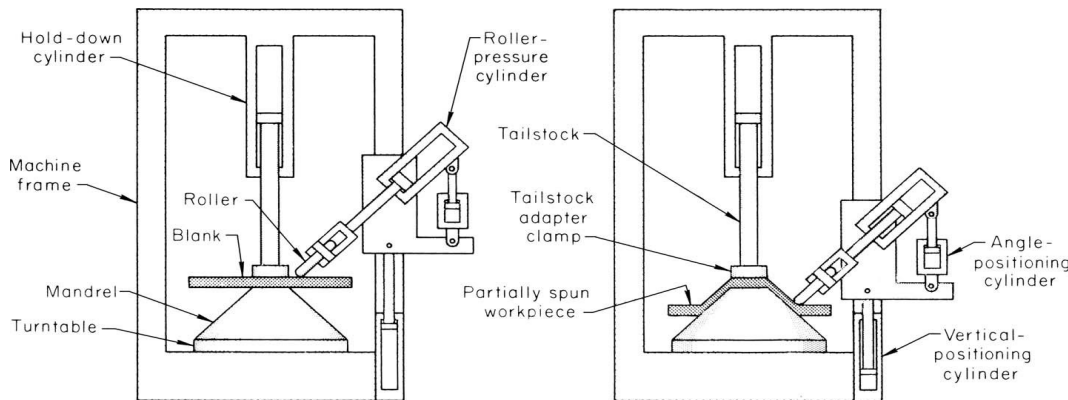


Espesor de un cono fluotorneado = Espesor del Material original (Blank) * sen (alfa)

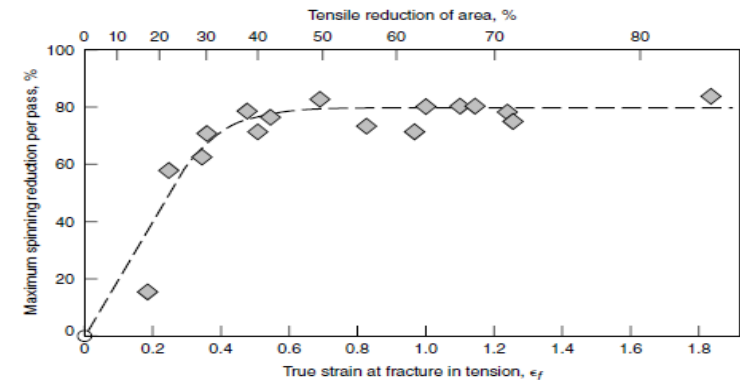


Herramientas Para fluotorneado

Posible continuación a sección cilíndrica

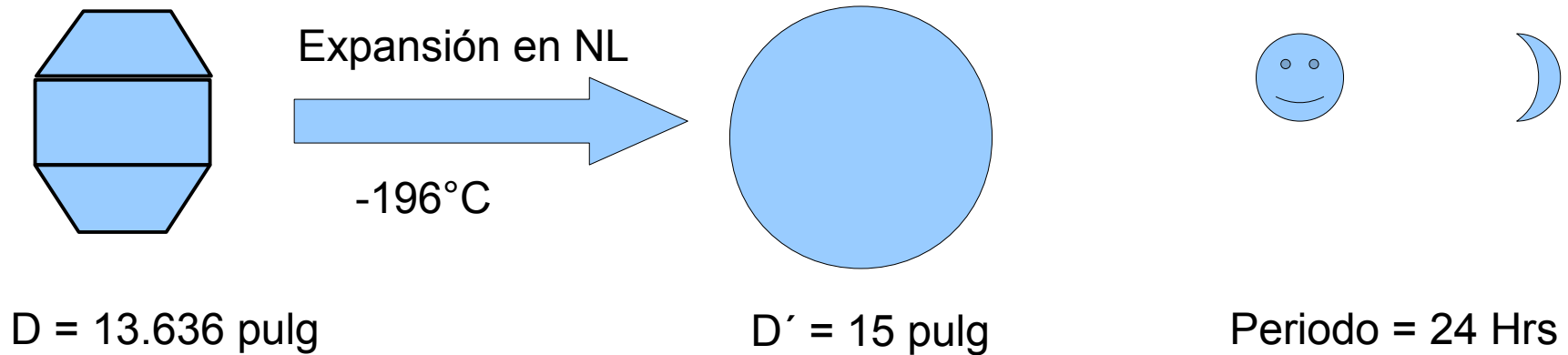


Configuración típica de una máquina de fluotorneado



Maximum spinning reduction per pass as a function of tensile fracture strain for materials of a range of tensile strengths. For materials with tensile ductilities of greater than 50%, there is no further increase in the spinnability.

