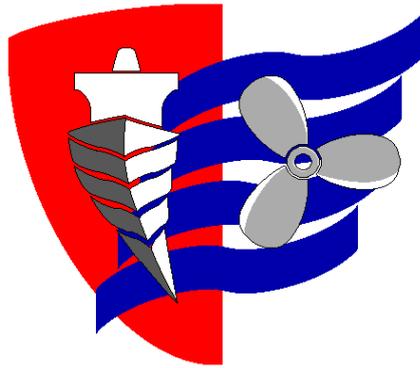


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo de Fin de Grado

**DISEÑO Y CORROSIÓN: SINERGIAS
Y ESTRATEGIAS DE CONTROL**

**Design and corrosion: synergies and
control strategies**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA....

Autor: Pablo Carriles Trueba

Director: Maria Victoria Biezma Moraleda

noviembre- 2018

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo de Fin de Grado

**DISEÑO Y CORROSIÓN: SINERGIAS
Y ESTRATEGIAS DE CONTROL**

**Design and corrosion: synergies and
control strategies**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

noviembre– 2018

RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado, se pretende abordar temas relacionados con el control de la corrosión, tratando sobre los tipos de corrosión mas comunes que existen, los factores que intervienen, asi como de los métodos de protección que se pueden aplicar para tratar disminuir o neutralizar los efectos negativos que conlleva la existencia de éste fenómeno.

Los procedimientos preventivos para la corrosión ya se encuentran muy estandarizados, no obstante en el ámbito marítimo, al ser este medio muy susceptible, todavia encontramos errores de diseño y mantenimiento que no hacen mas que suponer costes adicionales y fallos prematuros en las instalaciones.

En el trabajo vamos a tratar de encontrar errores de diseño en la puerta buque del Dique de Gamazo, situada en la ciudad de Santander y establecer las alternativas mas adecuadas para reducir procesos corrosivos o puntos críticos del mismo.

ABSTRACT

In the present study, we expect to deal with the main topics about the control of corrosion, we are going to describe the most common types of corrosion, the main causes that take part and the protection methods that we can apply to decrease the negative effects that corrosion can produce.

The preventive anticorrosive measurements are already standardized, perhaps in the marine field which is very susceptible we can still find design and maintenance mistakes which can produce an increase of the outlay and premature errors in the systems.

In this study we are going to find design errors in the shipdoor of the Gamazo's dock that is located in Santander and try to get the best method in order to prevent corrosion and critical points.

PALABRAS CLAVE

Corrosión, diseño, ámbito marítimo, dique, puerta buque, puntos críticos.

KEY WORDS

Corrosion, design, marine field, dock, shipdoor, critical points

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
PALABRAS CLAVE	3
KEY WORDS	3
CAPÍTULO 1: JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	6
1.1 Justificación	7
1.2 Objetivos	8
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	10
2.1 Introducción	11
2.2 Corrosión	11
2.2.1 Principios electroquímicos de la corrosión	12
2.2.3 Velocidad de corrosión	14
2.2.4 Formas de corrosión	14
2.2.5 Protección frente a la corrosión	18
2.3 Bioincrustación	21
2.3.1 Etapas de formación del biofouling	21
2.3.2 Tratamientos contra la bioincrustación	22
2.4 Importancia del diseño	23
2.4.1 Accesibilidad	23
2.4.2 Tratamiento de orificios	24
2.4.3 Precauciones para prevenir la retención de depósitos y agua	25
2.4.4 Bordes	25
2.4.5 Imperfecciones en la superficie de las soldaduras	26
2.4.6 Conexiones antideslizantes con pernos de alta resistencia	26
2.4.6.1 Conexiones precargadas	26
2.4.6.2 Pernos, tuercas y arandelas	26
2.4.7 Áreas cerradas y componentes huecos	26
2.4.8 Entallas	27
2.4.9 Refuerzos	27
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	29
3.1 Introducción	30
3.2 Estructura a estudiar	30
3.2.1 Estudio de tensiones de la compuerta	31
3.2.2 Información del proyecto	32

3.2.3 Propiedades físicas	33
3.2.4 Analisis hidrostático	33
3.2.5 Propiedades del material	34
3.3 Condiciones de funcionamiento.....	34
3.4 Tensión de Von Mises	41
3.5 Desplazamiento:	43
3.6 Coeficiente de seguridad:	43
3.7 Tensiones	44
3.7 Desplazamientos	50
3.8 Deformaciones.....	53
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	60
4.1 Resultados: Fuerza y pares de reacción en restricciones:.....	61
4.2 Resumen de resultados	61
4.3 Análisis	62
CAPÍTULO: 5 CONCLUSIONES.....	64
5.1 conclusiones	65
CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA.....	66
6.1 Bibliografía.....	67

CAPÍTULO 1: JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Justificación

Los riesgos que implica un fenómeno corrosivo son muy elevados, pues a veces, debilita una estructura, haciéndola incapaz para soportar los estados tensionales para la que fue diseñada. Los recientes sucesos como la pasarela de Vigo [1] así lo confirman, éste fenómeno llega a suponer un riesgo no solo a los medios de producción industriales, si no también puede poner en peligro vidas humanas en caso de colapso del sistema.

El mantenimiento y la revisión periódica de los elementos metálicos que forman parte de las estructuras que se encuentran dentro de los distintos componentes de las instalaciones industriales son importantes, ya que con el transcurso del tiempo estos elementos se encuentran vulnerables frente a los diversos factores ambientales los cuales corroen los metales debilitando sus propiedades y estructuras.

Por ello se puede afirmar que las medidas de fabricación y también las de diseño contribuyen a la mejora de protección contra la corrosión. Un diseño adecuado facilita inicialmente desarrollar las medidas de protección contra la corrosión de una manera efectiva. Las recomendaciones básicamente van encaminadas a evitar concentraciones y estancamientos de fluidos y a la generación de relieves que permitan el acceso para limpieza, supervisión y mantenimiento.

1.2 Objetivos

El objetivo del TFG será realizar un estudio de tensiones de la puerta rehabilitada del Dique de Gamazo, para determinar los puntos mas críticos de la misma, que serán a su vez las zonas mas susceptibles a corroerse, dada la disminución del espesor de las pinturas protectoras y de la resistencia del acero debido a la fatiga, todo ello con el propósito de alargar la vida útil de la estructura. El fin último es concienciarnos de la importancia del diseño y su sinergia con procesos corrosivos. En la figura 1 se muestra un flujograma que recoge los objetivos del TFG, y en la figura 2 se muestra una imagen de la puerta objeto de estudio.

En la figura 1 se recogen los objetivos del TFG.

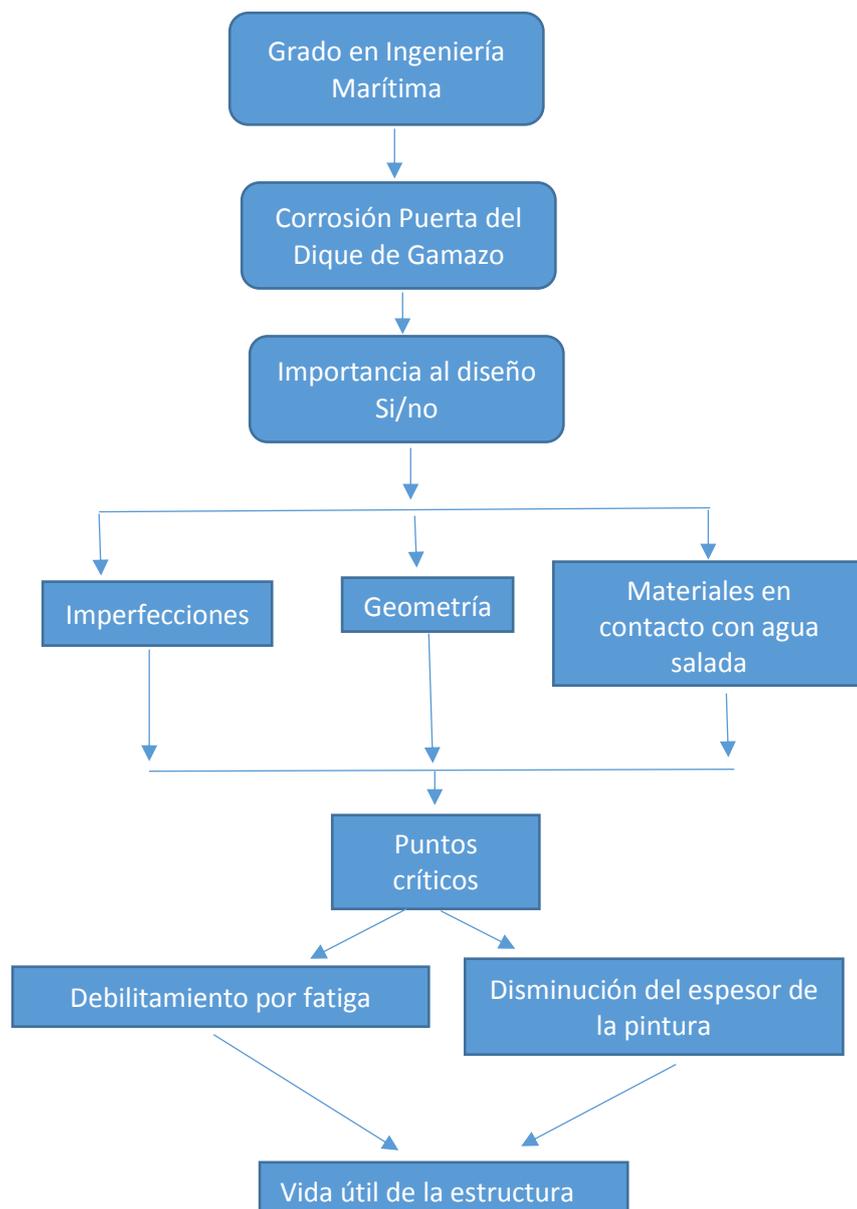


Figura 1. Flujograma objetivos TFG fuente: (elaboración propia)

A continuación, la figura 2, nos muestra una vista frontal de la puerta rehabilitada actual.



Figura 2. Puerta objeto de estudio fuente: (elaboración propia)

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

Para dar comienzo a este Trabajo de Fin de Grado, es preciso conocer con detalle el proceso de corrosión, como ocurre, que factores favorecen su aparición y desarrollo así como de las principales medidas en cuanto al diseño y de mantenimiento que se aplican para minimizar los efectos negativos que genera el mismo.

2.2 Corrosión

Podemos definir el concepto de corrosión como el deterioro que sufre un material a consecuencia de un ataque químico por su entorno. Cuando la corrosión esté originada por reacción química, la velocidad a la que tendrá lugar dependerá en mayor medida de la temperatura y de la concentración de los reactivos y de los productos. Otros factores, como el esfuerzo mecánico y la erosión también, pueden acelerar el proceso de deterioro. El ataque químico de los metales, ocurre principalmente por ataque electroquímico, ya que los metales tienen electrones libres que son capaces de establecer pilas electroquímicas dentro de los mismos. Las reacciones electroquímicas requieren un electrolito conductor, que normalmente es el agua. De aquí que en ocasiones se le catalogue como corrosión acuosa. Otro tipo de deterioro de los metales, es el que sucede por reacción química con el medio, es lo que se conoce como corrosión seca, que constituye en ocasiones una degradación importante cuando va acompañado de temperaturas elevadas.

2.2.1 Principios electroquímicos de la corrosión

Un recipiente conteniendo una solución acuosa, denominada electrolito, en el cual se encuentran dos electrodos de metales distintos, por ejemplo Zn y Cu, que se encuentran unidos por un conductor eléctrico en el que se intercala un voltímetro.

La figura 3 nos detalla una pila electroquímica de cobre y zinc:

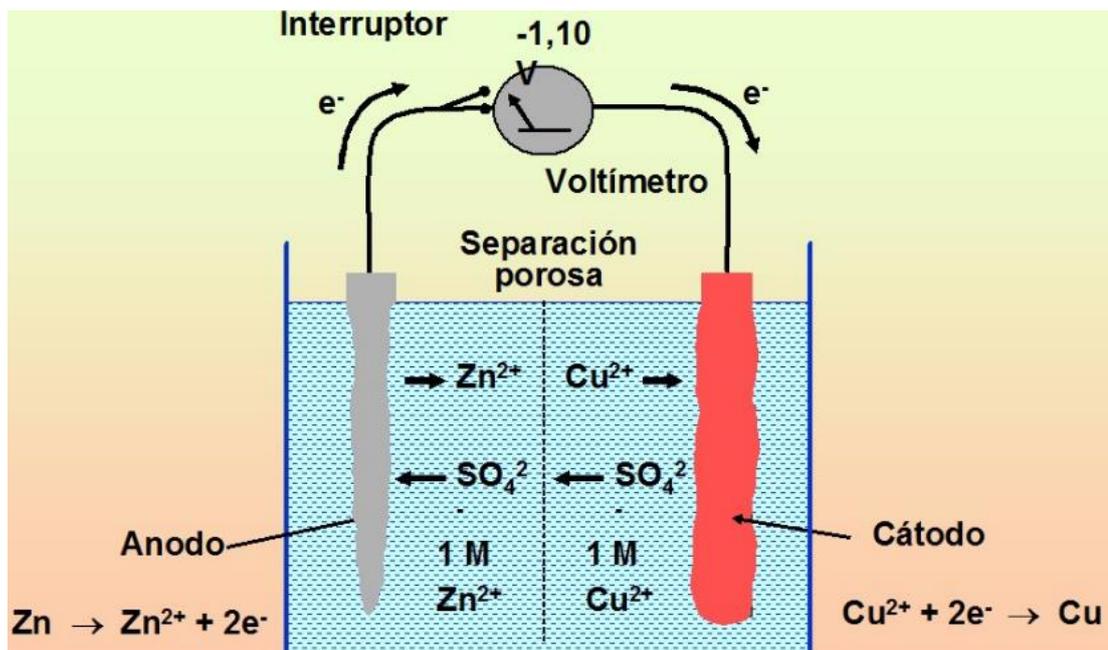
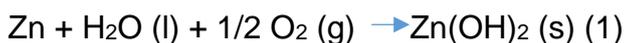


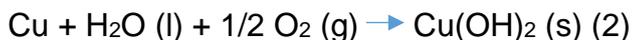
Figura 3. Pila electroquímica. [23]

Reacción anódica: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

Un flujo de electrones circula por el conductor desde el Zn al Cu, lo que significa una corriente eléctrica desde el Cu al Zn. El voltímetro nos indicará este paso de corriente. Este es el principio de la pila galvánica, de Luigi Galvani, que convierte la energía química en eléctrica. El Zn se corroe pasando a hidróxido de zinc según la reacción:



El cobre constituye el cátodo; pues la energía libre de formación del hidróxido es menor:



- **Reacción de oxidación:** los metales forman iones que pasan a solución acuosa recibiendo el nombre de reacción anódica, y las regiones en la superficie de los metales donde la reacción de oxidación tiene lugar reciben el nombre de ánodos. En la reacción anódica, se producen electrones, los cuales permanecen en el metal, y los átomos del metal forman cationes, según la siguiente reacción basandonos en la figura(3): $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^-$ (3)
- **Reacción de reducción:** Reacción en la que un metal o no metal ve reducida su carga de valencia, recibiendo el nombre de reacción catódica. Las regiones en la superficie del metal donde los iones metálicos o no metálicos ven reducida su carga de valencia reciben el nombre de cátodos. En la reacción catódica hay un consumo de electrones, como apreciamos en la siguiente reacción:
 $\text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ (4)
- **Reacción del agua:** $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4(\text{OH})^-$ (5)
- **Reacciones de corrosión electroquímica:** involucran reacciones de oxidación y reducción. Ambas reacciones de oxidación y reducción deben ocurrir al mismo tiempo y a la misma velocidad global para evitar una concentración de carga eléctrica en el metal. [2]

2.2.3 Velocidad de corrosión

La cantidad de metal corroído de un ánodo o electrodepositado en un cátodo, en una disolución acuosa durante un tiempo determinado, se puede determinar empleando la ecuación de Faraday, que establece:

$$w = I t M / n F \quad (6)$$

- W (peso del metal corroído o electrodepositado en gramos)
- T (tiempo en segundos)
- I (flujo de corriente en amperios)
- M (masa atómica del metal en g/mol)
- n (número de electrones)
- F (constante de Faraday) [3]

2.2.4 Formas de corrosión

La corrosión se puede clasificar según su morfología o según el medio en el cual se desarrolla.

