

GLENCORE

GLENCORE- FUNDICION ALTONORTE

**“BOCA APERNADA
DE REACTOR DE FUSION”**

N° CAD-GLE-MC-01

MEMORIA DE CÁLCULO

REV.		Preparo	Reviso	Aprobó	DESCRIPCIÓN
A	Nombre	L. Araya	H. Lobera	B. Viza	Para comentario del cliente
	Fecha	10.11.14	10.11.14	10.11.14	



CAD CAE Ingeniería Ltda.

Rut: 76.028.440-8

J. L. González 02867 dpto 201

Jardines del Sur - Antofagasta

Fono 791525 Fax 225726

Preparado por: **Hernán Lobera López**

Ingeniero Civil Mecánico

U.T.F.S.M – Valparaíso



INDICE

1. INTRODUCCION.....	4.
2. OBJETIVO.....	4.
3. ANTECEDENTES.....	4.
4. CALCULOS MEDIANTE EL M.E.F.....	7.
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27.

ANEXOS:

- **ANEXO 1** PLANOS DEL REACTOR
- **ANEXO 2** MEMORIA DE CALCULO DE PERNOS

Tabla 1 : Propiedades mecánicas de los componentes del Reactor

Componente	Tipo de Acero	Densidad [kg_/m3]	Módulo de Elasticidad [Gpa]	Coefficiente dilatación [1/°C]	Módulo Poisson	Esfuerzo Fluencia [Mpa]	Esfuerzo Ruptura [Mpa]
Casco	Acero Tipo 15 Mo3 DIN 17155	7850	205	1,3 x 10 -5	0,28	295	570
Pistas de Rodadura	Acero 42 CD 4 Norma AFNOR	7200	165	1,2 x 10 -5	0,3	427	427
Boca apernada	ASTM A-36	7850	205	1,3 x 10 -5	0,28	250	412
Polines	Acero 42 CD 4 Norma AFNOR	7200	165	1,19 x 10 -5	0,3	427	427
Eje polines	Acero XC48 según Norma AFNOR	7850	205	1,3 x 10 -5	0,28	855	965
Bujes polines	Bronce UC12P Norms AFNOR	8800	82	1,19 x 10 -5	0,33	310	565
Manguito	Acero fundido 25 CD 4	7200	165	1,19 x 10 -5	0,3	427	427
Piñon	Acero forjado dureza 290 HBN	7700	186	1,2 x 10 -5	0,3	205	343
Corona	Acero fundido dureza 200 HBN	7200	165	1,19 x 10 -5	0,3	427	427

3.3. Dimensiones del reactor:

Diámetro interno	:	5.300 mm
Largo total	:	26.400 mm
Luz libre	:	21.500 mm
Espesor	:	100 mm


Figura 1: Reactor de Fundición Altonorte, Xstrata Copper.