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia.

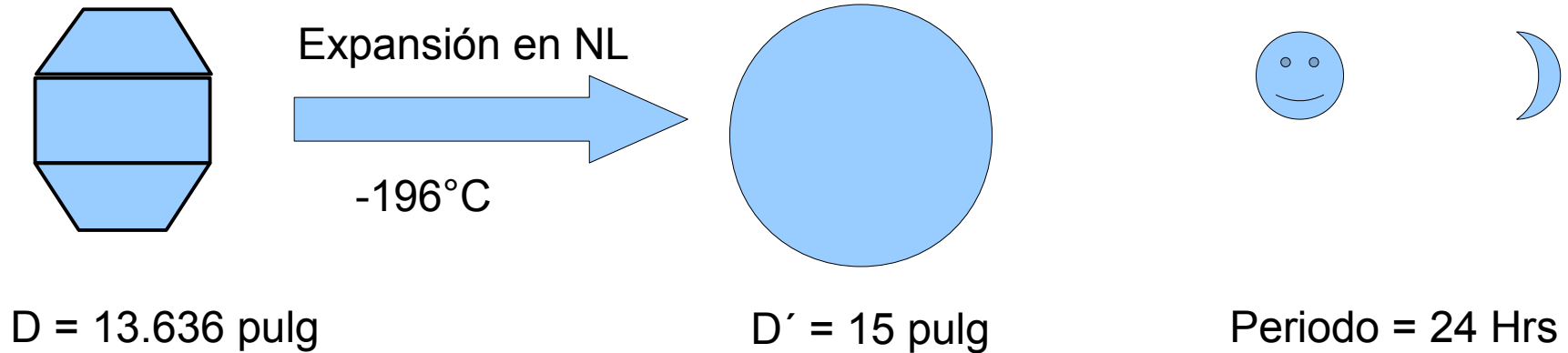


Transición de espesores e de proforma y e' después de expansión :

$$D * e = D' * e'.$$

Nota : El esfuerzo σ alcanza 140,000 psi, cuando la estructura es aproximadamente de 37 % de martensita; y se ha transitado desde un diámetro D hasta el deseado D' , habida cuenta que $D'/D = 1.1162$ ó bien $\epsilon \sim 0.11$

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia.

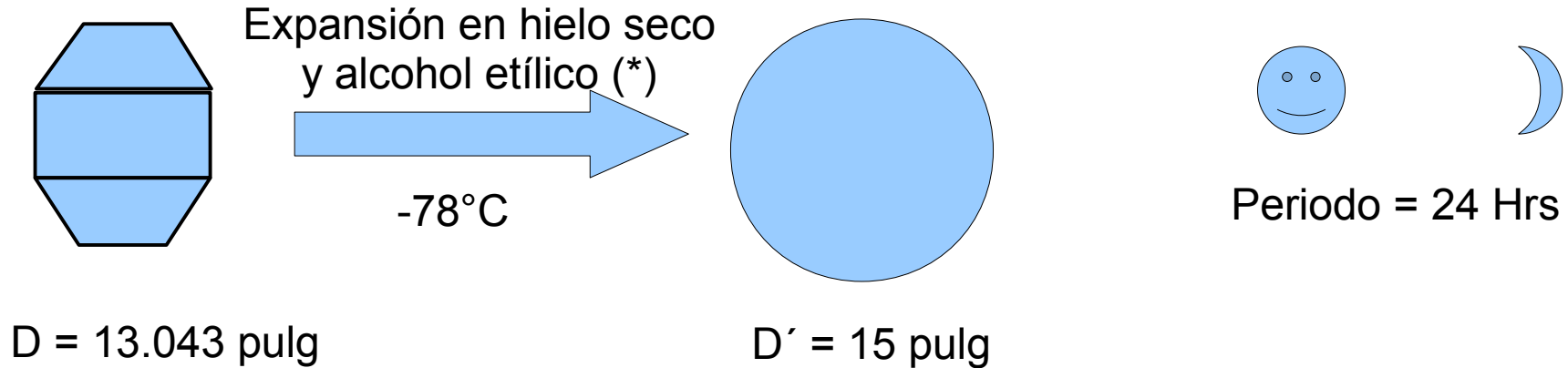


Transición de espesores e de proforma y e' después de expansión :

$$D * e = D' * e'$$

Nota : El esfuerzo σ alcanza 140,000 psi, cuando la estructura es aproximadamente de 37 % de martensita; y se ha transitado desde un diámetro D hasta el deseado D' , habida cuenta que $D'/D = 1.1162$ ó bien $\epsilon \sim 0.11$

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia.