Según la forma:

- **Ataque uniforme:** Es una forma de corrosión electroquímica que tiene lugar con igual intensidad en la totalidad de la superficie expuesta y que con frecuencia deja una escama residual. Se trata de la forma de corrosión más común y menos molesta, ya que se puede predecir con relativa facilidad.
- **Corrosión galvánica:** Ocurre cuando dos metales o aleaciones con diferente composición se unen eléctricamente mientras son expuestos a un electrolito. El metal menos noble o el más reactivo experimenta corrosión en un determinado ambiente; el metal más inerte, el cátodo, queda protegido de la corrosión. La serie galvánica indica la reactividad relativa en agua de mar de varios metales y aleaciones. Cuando dos aleaciones se acoplan en agua de mar, la que está en la posición más baja en la serie experimenta corrosión. La velocidad de ataque galvánico depende de las áreas del ánodo y el cátodo expuestas al electrolito. Un ánodo muy pequeño se corroe más rápidamente que uno más grande. La razón de esto es que la velocidad de corrosión depende de la densidad de corriente y entonces tenemos una densidad de corriente alta en el ánodo cuando su área es pequeña en relación con

la del cátodo.

- **Corrosión por aireación diferencial:** Ocurre como consecuencia de la diferencia de los iones o gases disueltos en la disolución electrolítica, así como en 2 regiones de la misma pieza metálica. En ésta pila de concentración, la corrosión ocurre en la parte con menor concentración. Un buen ejemplo de este tipo de corrosión es el que se muestra en rendijas y grietas, o bajo depósitos de suciedad, donde la disolución permanece estancada y existe un empobrecimiento del oxígeno disuelto. El mecanismo consiste en que una vez que se haya consumido el oxígeno dentro de la rendija, tiene lugar la oxidación del metal en esta ubicación, los electrones procedentes de esta reacción electroquímica se desplazan a través del metal base hasta la región externa vecina, donde se consumen por reducción. La corrosión por aireación diferencial se previene, con la utilización de uniones soldadas en lugar de uniones atornilladas o por remachado, con la eliminación de los depósitos de agua acumulados y el diseño de recipientes sin áreas de estancamiento y que aseguren un completo drenaje.
- **Corrosión en placas:** Incluye los casos intermedios entre corrosión uniforme y localizada, el ataque se extiende mas en algunas zonas, pero el ataque es más general.
- **Corrosión por picado:** El daño se localiza en puntos aislados propagándose hacia el interior del metal, se trata de un tipo de corrosión muy insidiosa y con muy poca pérdida de material lo que implica una dificultad para prevenir su propagación, una picadura puede iniciarse con un defecto en la superficie del metal o por una pequeña grieta, por lo tanto se observa que superficies pulidas presentan una mayor resistencia frente a este tipo de corrosión.
- **Corrosión fisurante:** Se presenta cuando el metal está sometido simultáneamente a un medio corrosivo junto con tensiones mecánicas de tracción, formándose fisuras que pueden ser intergranulares o transgranulares propagandose hacia el interior del metal, pudiendo llegar a ocasionar la fractura del metal [4]

- Corrosión intergranular:** Se presenta como una zanja estrecha de ataque que se desarrolla a lo largo de los límites de grano. Consiste en la formación de carburos de cromo en los bordes de grano, provocando un empobrecimiento en cromo en la zona, no quedando suficiente cromo para formar la capa pasiva de óxido de cromo que le protege del ambiente. La corrosión intergranular es un problema serio especialmente en la soldadura del acero inoxidable, recibiendo el nombre de sensibilización por soldadura. El acero inoxidable puede protegerse de esta corrosión mediante: 1) un tratamiento térmico a elevada temperatura con el fin de disolver el carburo de cromo 2) reducir el contenido de carbono por debajo del 0,03% de manera que la formación del carburo sea mínima 3) Alear el acero con niobio o titanio que tienen una mayor tendencia a formar carburos que el cromo. Las figura 4 muestra la pérdida de material en las distintas formas de corrosión.

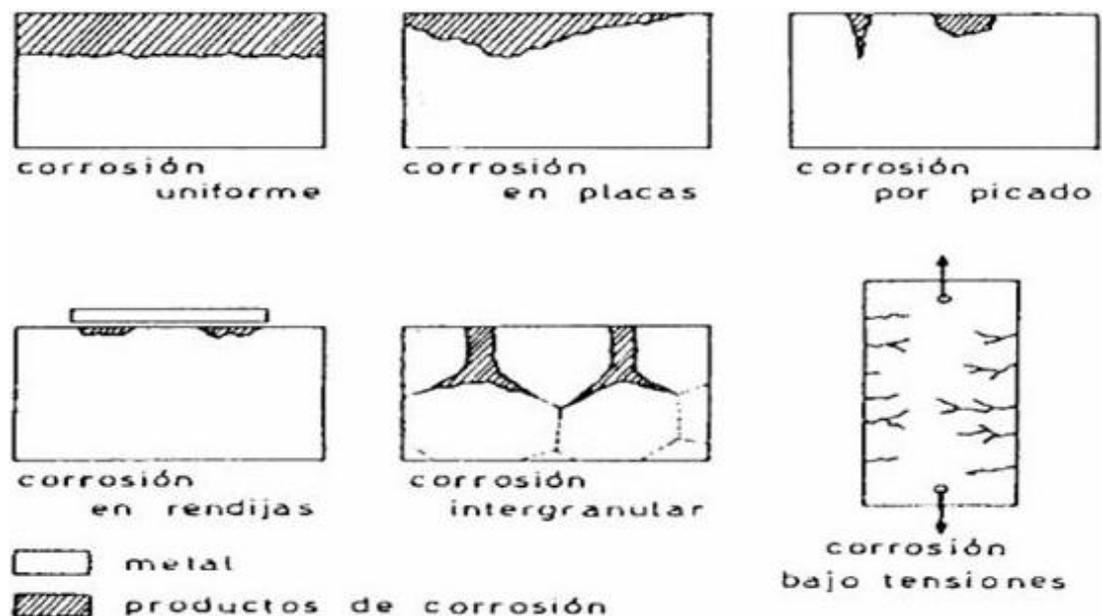


Figura4. Tipos de corrosión[24]

Corrosión por erosión: Se debe a la acción combinada del ataque químico y de la abrasión mecánica a consecuencia del movimiento de un fluido, es especialmente peligrosa para las aleaciones que experimentan pasivación ya que el movimiento del fluido producirá el desgaste de la capa pasiva protectora dejando el metal expuesto. Un aumento de la velocidad del fluido aumentará el potencial corrosivo a la vez que la existencia de partículas

sólidas en suspensión. La corrosión por erosión es típica en zonas en las que el fluido experimenta un cambio significativo de dirección o donde el flujo se hace turbulento como por ejemplo en codos de tuberías, helices, álaves. En la figura 5 se observa el deterioro de un codo de una tubería afectada por erosión.



Figura 5. Corrosión por erosión en codo[25]

- **Fragilización por hidrógeno:** Ocurre cuando las aleaciones o aceros metálicos experimentan una disminución en su grado de ductilidad y en la resistencia a tracción cuando el hidrógeno penetra en el material. Éste fenómeno en si es un tipo de rotura, ocurriendo una fractura frágil catastrófica a medida que se incrementa el tamaño de las grietas y se propagan con rapidez. El hidrógeno se difunde intersticialmente a través de la red cristalina y en concentraciones de tan solo varias partes por millón pueden dar lugar a al agrietamiento del material.

Según el medio:

- **Corrosión química:** Según esta denominación estudiamos aquellos casos en los cuales el metal reacciona con un medio no iónico, por ejemplo cuando exponemos una superficie metálica limpia a la acción del oxígeno.
- **Corrosión electroquímica:** Éste tipo de corrosión implica un transporte de electricidad a través de un medio electrolítico. Las causas más frecuentes de éstas corrientes son: 1) el contacto entre metales diferentes 2) presencia de fases diferentes de una misma aleación 3) presencia de óxidos 4) diferentes grados de aireación de una pieza metálica 5) corrientes inducidas por circuitos eléctricos mal aislados 6) impurezas y tensiones en el metal. [5]

2.2.5 Protección frente a la corrosión

La forma más sencilla de evitar la corrosión es la selección adecuada de los materiales una vez que hemos caracterizado el ambiente corrosivo, no obstante el aumento del costo a costa de seleccionar el material adecuado nos lleva en muchas ocasiones a emplear aleaciones u otras técnicas más económicas.

Una forma de protección es mediante el empleo de **inhibidores**, son sustancias que, cuando se añaden al medio en concentraciones relativamente bajas disminuyen su corrosividad, éste elemento depende en gran medida de la aleación y del ambiente corrosivo.

Los inhibidores de corrosión, cumplen las siguientes características: 1) resisten químicamente y físicamente las superficies metálicas 2) forman una barrera que aísla la humedad de la superficie metálica 3) forman una barrera para excluir el oxígeno de la superficie metálica 4) puede neutralizar la acidez o la alcalinidad de la superficie.

Recubrimientos: Éstos son usados para aislar las regiones anódicas y catódicas e impiden la propagación del oxígeno, podemos distinguir entre **recubrimientos con película orgánica**, como es el caso de las famosas pinturas, cuyo principio se basa en crear una película que impida el contacto directo entre la superficie del metal y el electrolito, para ello necesitamos

capas de imprimación, con el objetivo de procurar una adherencia óptima de la pintura a la superficie del metal, además, la aplicación de sucesivas capas favorece el aislamiento de la superficie metálica. [6]

Y **recubrimientos con películas metálicas**, distinguiendo entre recubrimientos con metales mas electropositivos, en los cuales la protección se realiza por el efecto barrera analizado en las pinturas, pero con el problema de que si existen poros o grietas, el metal base actuará como ánodo, y recubrimiento con metales mas electronegativos, en los que la protección se realiza por el principio de protección anódica.

Ánodos de sacrificio: Los metales más empleados como ánodos de sacrificio son, principalmente metales con potenciales más electronegativos de la serie galvánica, como el zinc (Zn), aluminio (Al) y el magnesio (Mg), la corrosión del recubrimiento del cinc tiene lugar a una velocidad muy lenta debido a que la relación de áreas entre la superficie anódica y catódica es muy grande. Los ánodos de sacrificio se emplean para proteger estructuras metálicas que están inmersas en agua, tanto dulce como salada. Al poner en contacto eléctrico un metal más activo (ánodo de sacrificio), con la superficie metálica, provocaremos que el metal que querramos proteger, actúe de cátodo y así provocar que sea el ánodo el que se corroa, en lugar de la estructura metálica, ya sea casco de un barco, tuberías, depósitos, diques etc. [7] [8]

La siguiente imagen recoge la colocación de los ánodos de sacrificio presentes en la parte seca de la puerta.



Figura 6 Ánodos de sacrificio de la puerta del dique. Fuente: (Elaboración propia)

Protección mediante el empleo de corrientes impresas: En éste sistema de protección catódica, utilizamos la corriente suministrada por una fuente continua necesaria para la protección de una estructura. El efecto deseado se consigue mediante la unión eléctrica de la estructura que se pretende proteger con el polo negativo de la fuente de corriente continua y el polo positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Éste método tiene la característica de que emplea como ánodo dispersor de la corriente materiales metálicos que se consumen con el paso de la corriente que aporta la fuente de continua, sin embargo, el intercambio necesario de corriente con el electrolito tiene lugar a través de reacciones electroquímicas.

La figura 7 representa un esquema de protección mediante corriente impresa.

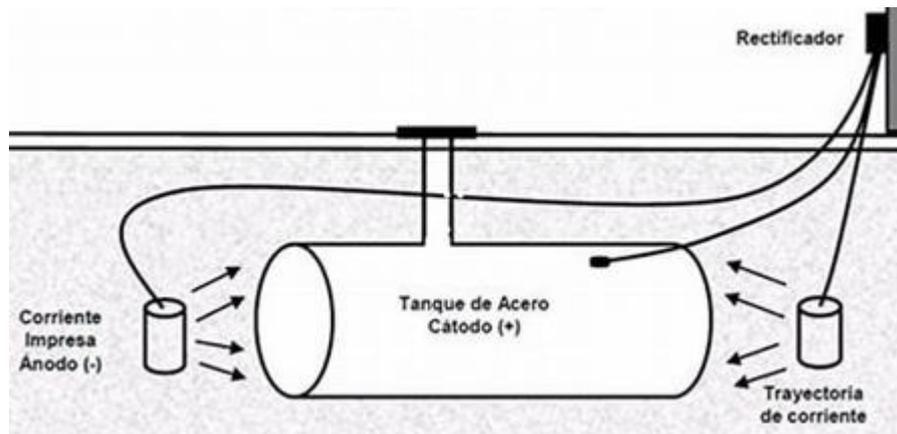


Figura7. Esquema de protección mediante corriente impresa[26]

2.3 Bioincrustación

Dado que nuestra estructura a estudiar se encuentra temporalmente inmersa en agua de mar, es importante tener en consideración el fenómeno conocido como bioincrustación o fouling, éste proceso implica una proliferación de agentes vivos, principalmente cirrópodos, que se adhieren a las superficies inmersas. Éstos cirrópodos son capaces de sobrevivir en condiciones medioambientales muy adversas, ya que tienen la capacidad de adaptarse a las diferentes condiciones medioambientales. Se encuentran presentes en la mayoría de mares del mundo y se adhieren a las superficies inmersas con el fin de alimentarse, las superficies en ausencia de movimiento como buques en varada o diques son las mas susceptibles en cuanto a la aparición de estos microorganismos. Un aspecto importante a tener en cuenta es que con temperaturas altas y luz elevada estos organismos se desarrollan mas rápido, por éste motivo en las zonas tropicales se requiere una mayor atención. [9]

2.3.1 Etapas de formación del biofouling

1. Materia orgánica disuelta se adhiere a la superficie inmersa creando un ambiente favorable para la aparición de microorganismos.
2. Comienzan a adherirse un número importante de especies microbiológicas en la superficie, formándose lo que se conoce como la película microbiológica.

3. Colonizadores secundarios se suman a la película de la superficie, generalmente atraídos por sustancias químicas generadas por los colonizadores primarios.
4. Se adhieren organismos de mayor tamaño como algas y moluscos, lo que se conoce como desarrollo de macrofouling. [10]

En la Figura 8 contemplamos las distintas etapas del proceso de fouling.

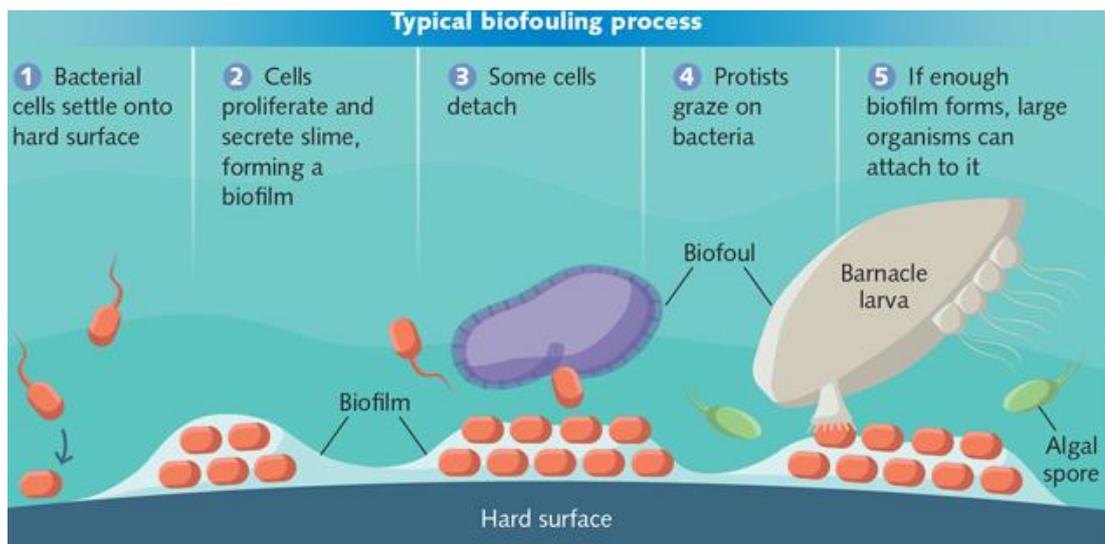


Figura8. Proceso de fouling[27]

2.3.2 Tratamientos contra la bioincrustación

Los orígenes comenzaron con el empleo de pinturas antifouling a base de tributilo de estaño (TBT), el problema era que este compuesto era tóxico en bajas concentraciones y afectaba negativamente a los moluscos, por éste hecho el comité de protección del medio marino (MEPC), prohibió su utilización para la protección de buques.