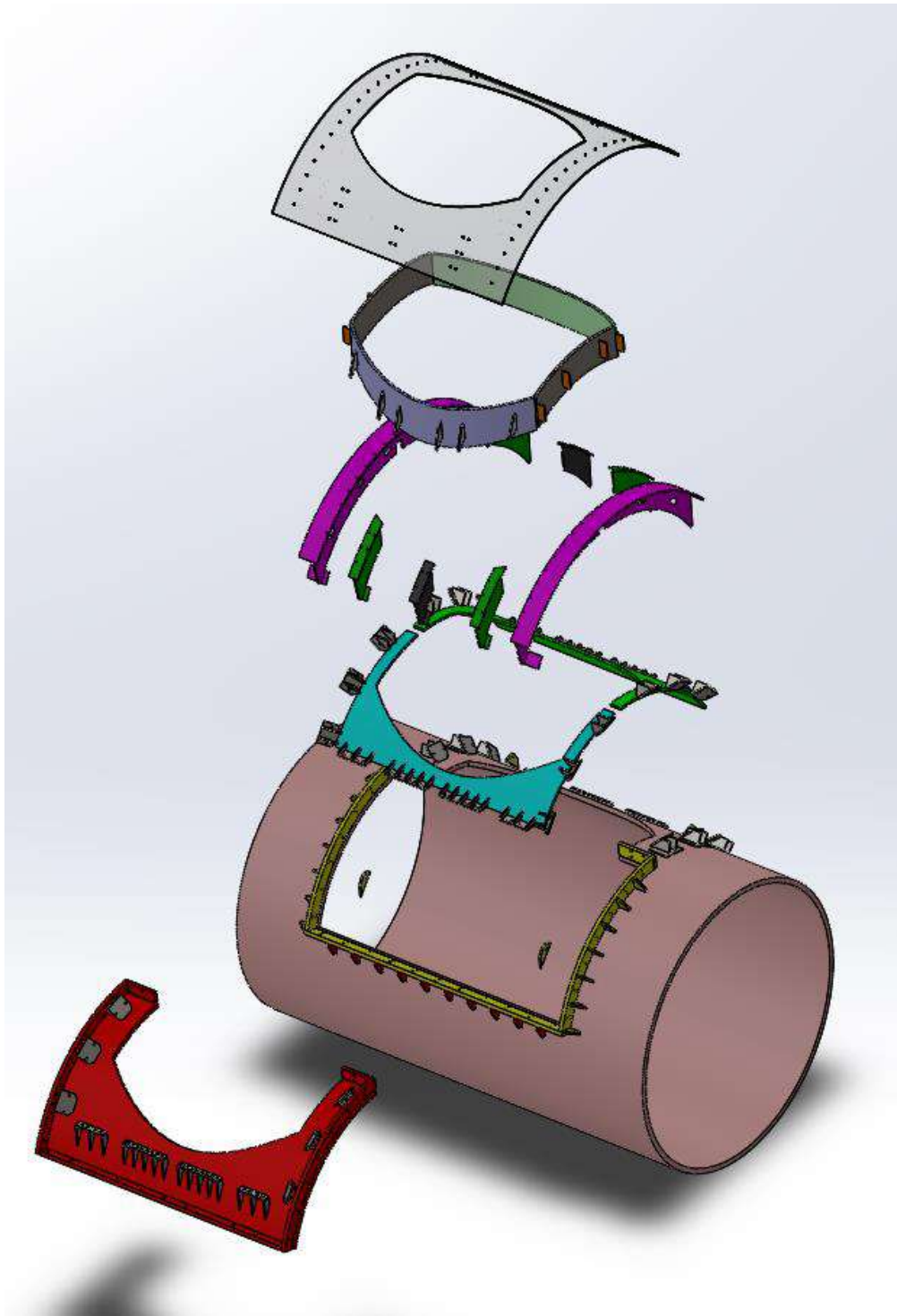


Figura 2: Esquema del modelo 3D del Reactor y la boca apernada

4. CALCULO MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS

4.1. Software utilizado para la modelación “SOLIDWORKS” y “ANSYS”

Solidworks: Es una aplicación de automatización de diseño mecánico que utiliza la interfaz de usuario grafica de Microsoft Windows, entregando como resultados planos mecánicos y simulaciones de movimientos en 3D. Esta aplicación hace posible que los diseñadores dibujen con rapidez sus ideas experimenten con las operaciones y cotas, produzcan modelos y dibujos detallados. Una de las variadas herramientas que entregan son: centro de gravedad, momentos de inercia y pesos de los componentes. Su principal función en este estudio es de realizar el modelo en 3d.

Análisis de Elementos Finitos (FEA): El método de los Elementos Finitos permite resolver por métodos matemáticos tradicionales gradientes de esfuerzos, desplazamientos, temperatura, flujo de fluidos, problemas visco elásticos y campo electromagnéticos. El concepto de FEA es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos.

Las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento del continuo regirán también para el elemento finito.

Las condiciones de contorno del continuo son las variables iniciales que se requiere para resolver las ecuaciones tales como campos de fuerzas, presiones, torques, aceleración de gravedad y temperatura

El programa utilizado para la modelación FEA fue ANSYS, que es uno de los programas FEA. Dispone de capacidades de : a) poseer un entorno más refinado b) permiten trabajar con programas CAD estándar para modelar la geometría, c) La versión Cosmos, está preparada para su utilización con el programa CAD SolidWorks de modelado tridimensional. d) Permite crear modelos que tienen un elevado N° de elementos finitos, el cual evita la simplificación de modelos.

4.2. Tipo de Elemento Finito utilizado para la modelación

El tipo de elemento utilizado para la modelación fue el tipo sólido brick .Los elementos sólidos flexibles 3-D se utilizan para simular el comportamiento de sólidos. La ventaja de utilizar este tipo de elemento es la representación más exacta a la realidad ya que considera todas las piezas del modelo. Los tipos de elementos finitos utilizados se muestran en la figura 6.

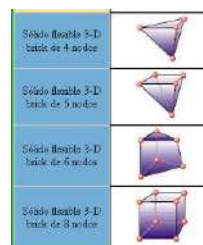


Figura 3: Tipo de Elemento Finito utilizado para la modelación, solido 3d.



4.3. Esfuerzo de Von Mises

Existen cuatro Teorías sobre la falla o ruptura. a) Von Mises b) Tresca c) Mohr y d) Máximo Normal.