Mannesmann -Rexroth

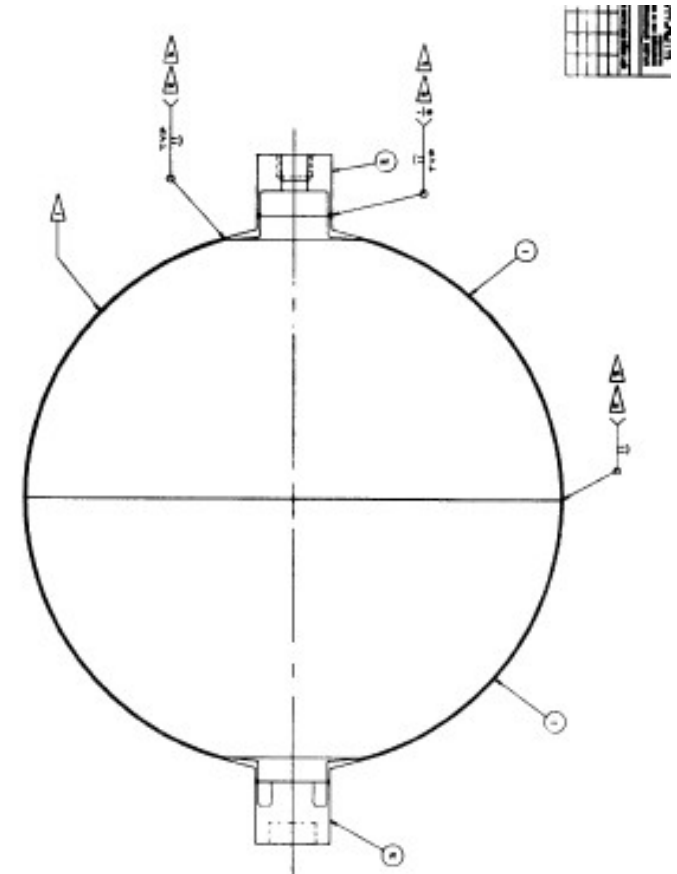
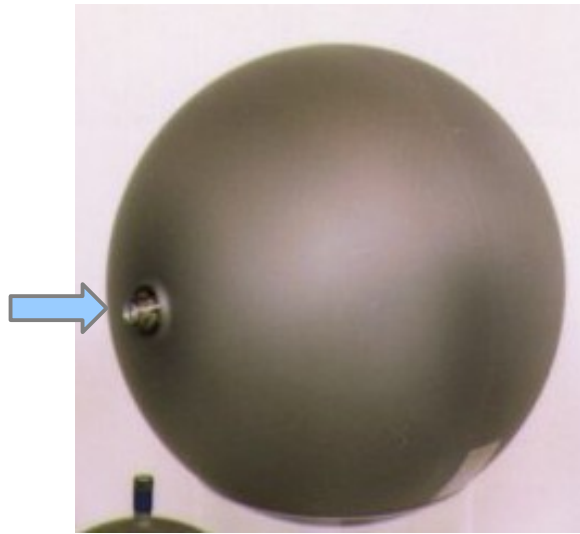


The particular advantages offered by the A2VK variable pumps are:

- High metering accuracy and repeatability of the variable flows
- Manual control via handwheel with built-in-precision measuring scale or alternatively mechanical rod control, for mounting pneumatic or hydraulic control cylinders (remote control)
- Operating pressure up to 250 bar
- Low suction pressure, even when pumping highly viscous fluids
- Very little pulsation of flow
- Compatibility of pump components with materials to be pumped (Polyol, Isocyanat) through use of specially matched materials and special seals
- Quiet operation
- Optimum volumetric efficiency