Actualmente existen 3 tipos de antiincrustantes que se utilizan según la forma en que se elimine el biocida:

- **Autopulimentables:** La base es una resina formada por un 50% de ácido abiótico, el ácido abiótico es una resina ácida, la disolución del resín libera el biocida en el entorno, mientras que la resina no soluble crea la capa de lixiviación.

- **Matriz dura:** Estas pinturas absorben agua mientras la parte soluble de la resina se va desintegrando, dejando una estructura insoluble como una esponja rígida
- **Copolimeros antiincrustantes:** Son co-polimeros que reaccionan con el agua salada por hidrólisis (consiste en la formación de un ácido y una base a partir de una sal por interacción del agua), dan lugar a capas de lixiviación más delgadas y mejoran el control de la liberación del biocida.
- **Tratamientos manuales:** En este caso es un buzo, el cual por medio de elementos mecánicos limpian las superficies

2.4 Importancia del diseño

Según la norma **UNE-EN ISO 12944-3** [11] el diseño constituye una etapa primordial en las instalaciones en las que el acero forme parte.

El diseño debe cumplir una serie de requisitos, en los cuales se encuentran la seguridad, la funcionalidad, la integridad de la estructura, durabilidad, resistencia sin comprometer la parte estética ni aumentar mucho el coste.

El diseño de una estructura impacta directamente en el comportamiento que presenta frente a la corrosión, ya que si no se siguen los protocolos adecuados, se generarán zonas susceptibles de ataque, las cuales facilitarán el comienzo y la propagación de los procesos corrosivos.

La norma establece una serie de consideraciones generales que deben tenerse en cuenta en cualquier diseño para prevenir fenómenos corrosivos. [12]

2.4.1 Accesibilidad

El objetivo es facilitar el acceso para aplicar, inspeccionar y mantener el sistema de pintura protector, por ejemplo mediante la inclusión de plataformas, pasarelas u otros equipos auxiliares.

Todas las superficies de la estructura deberían ser visibles y encontrarse al

alcance del operario mediante un método seguro.

Deberá prestarse especial atención para asegurar el acceso a las aberturas en espacios cerrados y en tanques. Las aberturas deberán tener un tamaño óptimo para permitir un acceso seguro tanto para los operarios como para los equipos de mantenimiento.

Los componentes que se encuentren en riesgo de sufrir corrosión y sean inaccesibles, deberían fabricarse a partir de materiales resistentes a la corrosión, o bien tener un sistema de pintura protector que debe de ser efectivo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura. La tabla 1 nos detalla Las distancias y ángulos de operación que precisa la norma

Tabla1. Accesibilidad. [11]

Operación	Longitud de la herramienta (D_2) mm	Distancia entre la herramienta y el sustrato (D_1) mm	Ángulo de operación (α) grados
Preparación de superficies por chorreado abrasivo	800	200 a 400	60 a 90
Limpieza con herramientas mecánicas			
– con pistola de agujas	250 a 350	0	30 a 90
– puliendo/lijando	100 a 150	0	–
Limpieza con herramientas manuales			
– cepillando / descascarillando	100	0	0 a 30
Pulverización metálica	300	150 a 200	90
Aplicación de pinturas			
– por pulverización	200 a 300	200 a 300	90
– con brocha	200	0	45 a 90
– con rodillo	200	0	10 a 90

2.4.2 Tratamiento de orificios

Orificios estrechos y uniones solapadas son lugares potencialmente peligrosos de sufrir ataque corrosivo debido a la posible retención de humedad y suciedad. La corrosión principalmente de éstas zonas debería evitarse mediante el sellado, siendo en los casos mas extremos el uso de relleno mediante soldadura de todas las secciones.

2.4.3 Precauciones para prevenir la retención de depósitos y agua

Deberían evitarse configuraciones superficiales en las que el agua pueda quedar retenida, y que puedan de este modo, incrementar el potencial de los agentes corrosivos. Las precauciones apropiadas para conseguir estos objetivos son:

- Los diseños con superficies inclinadas o biseladas
- La eliminación de secciones abiertas en la parte superior o su colocación en posición inclinada
- La supresión de cavidades y huecos en los que puede quedar retenida la suciedad y el agua
- El drenaje de agua y líquidos corrosivos lejos de la estructura

2.4.4 Bordes

Los bordes redondeados son deseables para posibilitar la aplicación de la capa protectora de manera uniforme y para lograr un espesor de la película adecuado sobre bordes agudos. Las capas protectoras en los bordes agudos son lugares más susceptibles al deterioro. Todos los bordes agudos deberían redondearse y biselarse desde el proceso de fabricación así como han de eliminarse las rebabas en torno a orificios.

A continuación en la figura 9 se presentan los problemas causados por bordes inapropiados.

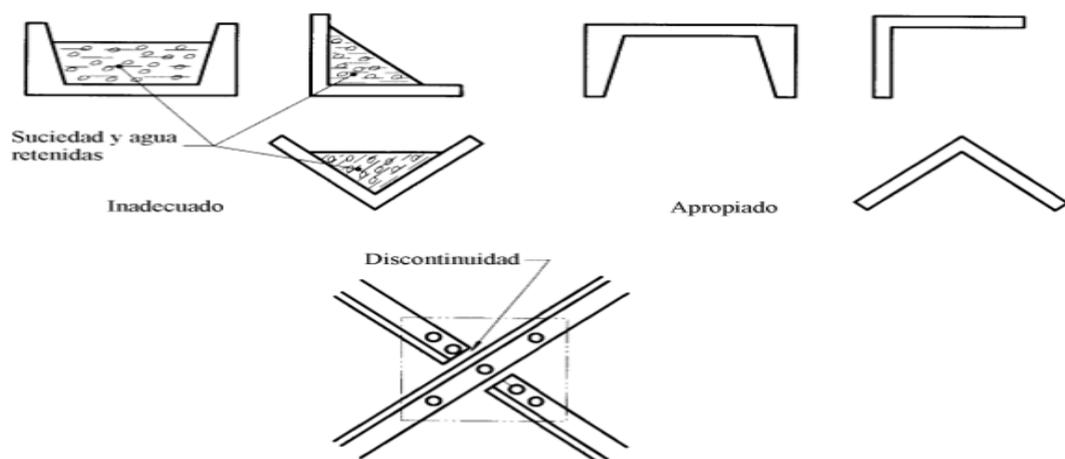


Figura 9. Comparativa de Bordes [11]

2.4.5 Imperfecciones en la superficie de las soldaduras

Las soldaduras deberían estar libres de imperfecciones, que son difíciles de cubrir de manera eficaz mediante el uso de pintura protectora.

La figura 10 muestra una comparativa entre una hendidura de difícil acceso y una soldadura mejorada.

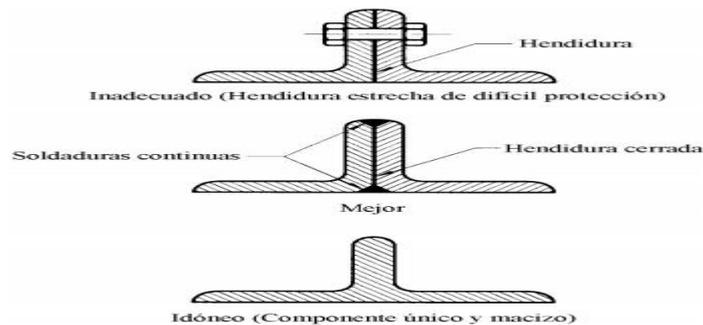


Figura 10. Imperfecciones en soldaduras[11]

2.4.6 Conexiones antideslizantes con pernos de alta resistencia

Las superficies de fricción en conexiones antideslizantes deberán prepararse mediante chorreado previo al montaje. En la superficie de fricción puede aplicarse un material protector con un coeficiente de rozamiento adecuado.

2.4.6.1 Conexiones precargadas

Se debe prestar una atención importante a la especificación de películas de pintura para conexiones con pernos precargados

2.4.6.2 Pernos, tuercas y arandelas

Deben protegerse contra la corrosión para obtener la misma durabilidad que la estructura.

2.4.7 Áreas cerradas y componentes huecos

Las áreas cerradas y los componentes huecos que estén expuestos a la humedad superficial, deben estar provistos de aberturas de drenaje y estar

protegidos de un modo efectivo contra la corrosión.

Las partes cerradas y los componentes huecos sellados deben ser impermeables al aire y a la humedad. Con este fin deben sellarse por medio de soldaduras continuas y cualquier abertura debe estar provista de cubiertas selladas. Durante el ensamblaje de tales componentes, debe ponerse cuidado en asegurar que no quede agua atrapada.

2.4.8 Entallas

Las entallas en refuerzos, almas o componentes de construcción similares deberían tener un radio mínimo de 50 mm, para permitir la preparación adecuada de la superficie y la aplicación de un sistema de pintura protector. Cuando la plancha en la que está la entalla es gruesa, el espesor de la plancha circundante debería de reducirse, para facilitar la preparación de la superficie y la aplicación de la pintura.

2.4.9 Refuerzos

Cuando se precisen el uso de refuerzos, es esencial que la intersección entre el refuerzo y que los componentes colindantes estén soldados a todo alrededor, con el objetivo de evitar la formación de huecos. El diseño de refuerzos no debería permitir la existencia retención de depósitos ni agua y debe permitir el acceso para la preparación de la superficie y la aplicación de un sistema de pintura protector.

En la Figura 11 mostramos las dimensiones según la UNE-ENIS112944-3

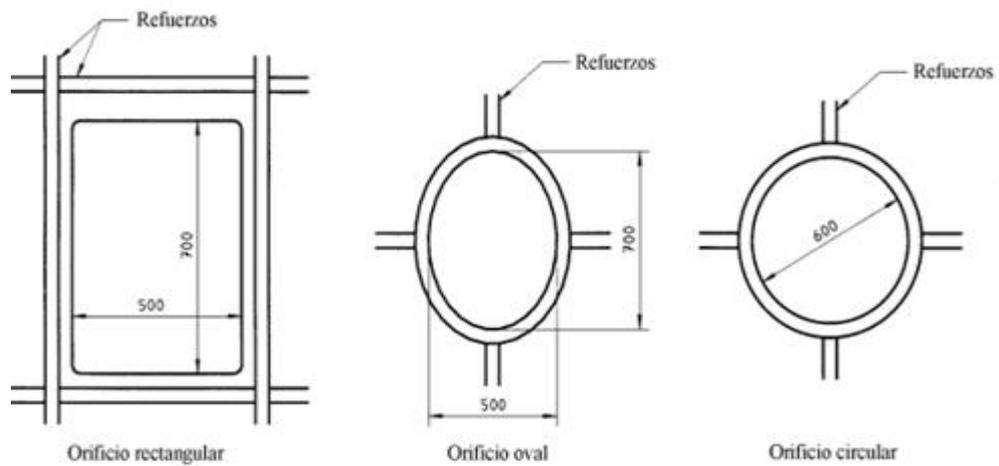


Figura 11. Esquema dimensiones de las aberturas [11].

Por todo ello uno de los objetivos de nuestro Trabajo de Fin de Grado es la de concienciarnos de la importancia del diseño, ya que cualquier error del mismo puede suponer la aparición de puntos críticos susceptibles de corroerse.

CAPÍTULO3: METODOLOGÍA

3.1 Introducción

En este capítulo comenzaremos a tratar más en detalle la puerta del Dique de Gamazo, realizaremos una observación de la misma tomando fotografías de las zonas mas críticas tanto de la zona que da al dique (seca) como de la que está espuesta a la mar, posteriormente procederemos a realizar un modelado de la puerta utilizando planos de la misma mediante el empleo del inventor, cuya versión será la 2018(build 220112000112), con todo ello, realizaremos un modelo de la puerta del dique con sus puntos débiles, que serán los lugares mas susceptibles de sufrir un ataque por corrosión.

La figura 12 nos detalla el protocolo de trabajo.



Figura 12. Fugograma del protocolo de trabajo. Fuente:(elaboración propia)

3.2 Estructura a estudiar

En primer lugar comenzaremos diciendo que un dique seco, consiste en una dársena artificial para llevar a cabo operaciones de mantenimiento y construcción de buques, se encuentra abierta a una corriente navegable y contiene compuertas en su entrada, se encuentra construido en tierra firme a diferencia del dique flotante y su sección tiene forma de U, las paredes laterales deben de actuar como muro de contención respecto de la tierra que los rodea y el fondo ha de poder soportar el peso concentrado del buque sobre los apoyos. En cuanto a la puerta del dique, la cual es el objeto de estudio, deberá ser capaz de soportar la presión de agua y ser totalmente estanca, a la vez de resistente frente a fenómenos costeros adversos que repercutirán en el lado que queda expuesto al mar. En cuanto a los equipos que se utilizan en el dique, hablamos principalmente de bombas de achique, válvulas de inundación y de descarga. [13]

La figura 13 se detallan los planos utilizados para el modelado de la puerta

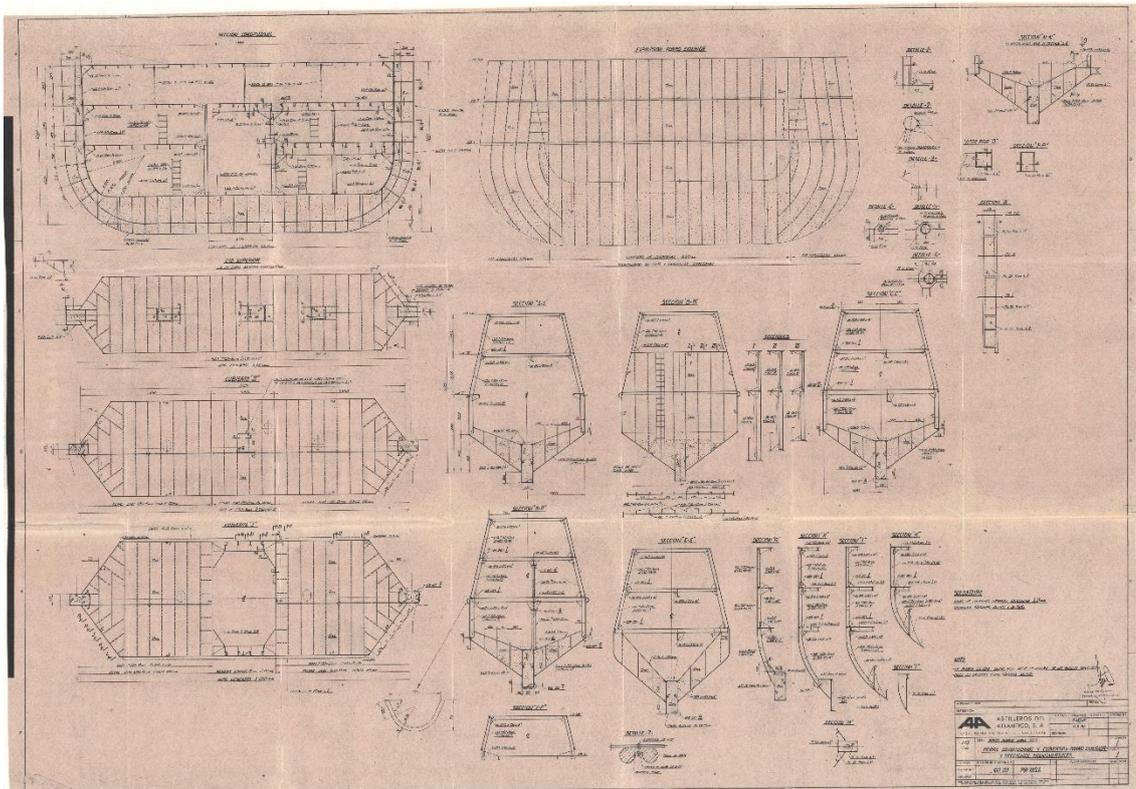


Figura 13 Planos de la puerta del dique de Gamazo. [13]

3.2.1 Estudio de tensiones de la compuerta

A continuación realizaremos un modelado de la puerta basandonos en los planos del registro mercantil de Santander con el objetivo de establecer cuales son los puntos más tensionados de la misma.