Los resultados experimentales indican que, de todas estas teorías sobre la ruptura, en los materiales dúctiles la que da resultados más adaptados a la realidad es la teoría de distorsión máxima de Von Mises. Este criterio puede considerarse un refinamiento del criterio de Tresca. El criterio de la máxima energía de distorsión fue formulado primeramente por Maxwell en 1865 y más tarde también mencionado por Huber (1904). Sin embargo, fue con el trabajo de Richard Edler von Mises (1913) que el criterio alcanzó notoriedad, a veces se conoce a esta teoría de fallo elástico basada en la tensión de Von Mises como teoría de Maxwell-Huber-Hencky-von Mises. La expresión propuesta por Von Mises y H. Hencky, de acuerdo con este criterio una pieza resistente o elemento estructural falla cuando en alguno de sus puntos la energía de distorsión por unidad de volumen rebasa un cierto umbral:

$$e_{dist} \geq \frac{\sigma_Y}{2E}$$

En términos de tensiones este criterio puede escribirse sencillamente en términos de la llamada tensión de von Mises como:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

Dónde: $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, son las tensiones principales de en el punto considerado. En consecuencia se prevé que ocurrirá la fluencia cuando $\sigma_{VM} \geq \sigma_{fluencia}$ acero (criterio de diseño)

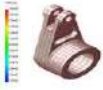


Tabla 1: Esfuerzo admisible de diseño. Para un acero A36 a 200°C (392 °F) el esfuerzo admisible de diseño es de 9,06 [kpsi] (62 MPa) (738 kg/cm²). Según la Specification For Design and Use Of Ladles de 1991.

Table I-3 — Allowable Normal Design Stress, σ_a^\dagger for Ladle Components, ksi

de e
(kg/cm²)

Materials (ASTM Designations)	Maximum Design Temperature, °F							
	70	600	650	700	750	800	850	900
Group I								
A 285, Gr C	10.96	8.10	7.99	7.89	7.60	7.30	7.13	6.95
A 284, Gr C	10.96	8.10	7.99	7.89	7.60	7.30	7.13	6.95
Gr D	12.06	8.91	8.79	8.68	8.36	8.03	7.84	7.65
A 515, Gr 55	10.96	8.10	7.99	7.89	7.60	7.30	7.13	6.95
Gr 60	11.70	8.64	8.53	8.42	8.11	7.79	7.60	7.42
Gr 65	12.79	9.45	9.33	9.21	8.87	8.52	8.31	8.11
Gr 70	13.89	10.26	10.13	10.00	9.63	9.25	9.03	8.81
A 516, Gr 55	10.96	8.10	7.99	7.89	7.60	7.30	7.13	6.95
Gr 60	11.70	8.64	8.53	8.42	8.11	7.79	7.60	7.42
Gr 65	12.79	9.45	9.33	9.21	8.87	8.52	8.31	8.11
Gr 70	13.89	10.26	10.13	10.00	9.63	9.25	9.03	8.81
Group II *								
A 242, < 3/4	15.35	12.48	12.13	11.76	11.36	10.95	10.50	10.04
3/4 to < 1 1/2	14.69	11.95	11.61	11.25	10.87	10.48	10.05	9.61
1 1/2 to < 4	13.82	11.23	10.91	10.58	10.22	9.85	9.45	9.04
A 441, < 3/4	15.35	12.48	12.13	11.76	11.36	10.95	10.50	10.04
3/4 to < 1 1/2	14.69	11.95	11.61	11.25	10.87	10.48	10.05	9.61
1 1/2 to < 4	13.82	11.23	10.91	10.58	10.22	9.85	9.45	9.04
4 to < 8	13.16	10.70	10.39	10.08	9.74	9.38	9.00	8.61
Group III								
A 204, Gr A	13.52 (912)	11.27 (793)	10.91 (768)	10.58 (742)	10.35 (729)	10.12	9.78	9.43
Gr B	14.62	12.18	11.80	11.43	11.18	10.94	10.57	10.19
Gr C	15.72 (1107)	13.09 (924)	12.68 (893)	12.29	12.02 (846)	11.76	11.36	10.95
A 387, Gr 2, C1	12.06	10.05	9.73	9.43	9.22	9.02	8.72	8.41
Gr 5, C1	10.96	9.13	8.85	8.57	8.39	8.20	7.93	7.64
Gr 11, C1	12.79	10.66	10.32	10.00	9.79	9.57	9.25	8.92
Gr 12, C1	12.06	10.05	9.73	9.43	9.22	9.02	8.72	8.41
Gr 21, C1	10.96	9.13	8.85	8.57	8.39	8.20	7.93	7.64
Gr 22, C1	10.96	9.13	8.85	8.57	8.39	8.20	7.93	7.64
Group IV								
A 387, Gr 11, C2	16.45	12.06	11.71	11.35	11.09	10.82	10.18	9.54
Gr 12, C2	14.25	10.45	10.15	9.84	9.61	9.38	8.82	8.27
A 36	12.72	9.32	9.06	8.78	8.57	8.37	7.87	7.38



4.4.2. Deformaciones Admisibles

En el diseño de elementos resistentes, debido a las cargas solicitantes, se usarán los siguientes límites de deformación en función de la luz del elemento:

Para los ejes, la flecha máxima no deberá pasar de:

Verificación de deformaciones admisible en el Reactor

La distancia máxima de deformación a considerar en el reactor es de 21500 mm (Distancia entre polines axial), ver tabla 2.

$$F = L/300 = 2150/300 = 72 \text{ mm}$$

Tabla 2: Referencia para deformación admisible

Allowable Deflections

Unless special requirements for deflections have been specified by equipment manufacturers, structural element deflections shall be limited as follows:

Beams in general	: 1/300 of span
Trusses	: 1/700 of span
Crane girders, vertical, due to lifted load	: 1/1000 of span
Crane girders, horizontal	: 1/500 of span
Building columns, horizontal elastic, moment-resistant frames	: 1/250 of height
Building columns, horizontal elastic, braced frames	: 1/500 of height
Purlins, roof sheets, wind columns, siding and girts	: 1/200 of span
Belt conveyor supports, vertical, due to dead and live load, excluding conveyed weight	: 1/500 of span
Pulleys, speed reducers, and belt conveyor motor supports, vertical	: 1/800 of span
Belt conveyor supports, horizontal	: 1/300 of span

4.7. Refractario:

Considerando el diseño inicial del reactor (Memoria de Cálculos: Análisis Reactor de Fusión de SNC- Lavalin Chile S.A. N° 884-0300-43MC-3007 Rev. A).

- Peso total interior ladrillo en el reactor = 619.922 kg
- Sobre el manto:
 - e = 21" ~ 43 hiladas (HW 21/74) (Cant. = 28%)
 - e = 15" ~ 110 hiladas (NUCON 60) (Cant. = 72%)

$$e_{prom} = \frac{21 * 43 + 15 * 110}{43 + 110} = 16.7" = 424 \text{ mm}$$

Luego:

$$p = 3.1 \frac{t}{m^3} * 0.432 \text{ m} = 1.31 \text{ t/m}^2$$

Con D = 5300 mm, el peso total de los ladrillos es:

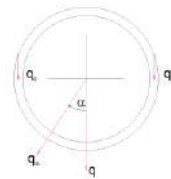
$$W = 1.31 * \pi * 5.3 = 21.8 \frac{t}{m}$$

$$\alpha = 0^\circ \rightarrow q = q_{max}$$

$$\alpha = 90^\circ \rightarrow q = 0$$

Luego, suponiendo una distribución cosenoidal, se tiene:

$$q_0 = \frac{21.8}{4} = 5.45 \text{ t/m}$$



$$\text{Si } q_\alpha = A \cos \alpha \quad r = 5.3/2 = 2.65 \text{ m}$$

$$\int_0^{\pi/2} q_\alpha * \cos \alpha * r \, d\alpha = 2q_0 \quad \rightarrow \quad \frac{\pi}{4} = \frac{2 * 5.45}{2.65 * A} \quad \rightarrow \quad A = 5.24 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Luego: } q_\alpha = 5.24 \cos \alpha \text{ t/m}^2 \quad - 90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$



$$\gamma_{escoria} = 3.8 \text{ t/m}^3 \quad e = 0.97 \text{ m}$$

$$\gamma_{metal\ blanco} = 5.0 \text{ t/m}^3$$

Luego:

$$q_{\alpha} = 11.14 \cos \alpha \text{ t/m}^2 \quad -68^{\circ} \leq \alpha \leq 68^{\circ}$$

$$q_{\alpha} = 9.35 \cos \alpha \text{ t/m}^2 \quad -90^{\circ} \leq \alpha < -68^{\circ}, 68^{\circ} < \alpha \leq 90^{\circ}$$

4.9 Temperatura (T)

Según mediciones en la carcaza:

$$T_{max} = 360 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Bajo Toberas y entre toberas y boca de gases.}$$

$$T_{min} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Sobre boca de gases.}$$

$$\text{Pistas:} \quad T^{\circ} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{Punto libre})$$

$$T^{\circ} = 136 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{En contacto con la carcaza})$$

4.10 Sismo (S)

Según UBC Cap. 16 Div. IV, zona sísmica 4, I=1,

Perfil del suelo: $S_D, N_a = N_v = 1$ y Sección 1634 se obtiene:

$$V = 0.7 * C_a * I * \frac{W}{1.4} = \left(0.7 * 0.44 * \frac{1.25}{1.4}\right) W = 0.28 W$$

(1.4 = Factor de diseño)

Luego, al estado de carga "Peso del material" se le aplicará el factor 0.28 que actuará como presión horizontal del líquido.