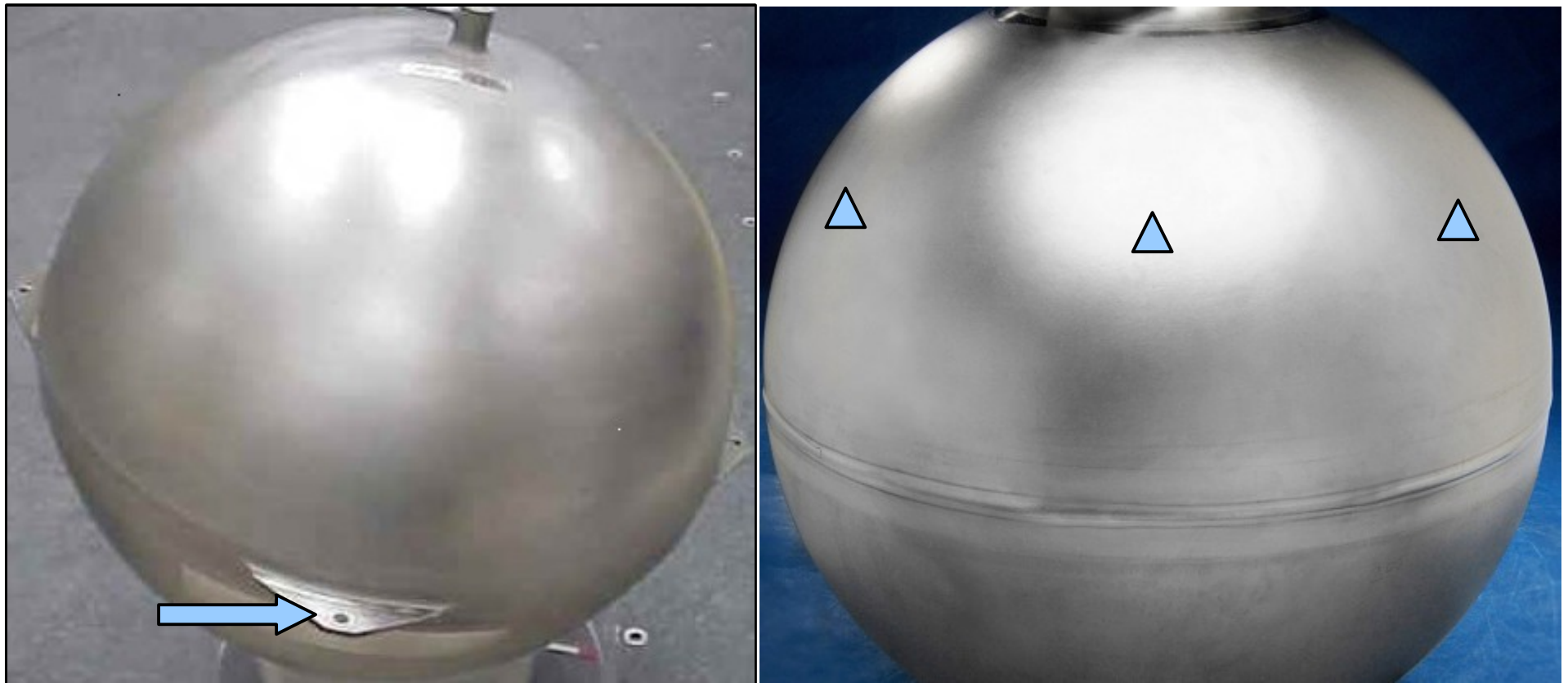
* Se inyecta alcohol etílico a temperatura ambiente a razón de :
(volumen calculado a expansión final – volumen en preforma) / 24 horas.
La ventaja operativa sobre el proceso de nitrógeno líquido es significativa