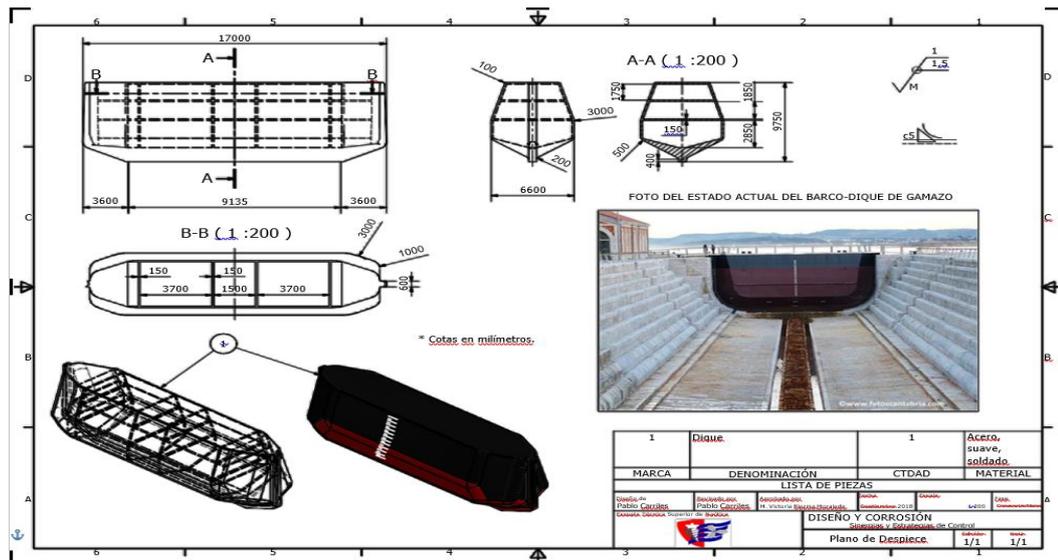


Figura 15. Vistas del modelado. Fuente: (Elaboración propia)

3.2.3 Propiedades físicas

En la tabla3, se recogen las propiedades físicas del material de la puerta:

Tabla3 de propiedades físicas. Fuente: (Elaboración propia)

Material	Acero, forjado
Densidad	7,85 g/cm ³
Masa	6017080 kg
Área	552600000 mm ²
Volumen	7,66507E+11 mm ³
Centro de gravedad	x=8481,8 mm y=-4767,81 mm z=3000 mm

3.2.4 Analisis hidrostático

A continuación, en la tabla4, se señala el objetivo y el tipo de estudio que se va a realizar.

Tabla4. Análisis hidrostático. Fuente: (Elaboración propia)

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	09/10/2018, 9:36

3.2.5 Propiedades del material

La tabla 5 recoge las propiedades físicas del acero de la puerta.

Tabla 5. Propiedades del material. Fuente: (Elaboración propia)

Nombre	Acero, forjado	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	300 MPa
Tensión	Módulo de Young	210 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	80,7692 GPa
Nombre(s) de pieza	Dique Estudio	

3.3 Condiciones de funcionamiento

En ésta sección analizaremos las principales presiones hidrostáticas que afectan a la puerta.

Presión 1:

La tabla 6, nos detalla el valor de la presión hidrostática de la cara frontal de la puerta.

Tabla 6. Presión 1. Fuente: (elaboración propia)

Tipo de carga	Presión
Magnitud	0,050 MPa

Cara seleccionada:

En la Figura 16 y 17 ilustramos la cara frontal ubicada en la zona que da al agua de mar y que se encuentra expuesta a la presión hidrostática del agua de mar calculada con un máximo de 2 metros de columna.

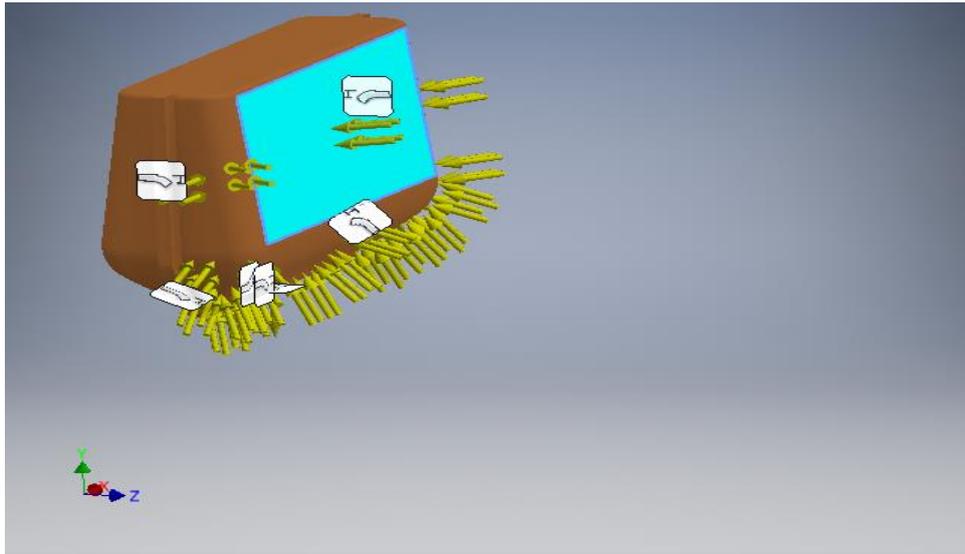


Figura 16. Cara frontal de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

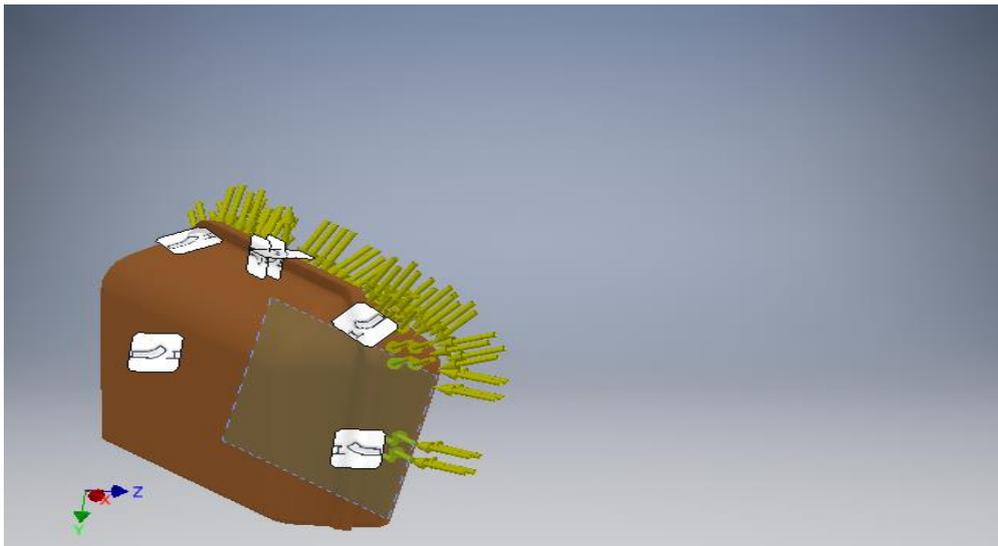


Figura 17. Cara frontal de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

Presión 2:

La tabla 7 muestra el valor de la presión en la parte inferior de la puerta.

Tabla 7. Presión 2. Fuente: (elaboración propia)

Tipo de carga	Presión
Magnitud	0,100 MPa

Cara seleccionada:

En éste caso nos centramos en la parte inferior de la puerta, la cuál se encuentra afectada por la presión hidrostática de la columna de agua, que en éste caso es mayor debido a la ubicación de la zona seleccionada. La figura 17 y 18 muestran su ubicación.

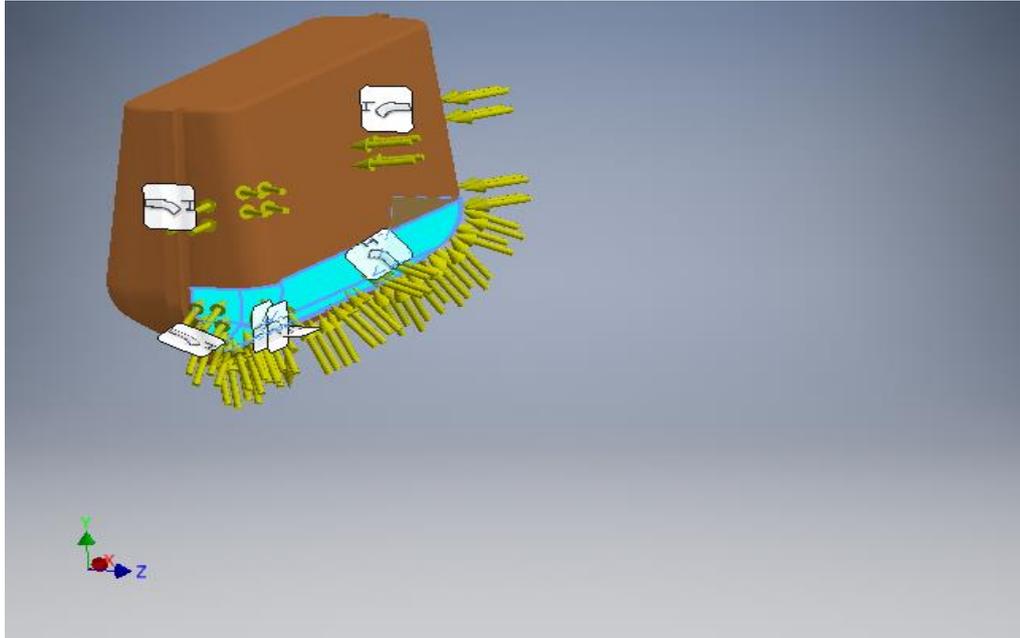


Figura 18. Cara inferior de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

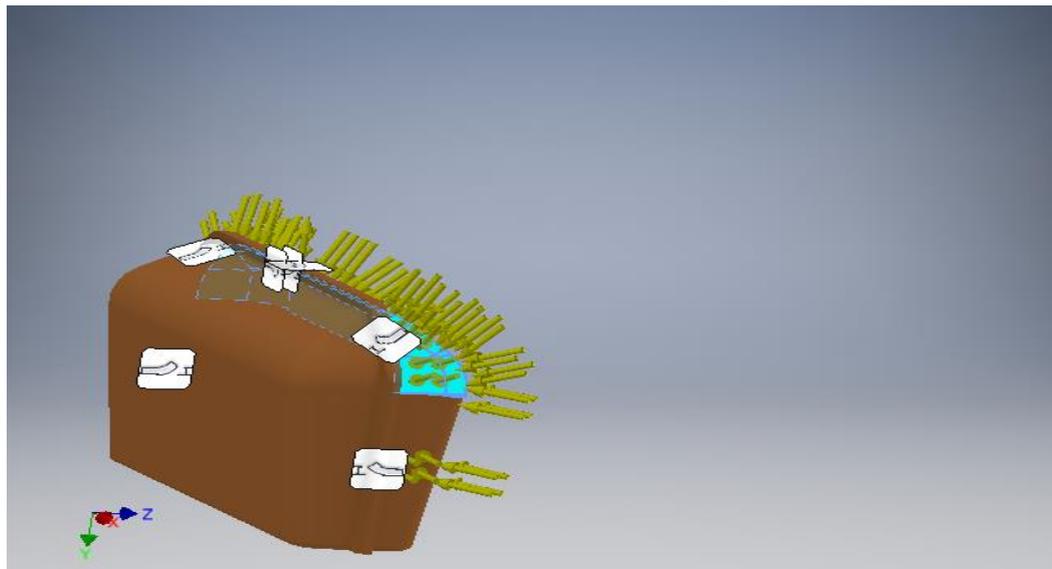


Figura 19. Cara inferior de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

Presión 3:

La tabla 8 nos muestra el valor de la presión en las zonas laterales de la puerta.

Tabla8. Presión 3. Fuente: (elaboración propia)

Tipo de carga	Presión
Magnitud	0,050 MPa

Cara seleccionada:

La última zona de la puerta que nos queda de analizar su presión hidrostática, son las zonas laterales de la misma, como se muestra en la siguiente imagen, se ha considerado la misma altura de columna de agua que la presión que afecta a la cara frontal de la puerta. La figura 20 y 21 detallan su ubicación.

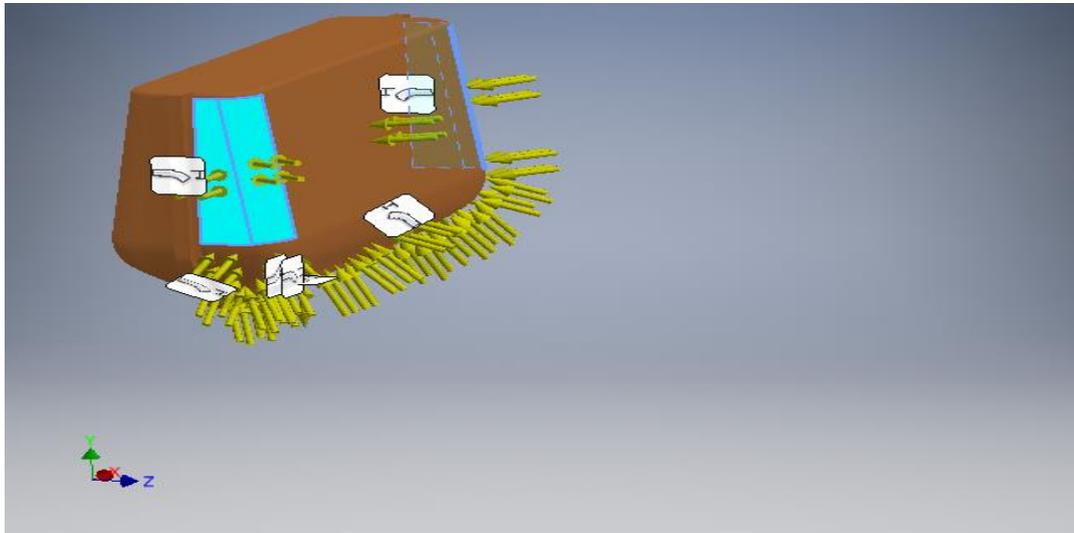


Figura20. Caras laterales de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

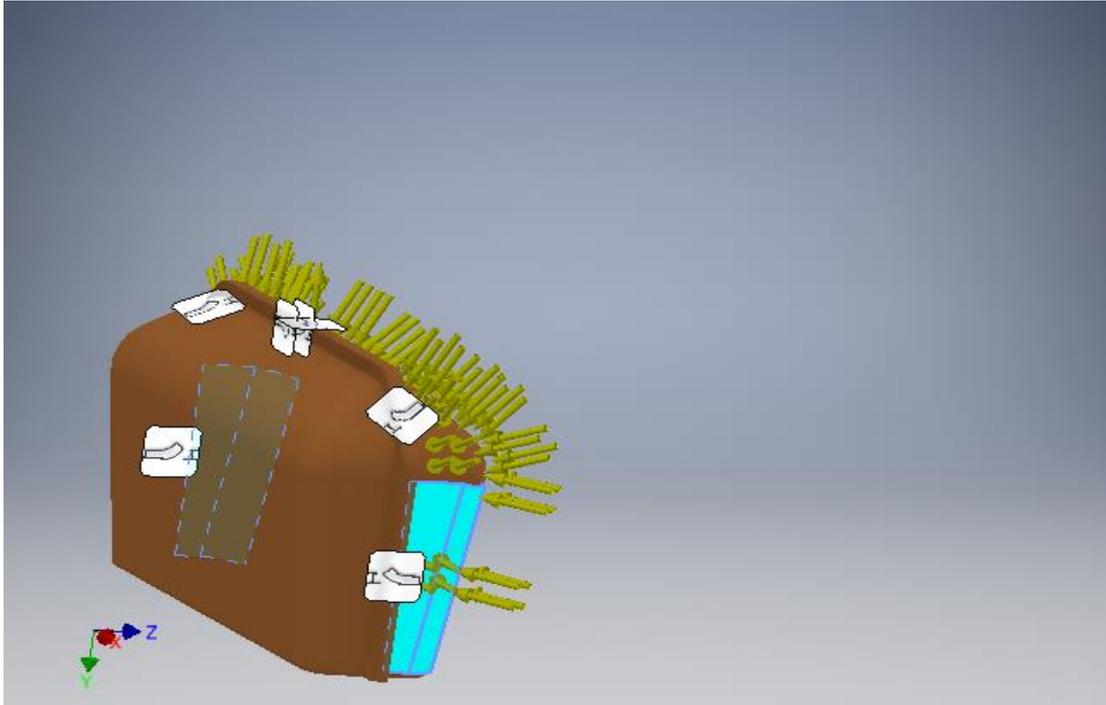


Figura21. Caras laterales de la puerta. Fuente:(elaboración propia)

Fuerza 1:

Fuerza de -100000 newton debida al peso de la puerta como apreciamos en la tabla 9.

Tabla9. Fuerza 1. Fuente: (elaboración propia)

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	100000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-100000,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara seleccionada:

La fuerza debido al peso de la estructura afecta a la zona anclada, que se encuentra en la parte inferior de la puerta, como nos muestran las figuras 22 y 23.