El peso propio y de los refractarios se aplicará horizontalmente multiplicado por 0.28.

$$K = \text{factor de pérdida} = \frac{1 + \frac{17 M_1}{M}}{(1 + \frac{5 M_1}{5 M})^2} = 0.04$$

$M_1 = \text{masa del horno} \sim 180 \text{ t seg}^2/\text{m}$

$M = \text{masa de la olla} = 6.12 \text{ t seg}^2/\text{m}$

Luego: $E.C. = \frac{1}{2} 6.12 * 1.0^2 * 0.04 = 0.12 \text{ t - m} = 12 \text{ t - cm}$

Entonces: $12 = 25(d_1 + d_2) * (F_{equiv})^2 / 100^2$

Si: $d_1 = 0.8 \text{ cm}$ y $d_2 = 0.65 \rightarrow F_{equiv} = 57.5$

4.12 Torque para el giro del equipo

Considerando que el peso de la boca apernada (10.480 kg) es menor que la existente (14.420 kg) no hay un aumento de torque por el nuevo diseño de la boca apernada, por lo que no se considera el efecto del torque en el equipo.

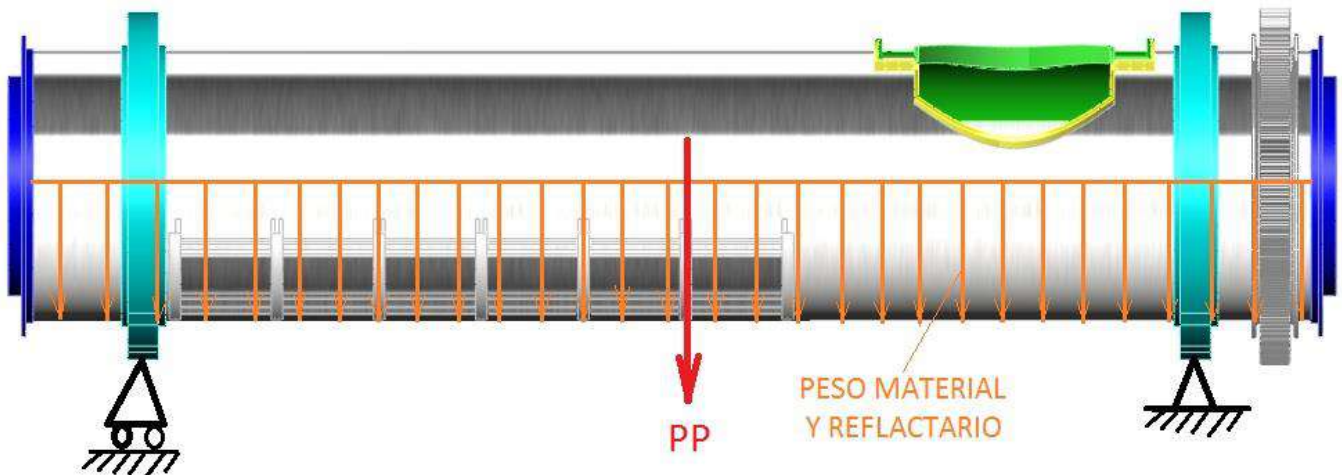


Figura 5: El diagrama de carga indica las cargas muertas (peso propio), cargas de operación (reflectario y material fundido) y además se considera sismo. Las restricciones de temperatura, presión interna y apoyos del reactor se muestran en el esquema.

4.12. Combinaciones de Carga

	COMBINACIONES	P	PM	T	SL	ST	I	CASO N°
1	PP+PM	1	1					C1
2	PP+PM+T	1	1	1				C2
3	PP+I	1					1	C3
4	PP+PM+I	1	1				1	C4
5	PP+PM+T+I	1	1	1			1	C5
6	PP+PM+SL	1	1		1			C6
7	PP+PM+ST	1	1			1		C7
8	PP+PM+T+SL	1	1		1			C8
9	PP+PM+T+ST	1	1	1		1		C9

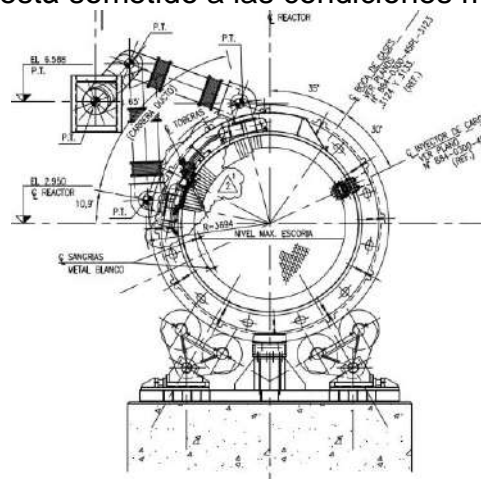
De la modelación 3D y simulación FEA con SolidWorks, se estudiara la combinación de carga más crítica que corresponde a la combinación 9 y en la posición de soplado.

No se estudiaron los casos con impacto; ya que, no son estados que controlen el diseño global, produciendo solo efectos locales.

De acuerdo a las siguientes tres posiciones de trabajo del reactor:

- Posición de Soplado o proceso de fundición
- Posición de Repasado o carga
- Posición de mantención (vaciado y limpieza)

Se requeriría un análisis estático en las tres posiciones; pero, solo interesan los casos críticos en que se encuentra el equipo en posición estática, este es la posición de soplado y repaso en el cual está sometido a las condiciones más severas.