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia



Boquillas : Mínimas dimensiones posibles

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

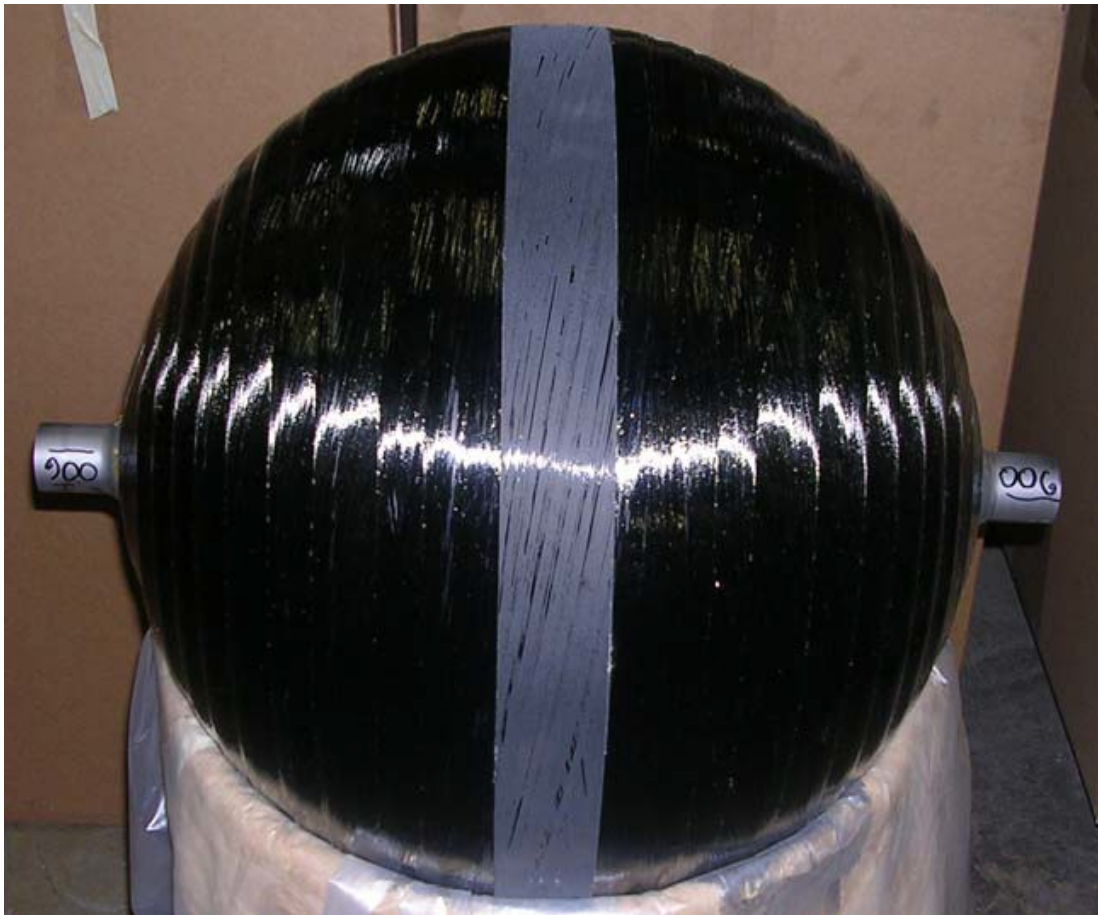


Anclajes : Mínimas dimensiones posibles; y alejados de cordones de soldadura

Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

Los Recipientes crioformados pueden ser utilizados como lanas para refuerzo por fibra de carbono, kevlar y fibra de vidrio. Los tanques así construidos llegan a alcanzar presiones a ruptura del orden de los 6000 psi.

Jul1972-Oct1975 R.E. Landes NASA -CR-134975 Section I to 5.



Materiales y procesos no convencionales para la fabricación de tanquería esférica y cilíndrica de alta resistencia

Metodología de A nálisis de Riesgo

En INMEE utilizamos una metodología para la evaluación rápida, a grosso modo ,de los riesgos operacionales a los que somos expuestos : RRR (Rápido Risk Ranking) .Ésta metodología es útil para una evaluación temprana de riesgos .

Una RRR se lleva a cabo como una sesión de grupo. El grupo consiste de personas con conocimiento experto de y experiencia con el elemento / proceso bajo análisis,representando a las diferentes especialidades tales como proceso ,electrónica e instrumentos ,maquinaria,etc.

El liderazgo del análisis debe ser llevado por una persona con experiencia en análisis de riesgo y un secretario elabora el reporte.