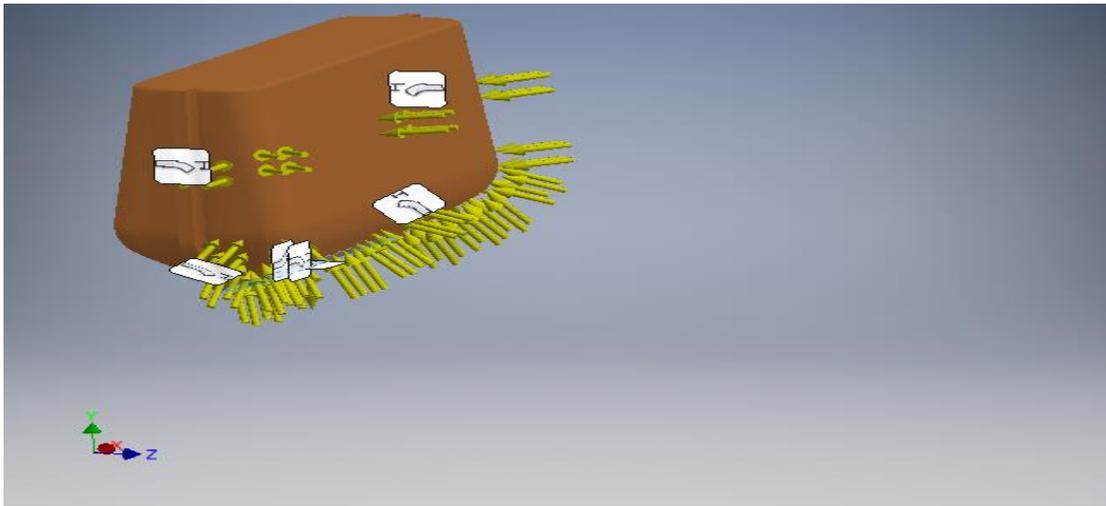


Figura22. Cara inferior de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

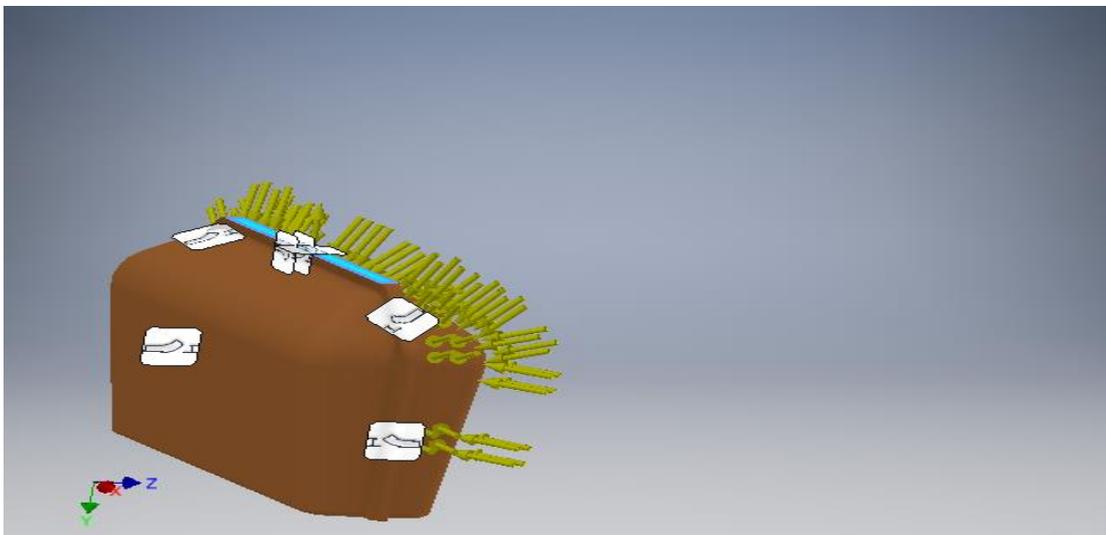


Figura23. Cara inferior de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

Restricción fija 1:

Restricción fija que nos indica que la puerta se encuentra anclada fijamente al hormigón como nos detalla la figura 24.

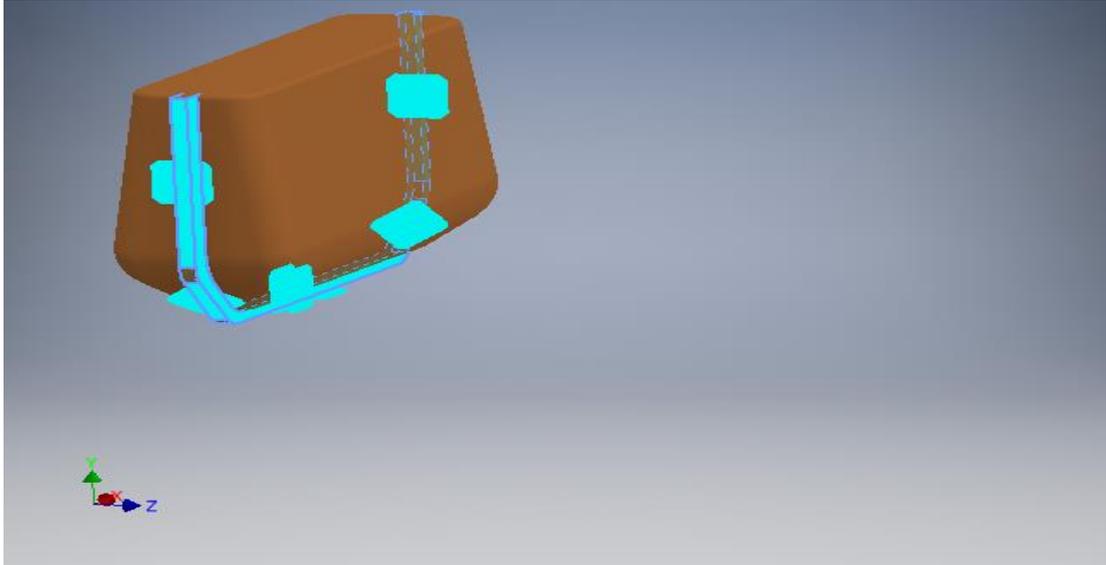


Figura24. Restricción 1. Fuente: (elaboración propia)

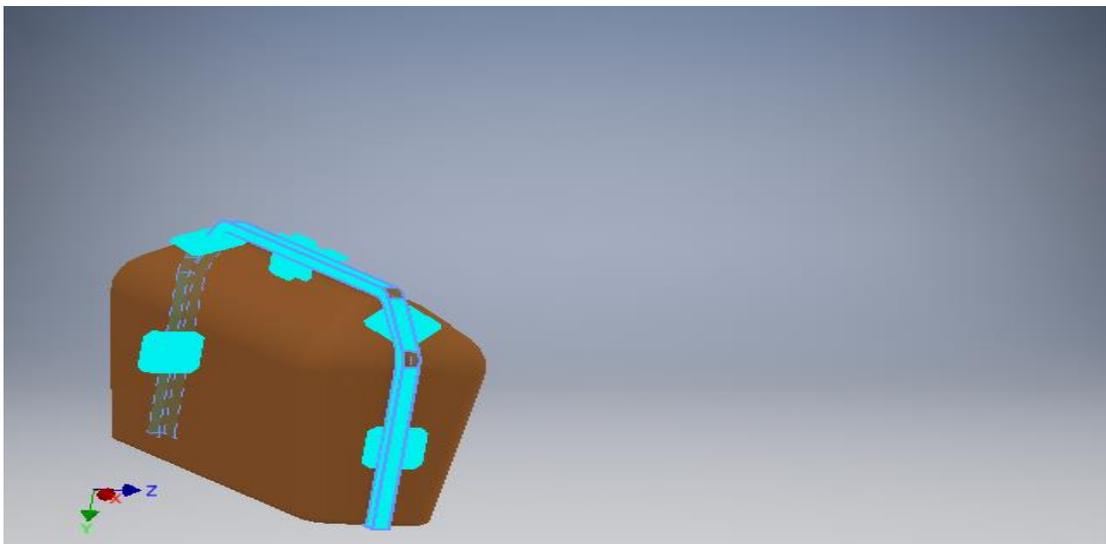


Figura25. Restricción 1. Fuente: (elaboración propia)

3.4 Tensión de Von Mises

En las figuras 26 y 27 se representa la tensión de Vom Mises calculada a partir de las tensiones principales de la puerta según la siguiente ecuación:

$$\sqrt{[(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2]/2} \quad (7)$$

En donde:

φ : Tensiones principales (MPa)

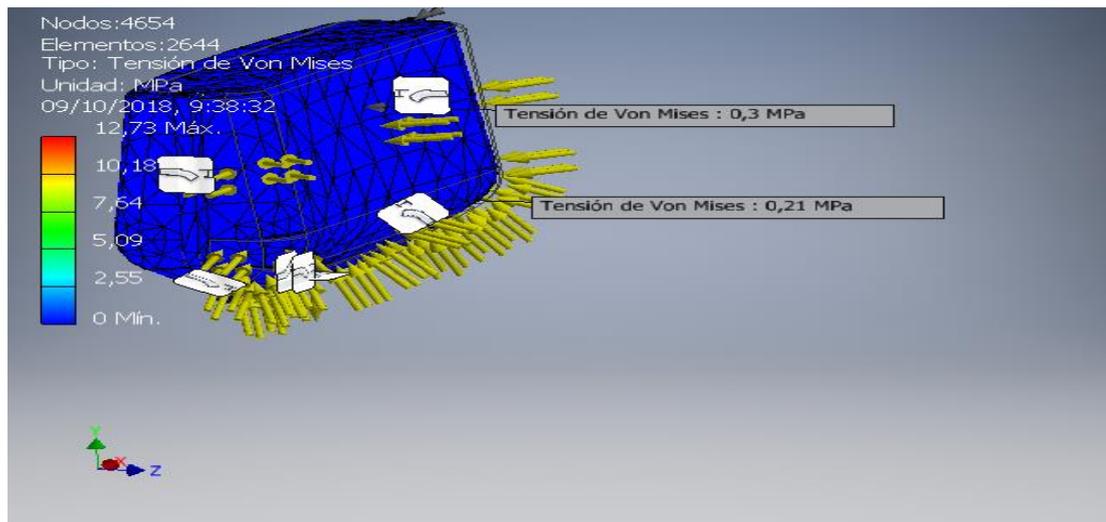


Figura26. Tensión de Von Mises. Fuente: (elaboración propia)

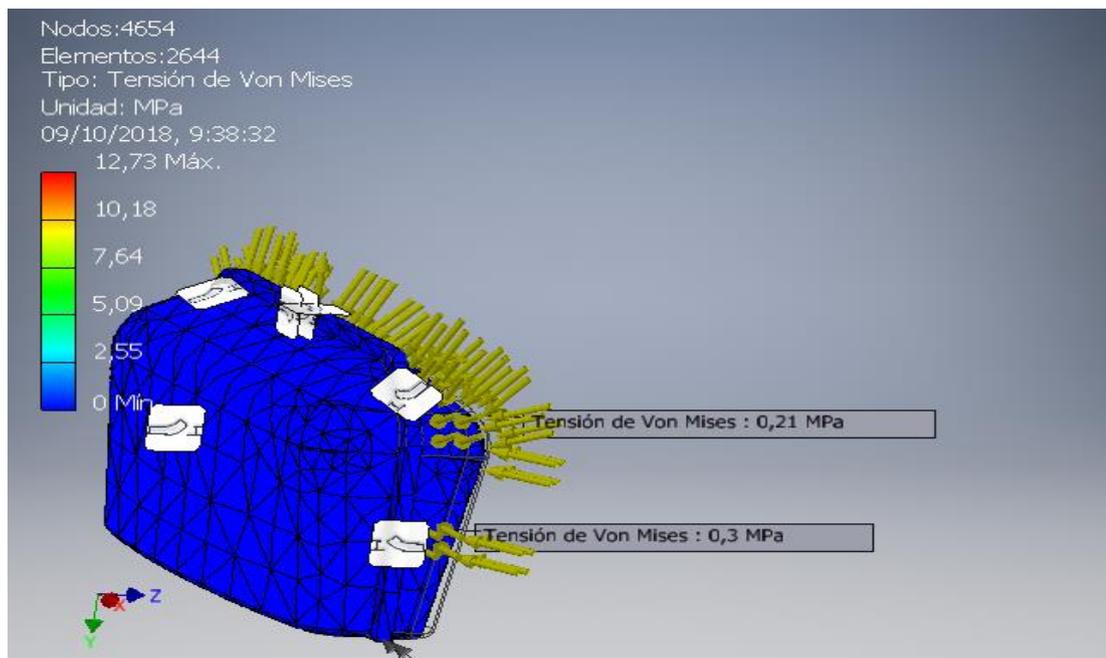


Figura27. Tensión de Von Mises. Fuente: (elaboración propia)

Primera tensión principal:

A continuación se calculan las tensiones principales a través de elementos finitos, necesarias para determinar la tensión de Von Mises, como nos muestran las figuras 28 y 29.

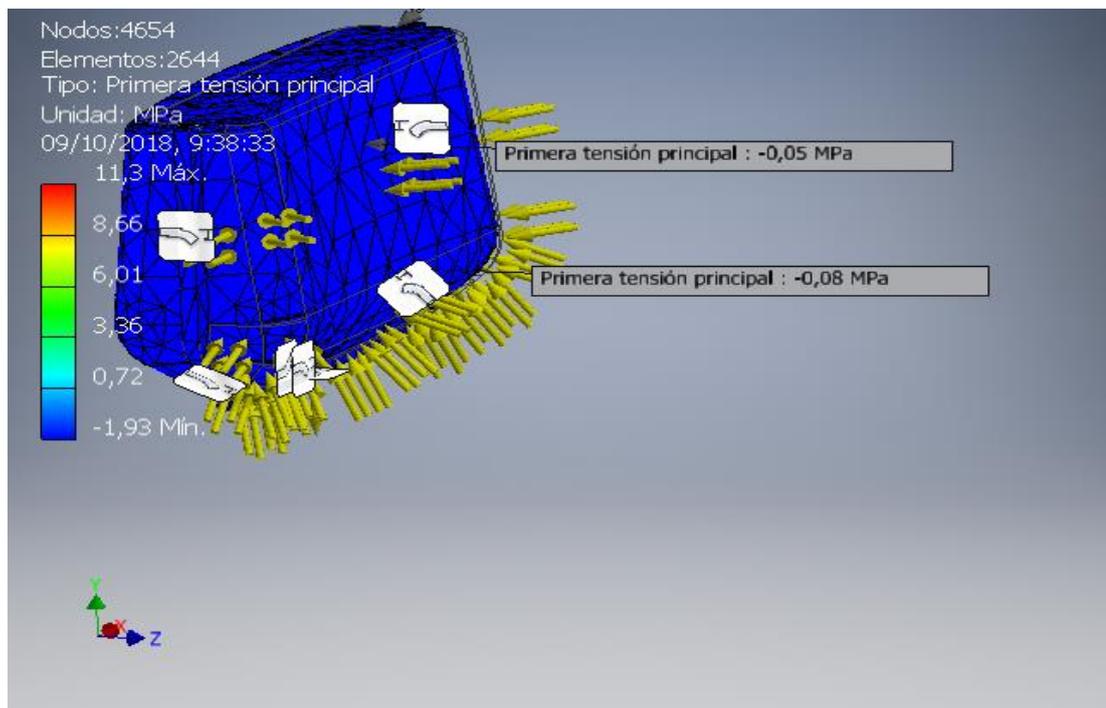


Figura28. Tensión principal 1. Fuente: (elaboración propia)

Tensión principal:

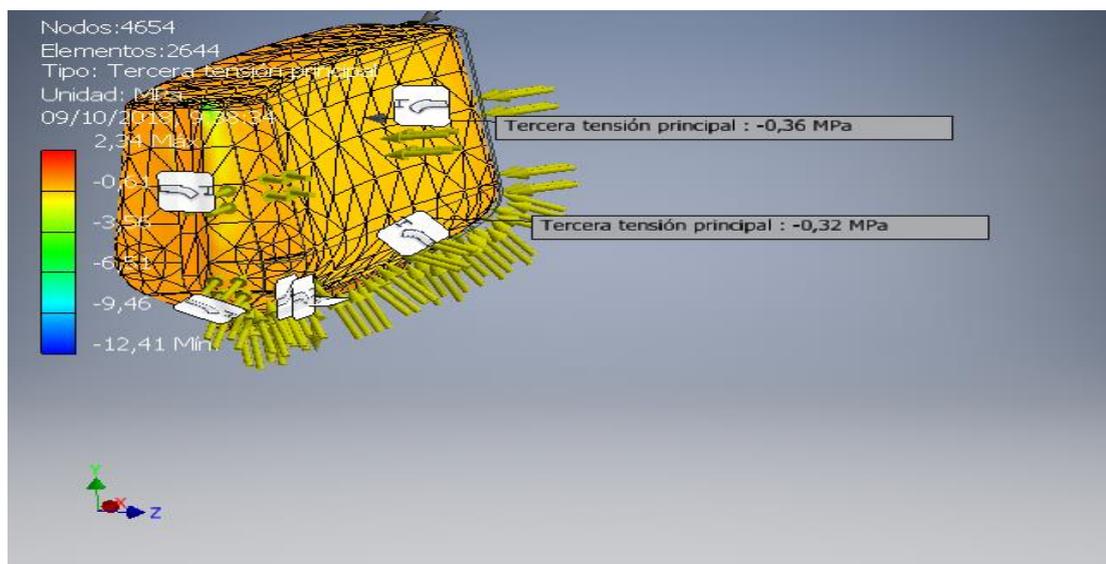


Figura29. Tensión principal. Fuente: (elaboración propia)

3.5 Desplazamiento:

La siguiente figura nos muestra, como el mayor desplazamiento se produce en la zona superior central, como se puede observar en la figura 30.