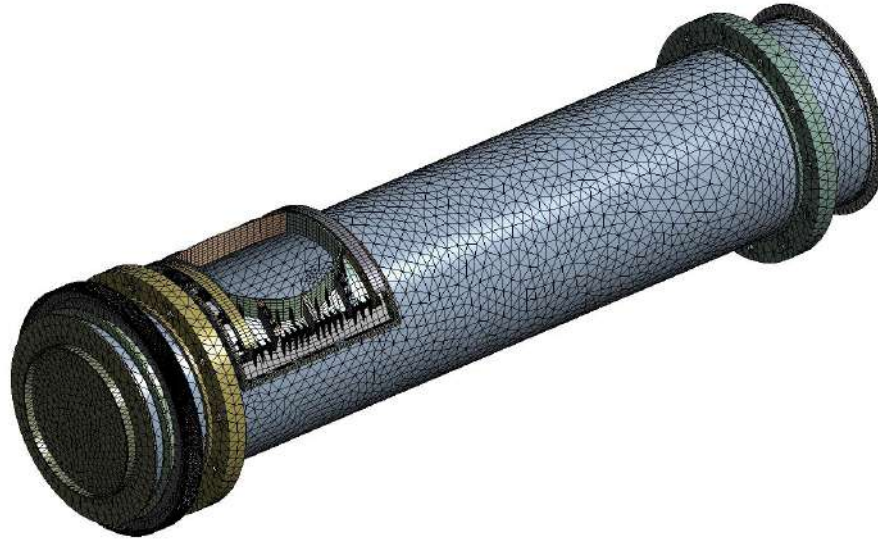


Posición de Carga

4.13. Enmallado y restricciones

Mesh
17-11-2014 11:09

ANSYS
814.5



01 Static Structural
Static Structure
Time: 1, 1
17-11-2014 11:02

- A Displacement
- B Fixed Support
- C Standard Earth Gravity: 9.816x103 mm/s²
- D Beaming Load: 3e+105 N

ANSYS
814.5

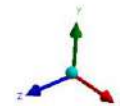


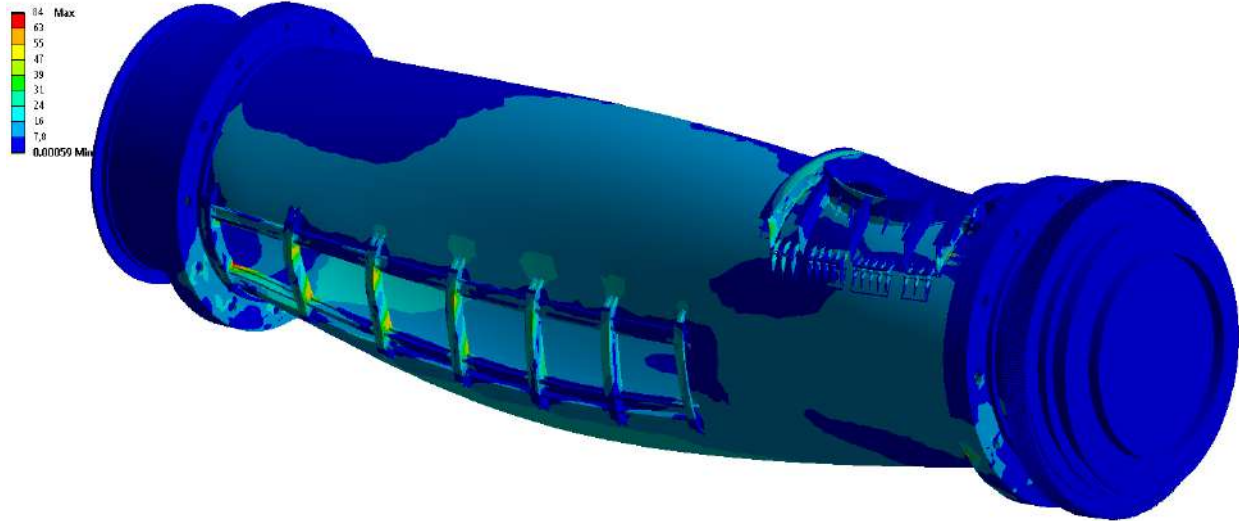
Figura 6: Restricciones y cargas aplicada al modelo; Gravedad o peso propio de los componentes y sismo; Cargas del metal y ladrillo; restricciones de unión de contacto con pernos; restricción de empotramiento y rodillos, presión interna.