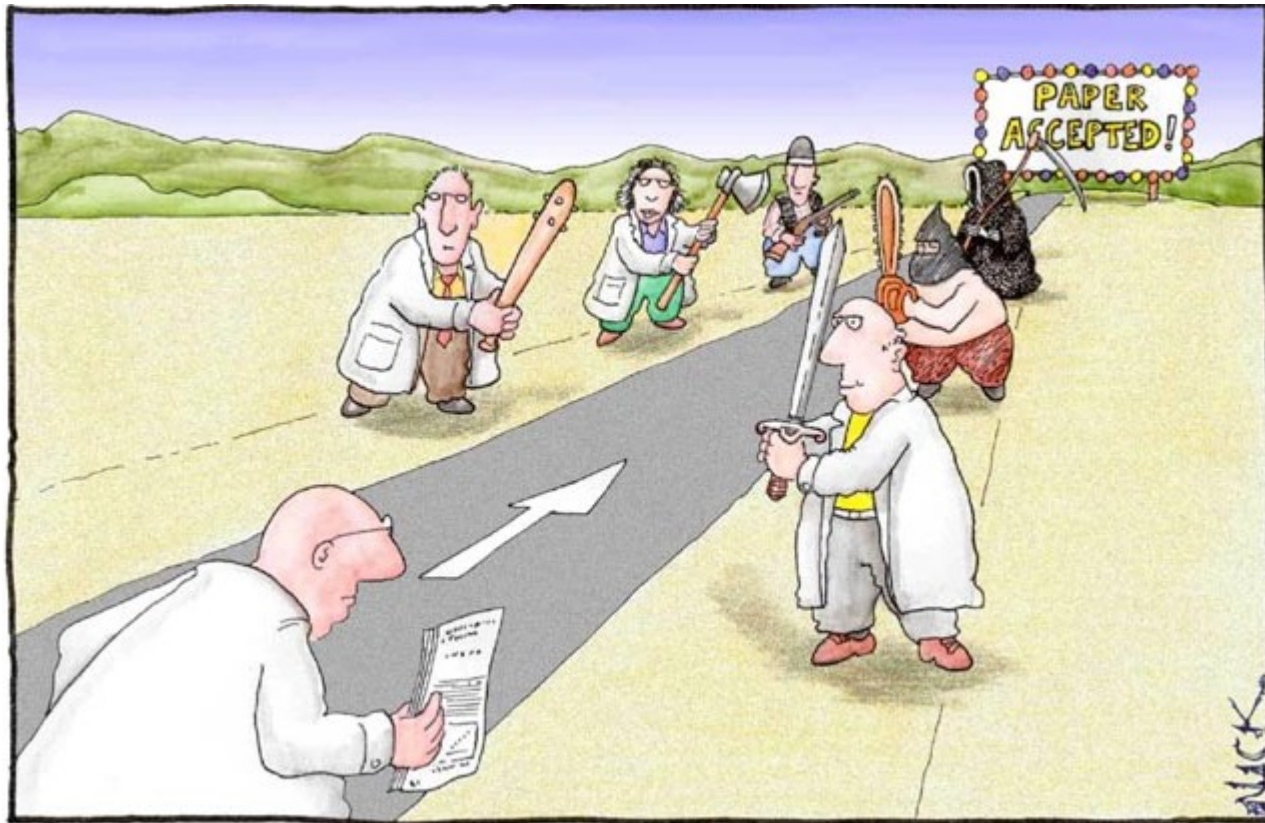
Durante las sesiones de grupo se identifican los riesgos ;y son evaluados de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia y sus consecuencias. La probabilidad y consecuencias son categorizadas con base en clases “semi cuantitativas” de probabilidad y consecuencias.Las probabilidades varía desde” nunca se ha sabido de..” hasta “ocurre varias veces al año...”,mientras que para las consecuencias varían desde “varios fallecimientos.....”

hasta “heridas leves o molestias..” .

El riesgo resultante de las situaciones identificadas ,el cual es una combinación de probabilidad y consecuencias se compara entonces con una matriz de riesgos,donde el riesgo es clasificado como inaceptable,alto, medio ó aceptable (por bajo); dependiendo de la combinación probabilidad / consecuencias.Si el riesgo es alto,se requiere realizar un nuevo y detallado análisis,donde se plantean acciones correctoras o mitigantes,por ejemplo un análisis de costo beneficio.

	Consequences				
	Insignificant <i>(Minor problem easily handled by normal day to day processes)</i>	Minor <i>(Some disruption possible, e.g. damage equal to \$500k)</i>	Moderate <i>(Significant time/resources required, e.g. damage equal to \$1million)</i>	Major <i>(Operations severely damaged, e.g. damage equal to \$10 million)</i>	Catastrophic <i>(Business survival is at risk damage equal to \$25 Million)</i>
Almost certain <i>(e.g. >90% chance)</i>	High	High	Extreme	Extreme	Extreme
Likely <i>(e.g. between 50% and 90% chance)</i>	Moderate	High	High	Extreme	Extreme
Moderate <i>(e.g. between 10% and 50% chance)</i>	Low	Moderate	High	Extreme	Extreme
Unlikely <i>(e.g. between 3% and 10% chance)</i>	Low	Low	Moderate	High	Extreme
Rare <i>(e.g. <3% chance)</i>	Low	Low	Moderate	High	High

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN !



Science Cartoons