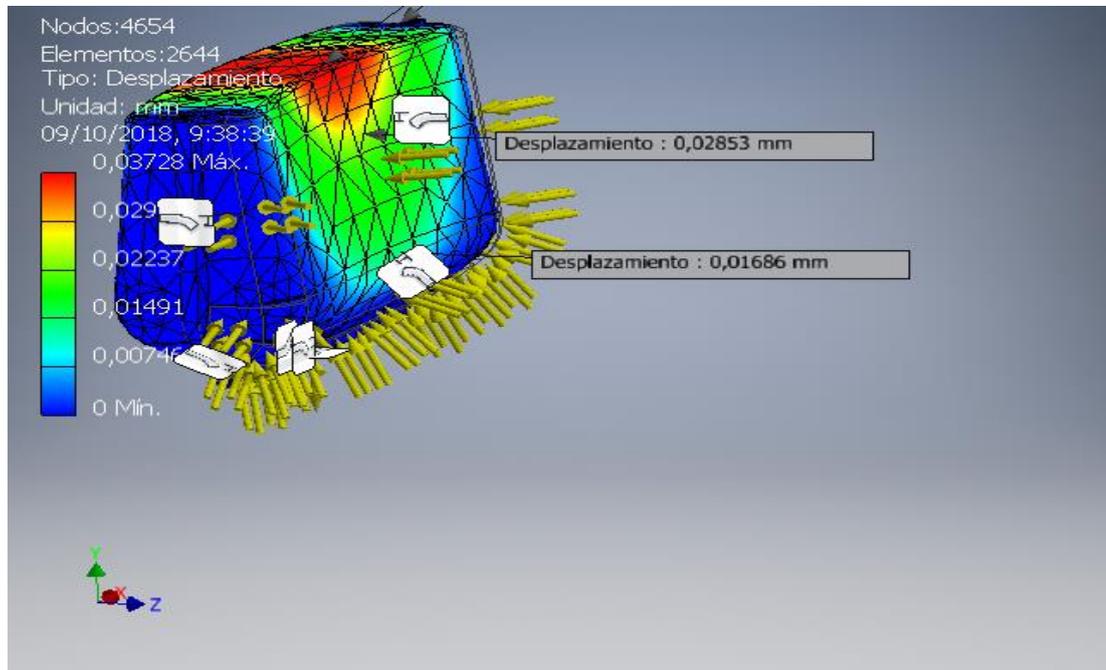


Figura30. Desplazamiento. Fuente: (elaboración propia)

3.6 Coeficiente de seguridad:

En la siguiente ilustración se muestra el coeficiente de seguridad (adimensional), que se requiere en todo cálculo estructural, como nos detalla la figura 31.

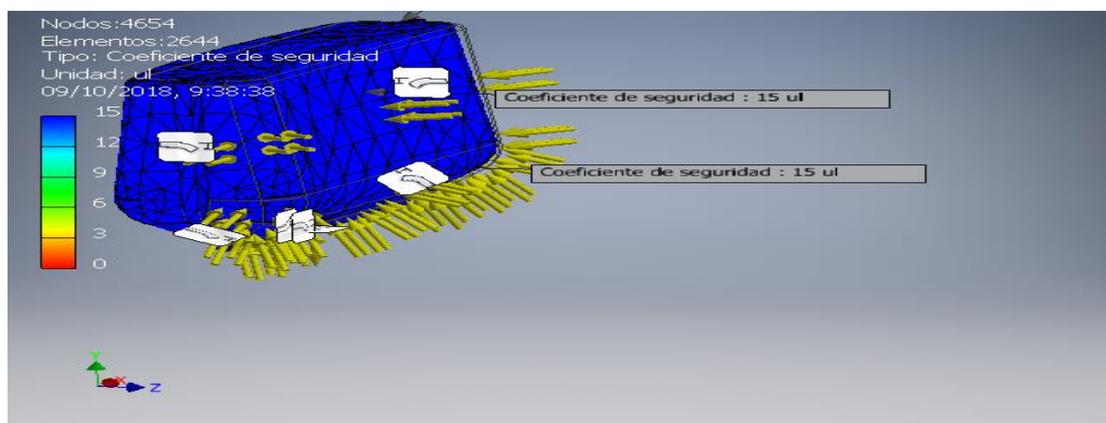


Figura31. Coeficiente de seguridad. Fuente: (elaboración propia)

3.7 Tensiones

En ésta sección vamos a tratar las tensiones que se van a generar en el interior de la puerta.

Tensión xx:

Tensión longitudinal de la puerta, que en éste caso es de compresión debido a la deformación de la misma, como se puede apreciar en la imagen 32 y 33.

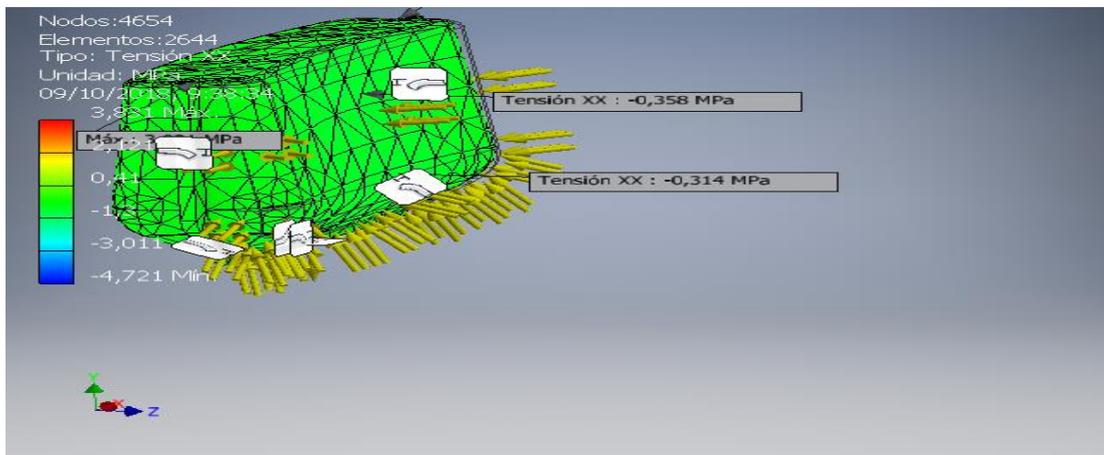


Figura32. Tensión xx.Fuente:(elaboración propia)

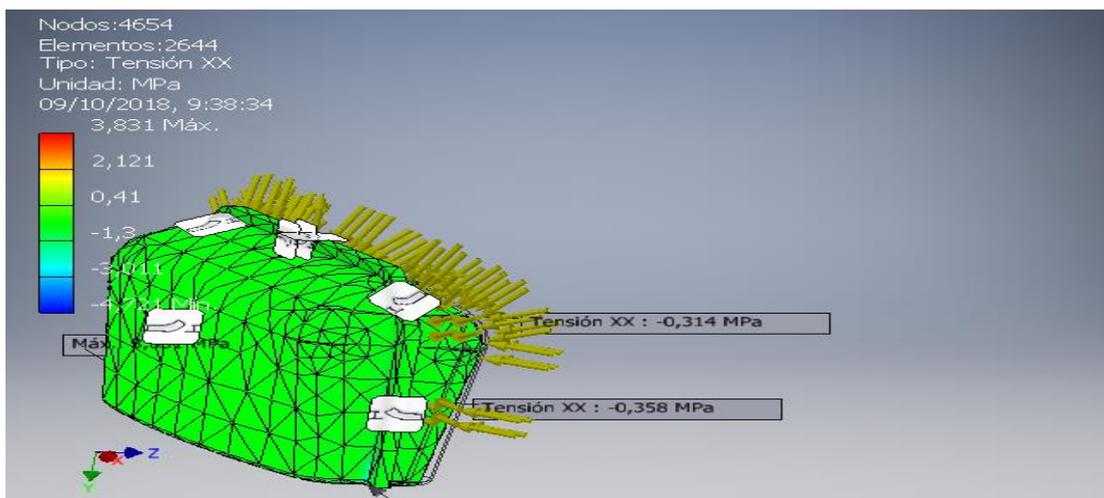


Figura33. Tensión xx.Fuente:(elaboración propia)

Tensión xy:

Las figuras 34 y 35 nos detallan la tensión cortante tangente al plano xy.

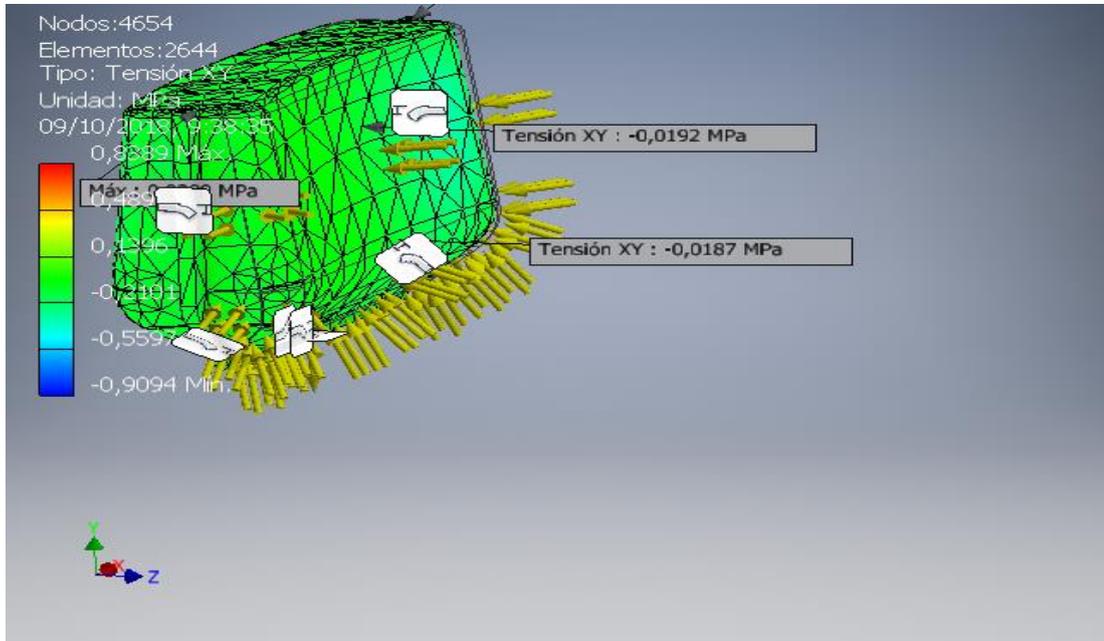


Figura34. Tensión XY. Fuente: (elaboración propia)

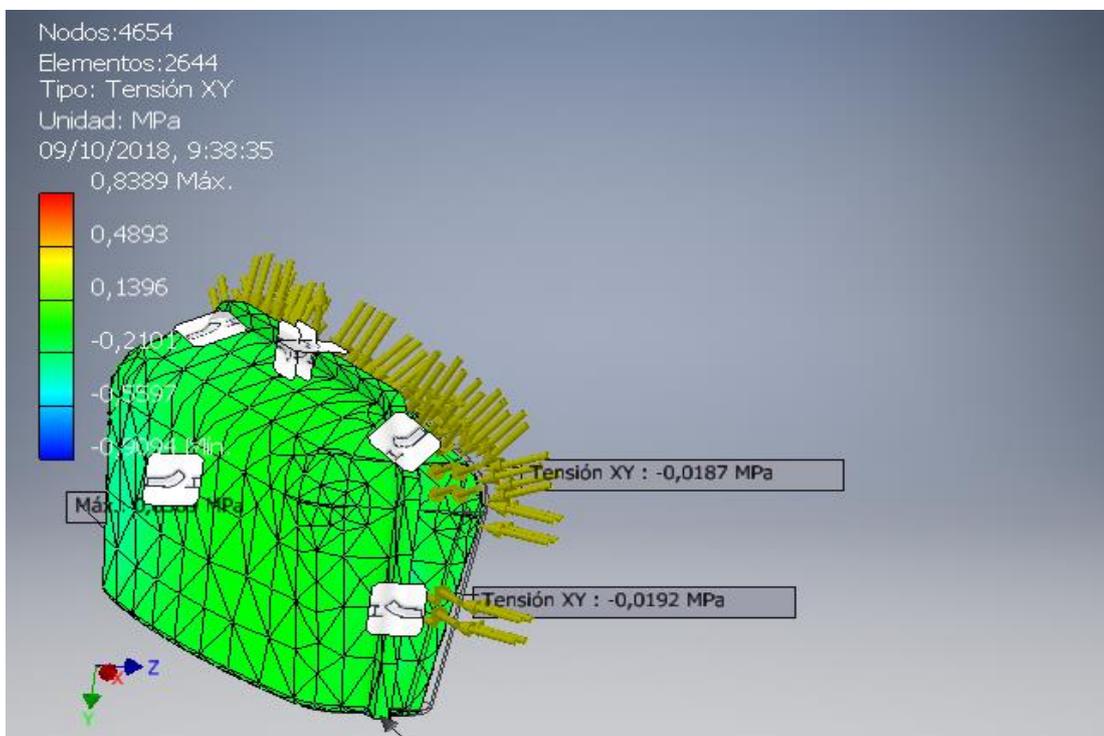


Figura35. Tensión XY. Fuente: (elaboración propia)

Tensión xz:

En la imagen 36 y 37 vemos la tensión cortante del plano xz.