4.14. Resultados de la modelación

B: Static Structural
Equivalent Stress 5
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Units: MPa
Time: 1
17-11-2014 11:19

ANSYS
14.5



B: Static Structural
Equivalent Stress 5
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Units: MPa
Time: 1
17-11-2014 11:19

ANSYS
14.5

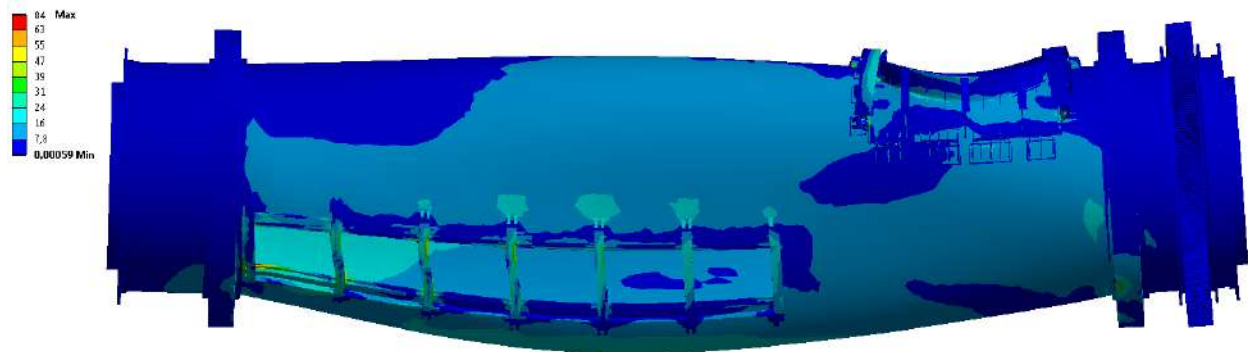


Figura 8: Esfuerzo máximo calculado en el reactor es de 84 MPa en la boca apornada es de 62 [MPa] por lo que está por debajo del esfuerzo de admisible que es de 66 [MPa].

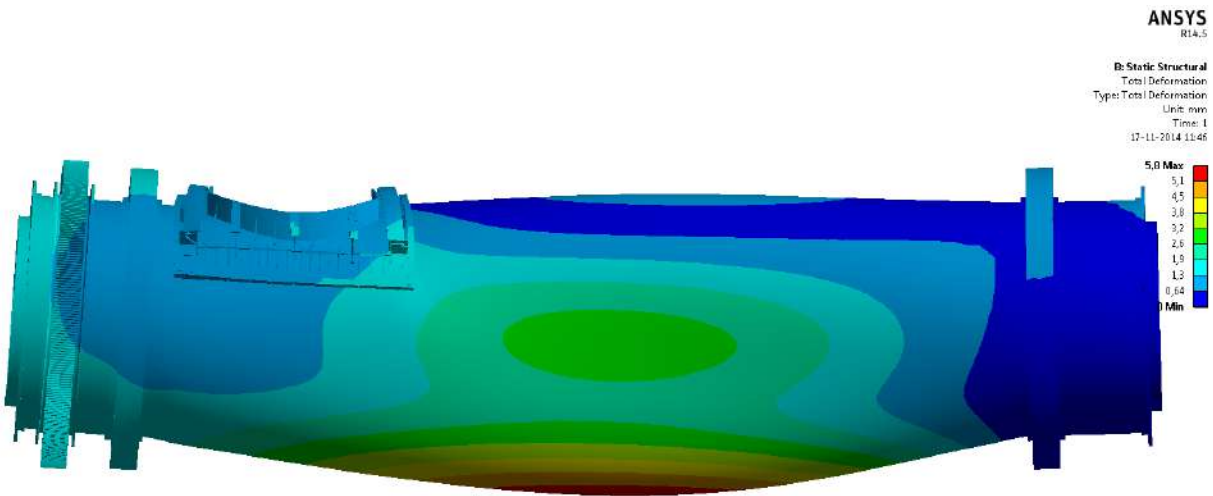
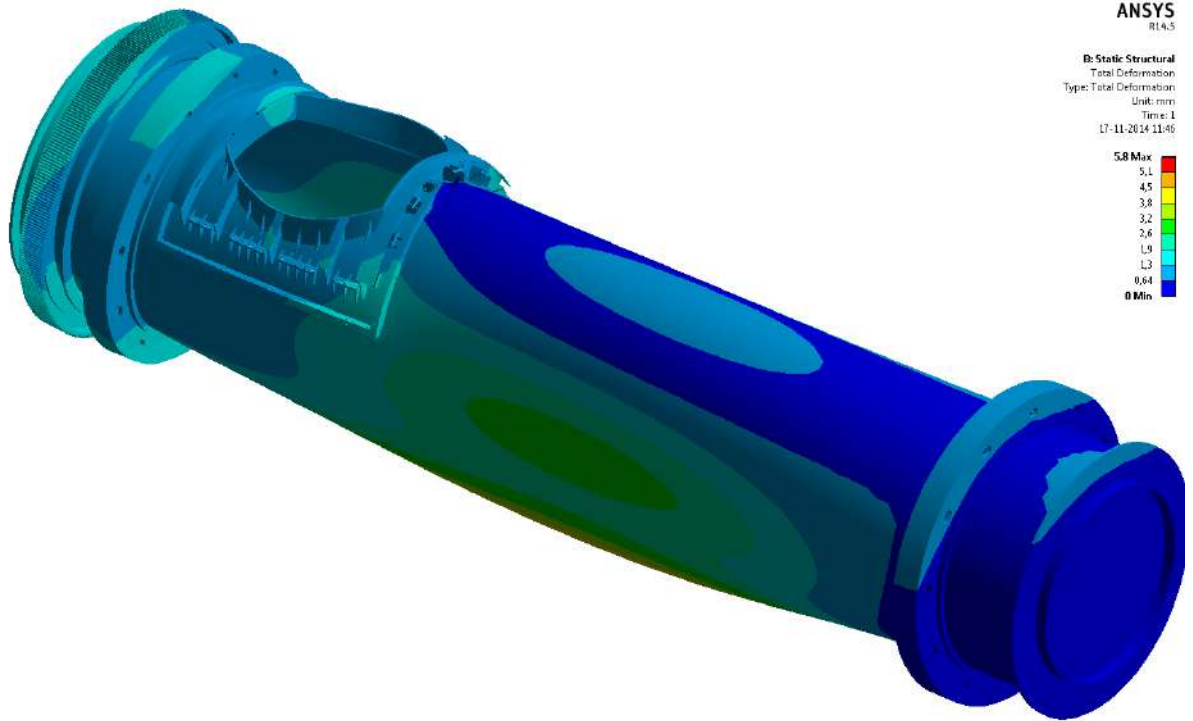
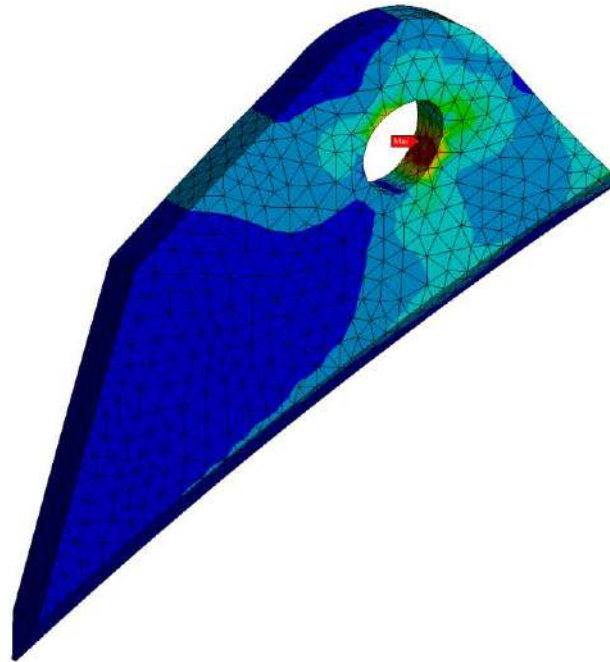


Figura 10: El desplazamiento máximo de la boca apornada es de 6 mm



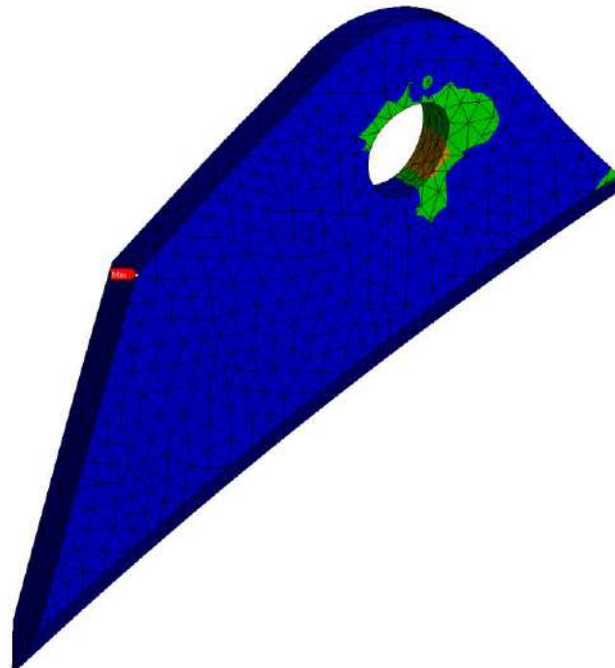
El Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent Gen-Misc Stress
Units: MPa
Time: 1
17-11-2018 11:25



ANSYS
8145



El Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
17-11-2018 11:07



ANSYS
8145



Figura 11: El esfuerzo máximo en la oreja es de 80 MPa. Factor de seguridad de 3 para un ASTM A-36.



ANEXO 1 PLANOS DE DISEÑO DE LA BOCA DEL REACTOR



ANEXO 2 MEMORIA DE CALCULO DE PERNOS