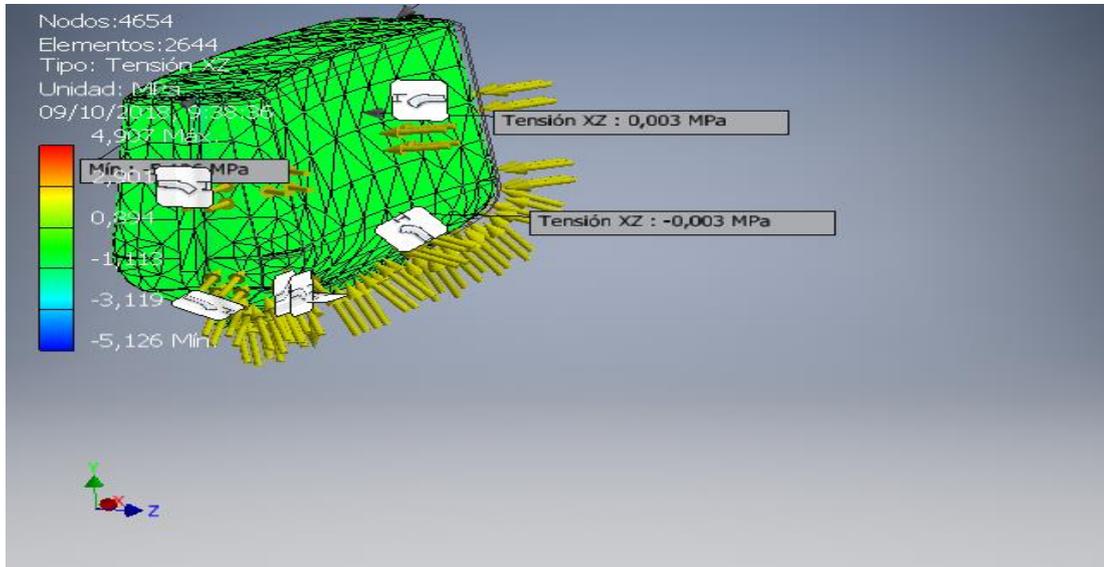


Figura36. Tensión XZ. Fuente: (elaboración propia)

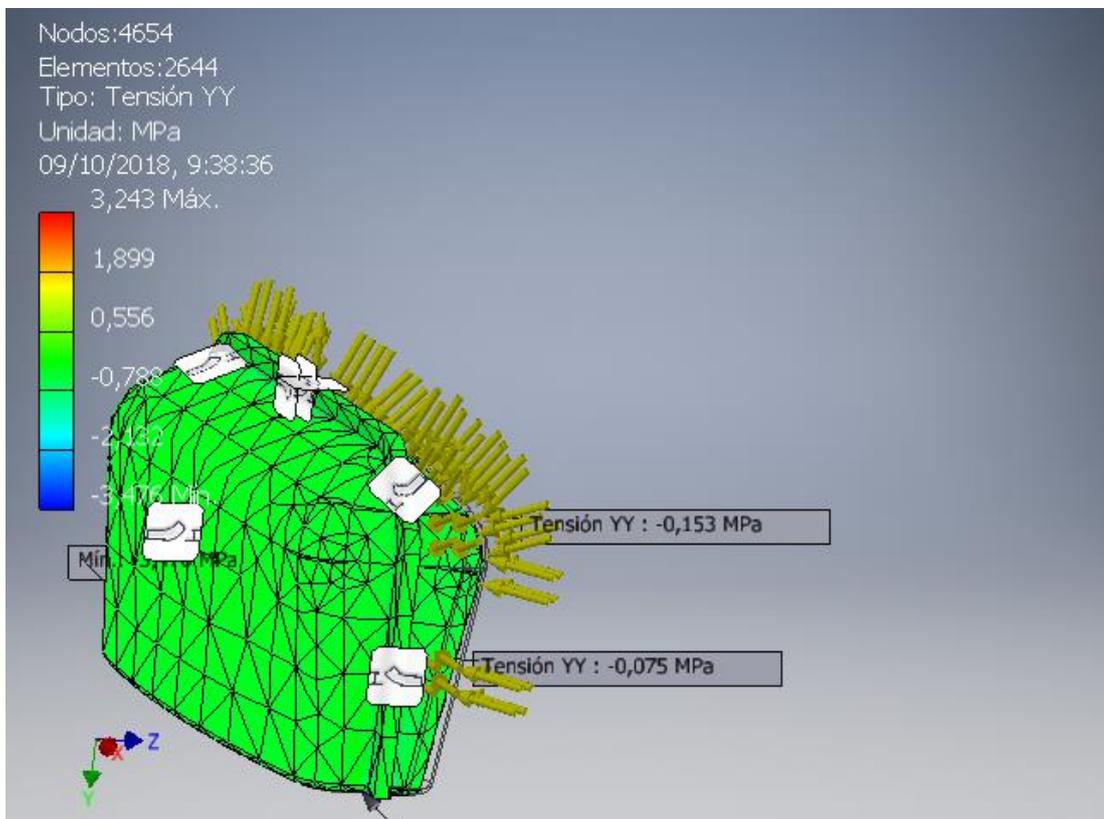


Figura37. Tensión XZ. Fuente: (elaboración propia)

Tensión yy:

El valor negativo (compresión) de la tensión en la dirección vertical de la puerta se puede apreciar en las figuras 38 y 39.

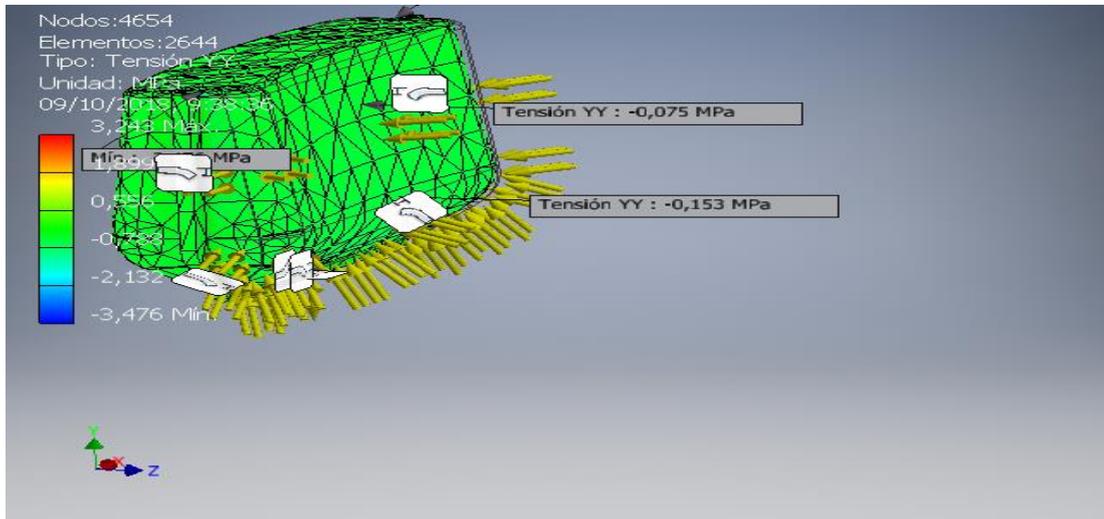


Figura38. Tensión YY. Fuente: (elaboración propia)

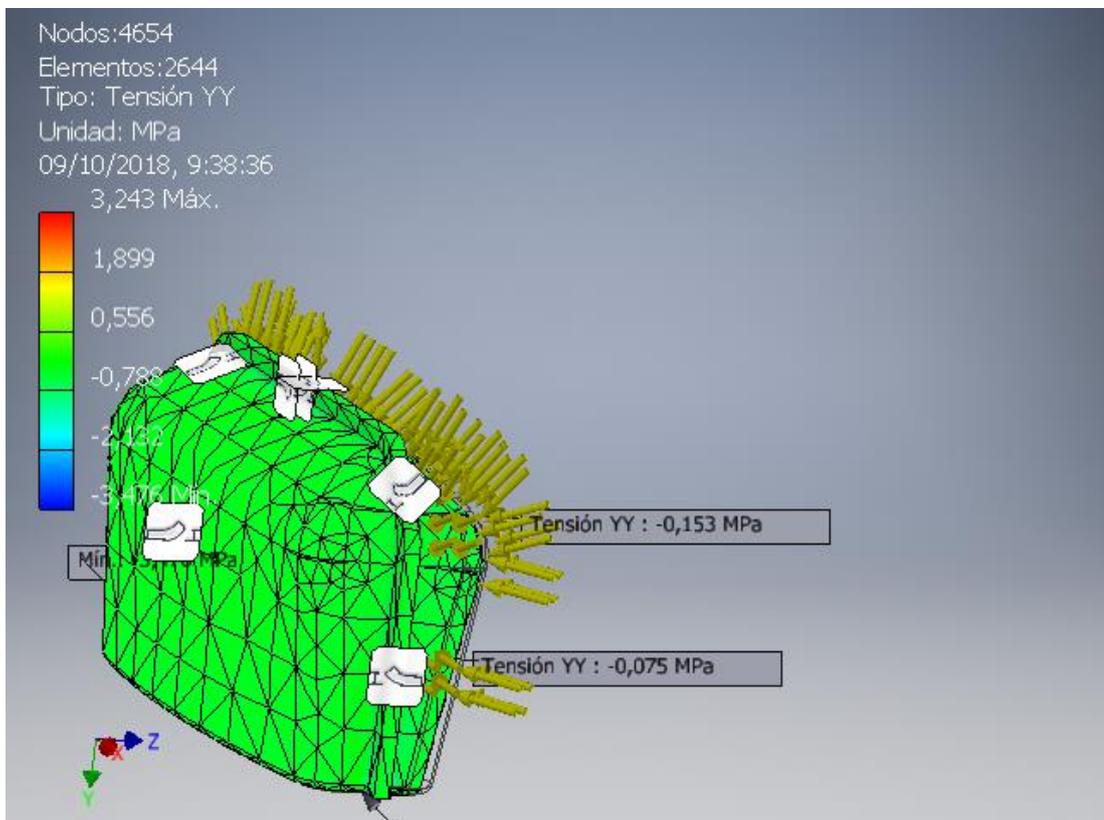


Figura39. Tensión YY. Fuente: (elaboración propia)

Tensión yz:

A continuación se presentan las vistas con el valor de la tensión cortante tangente al plano yz en las figuras 40 y 41

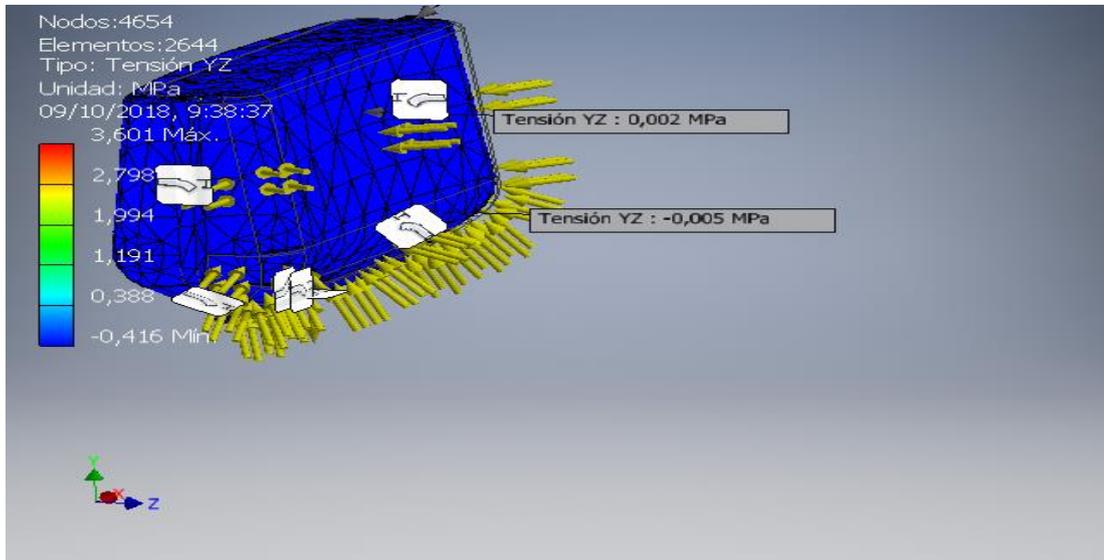


Figura40. Tensión YZ. Fuente: (elaboración propia)

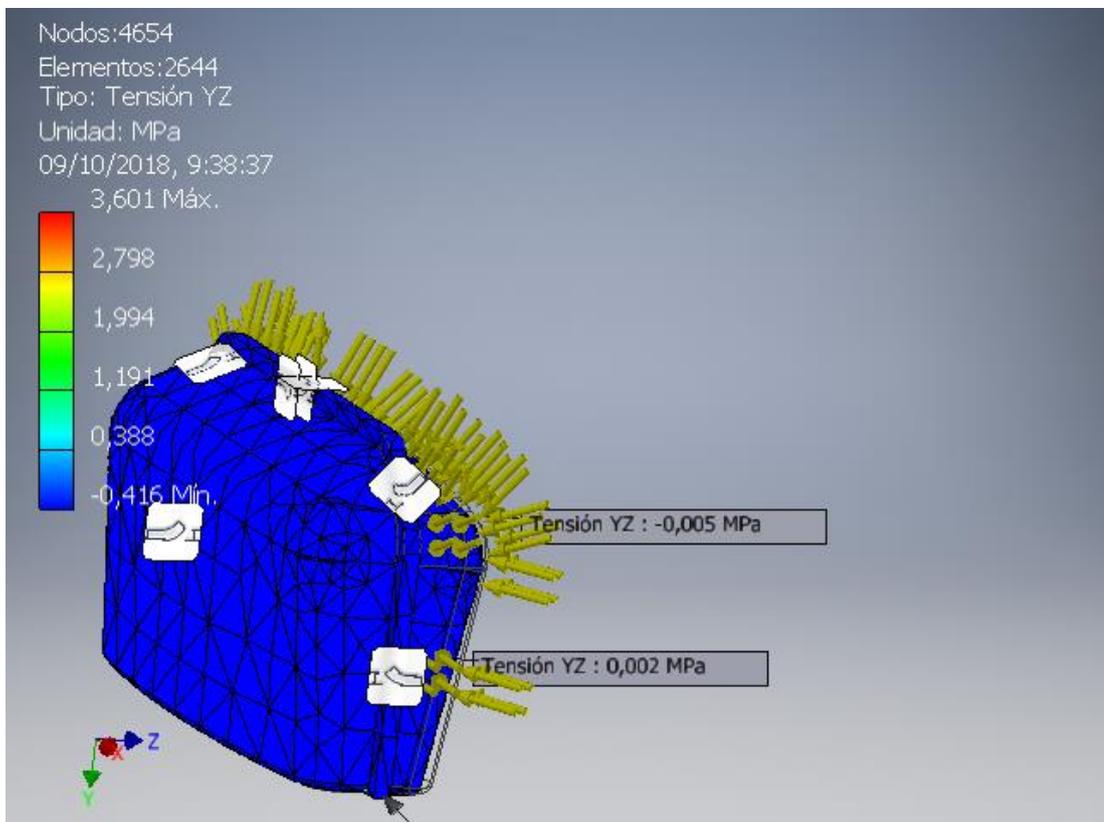


Figura41. Tensión YZ. Fuente: (elaboración propia)

Tensión zz :

Las figuras 42 y 43 presentan la tensión negativa en el eje z dada la flexión de la puerta.

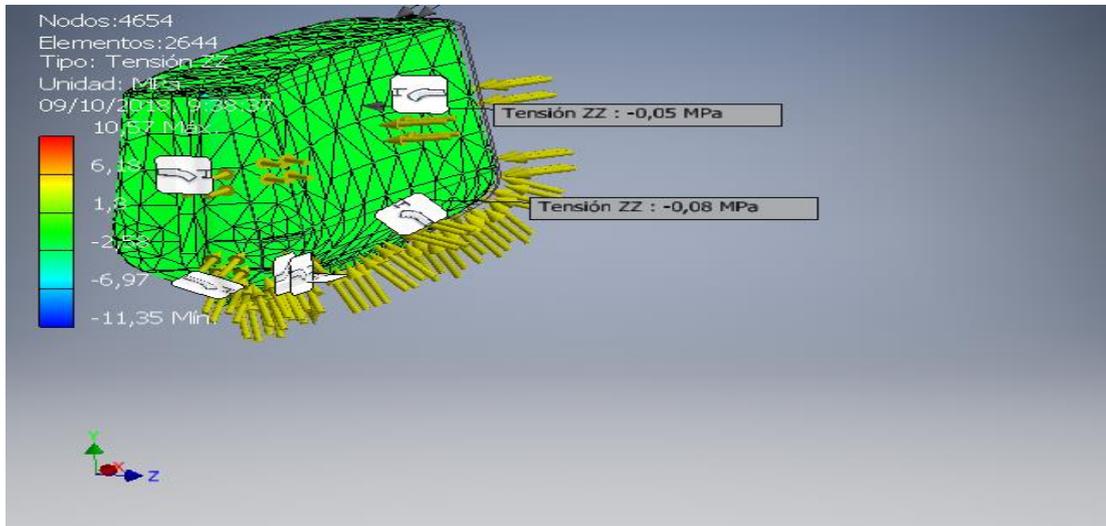


Figura42. Tensión ZZ. Fuente: (elaboración propia)

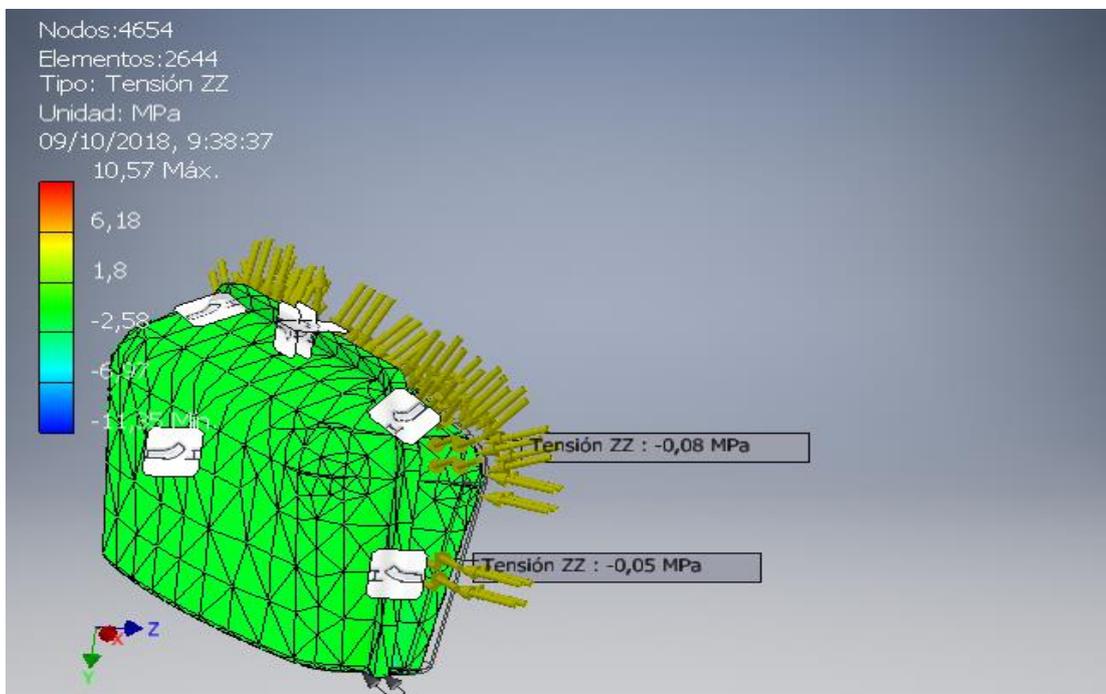


Figura43. Tensión ZZ. Fuente: (elaboración propia)

3.7 Desplazamientos

Desplazamiento en x:

Las figuras 44 y 45 muestran el incremento de la longitud en la dirección longitudinal de la puerta dada la deformación de la misma.

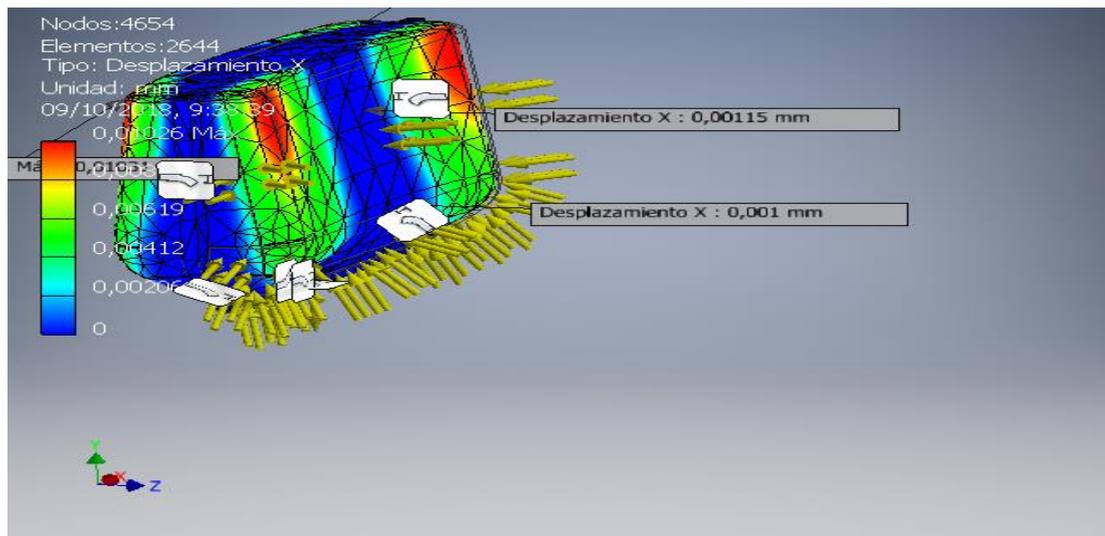


Figura44. Desplazamiento en X. Fuente: (elaboración propia)

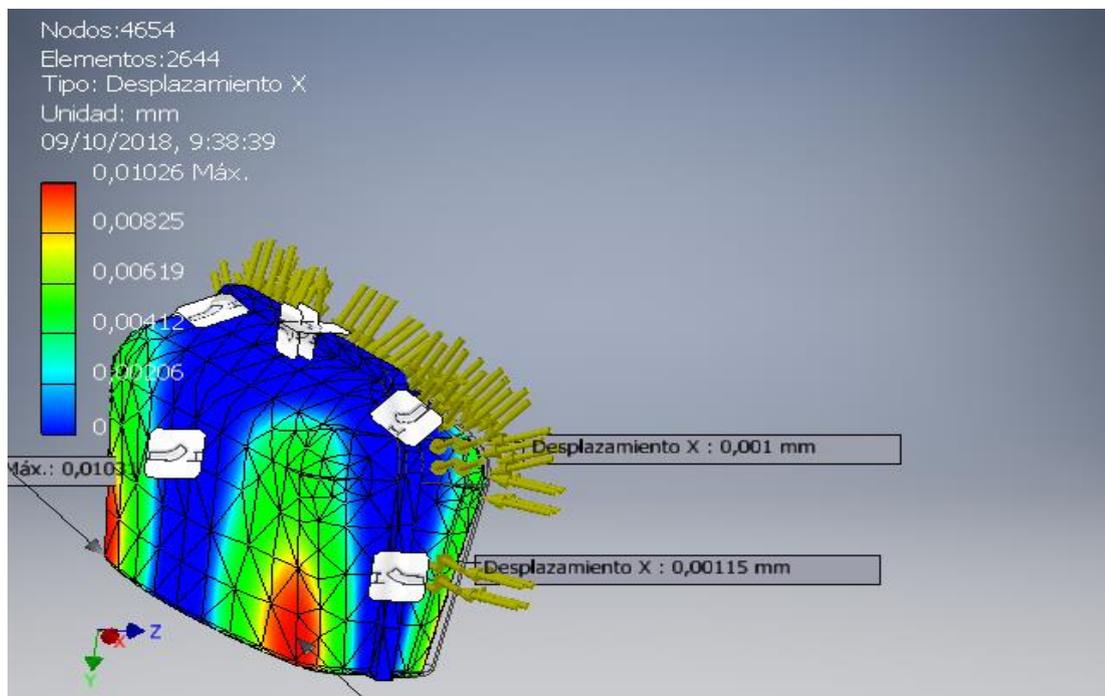


Figura45. desplazamiento en X. Fuente: (elaboración propia)

Desplazamiento en y:

Las figura 46 y 47 nos muestra el desplazamiento en la dirección y debido al peso de la puerta.

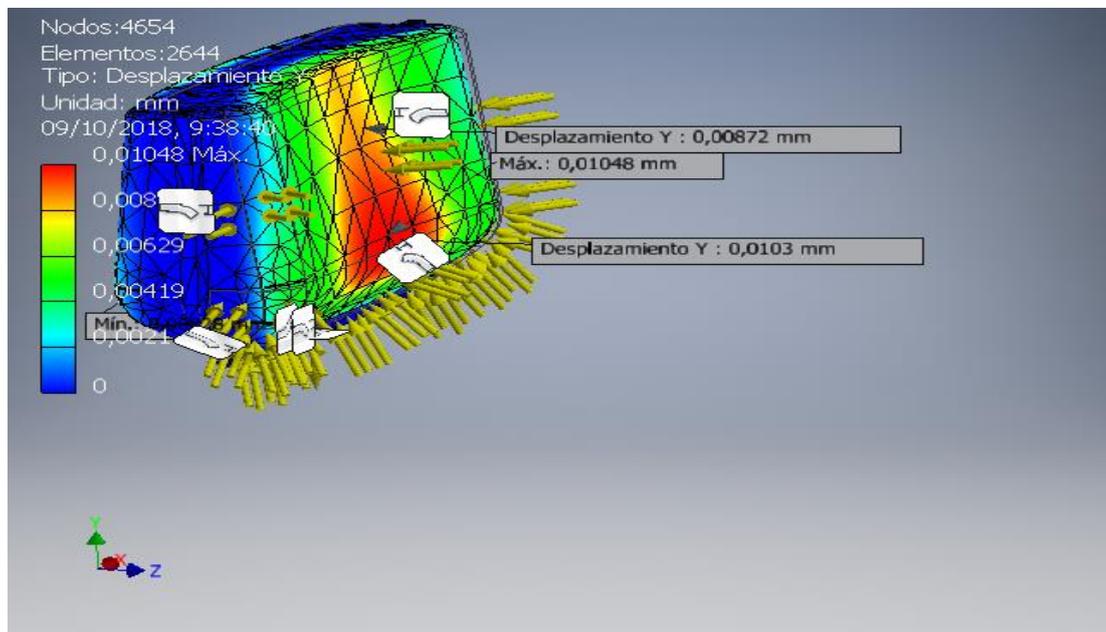


Figura46. Desplazamiento en Y. Fuente: (elaboración propia)

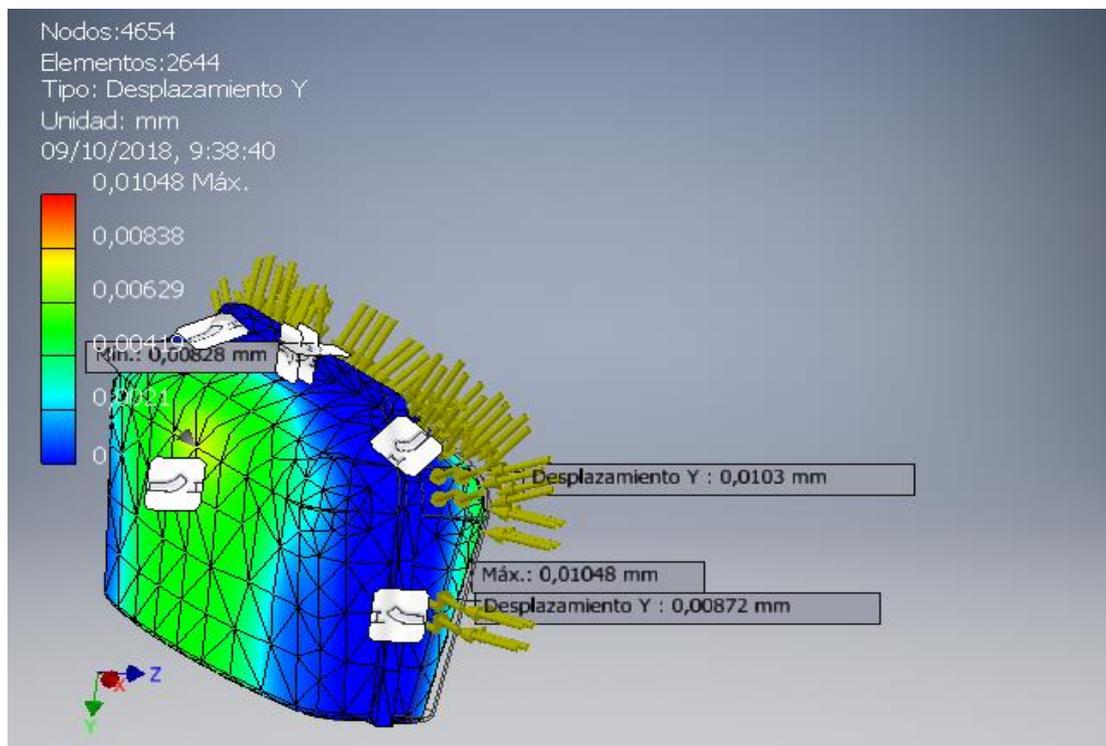


Figura47. Desplazamiento en Y. Fuente: (elaboración propia)

Desplazamiento en z:

A continuación se representa el desplazamiento que tiene lugar en la dirección z de la puerta consecuencia de la deformación por la presión hidrostática del agua, como podemos detallar en las figuras 48 y 49.

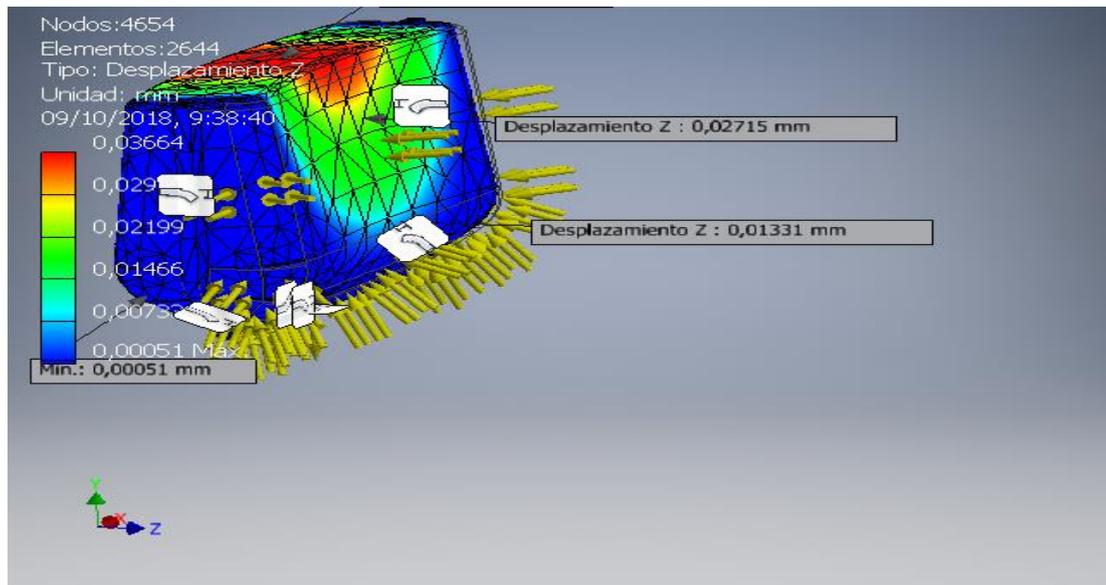


Figura48. Desplazamiento en Z. Fuente: (elaboración propia)

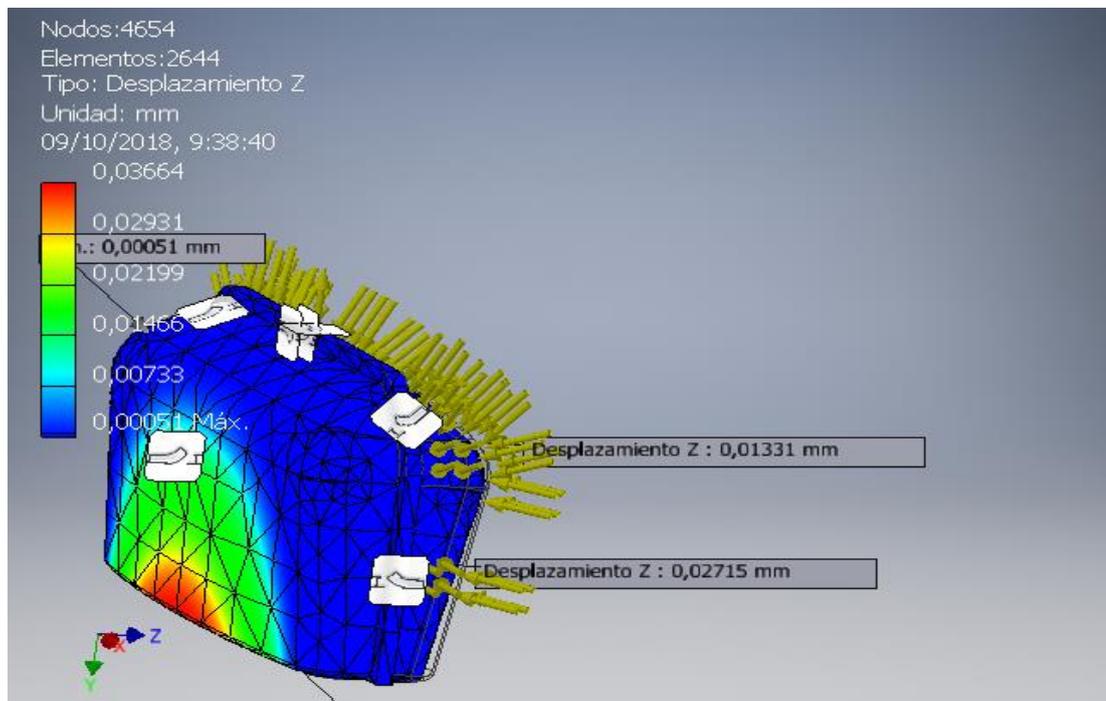


Figura49. Desplazamiento en z. Fuente: (elaboración propia)

3.8 Deformaciones

Deformación equivalente:

La figura 50, nos muestra la deformación que sufre la puerta según la ecuación:

$$\epsilon = \Delta l / l_0 \quad (8)$$

En donde :

ϵ : Deformación unitaria (%)

Δl : Incremento de longitud (mm)

l_0 : Longitud inicial (mm)

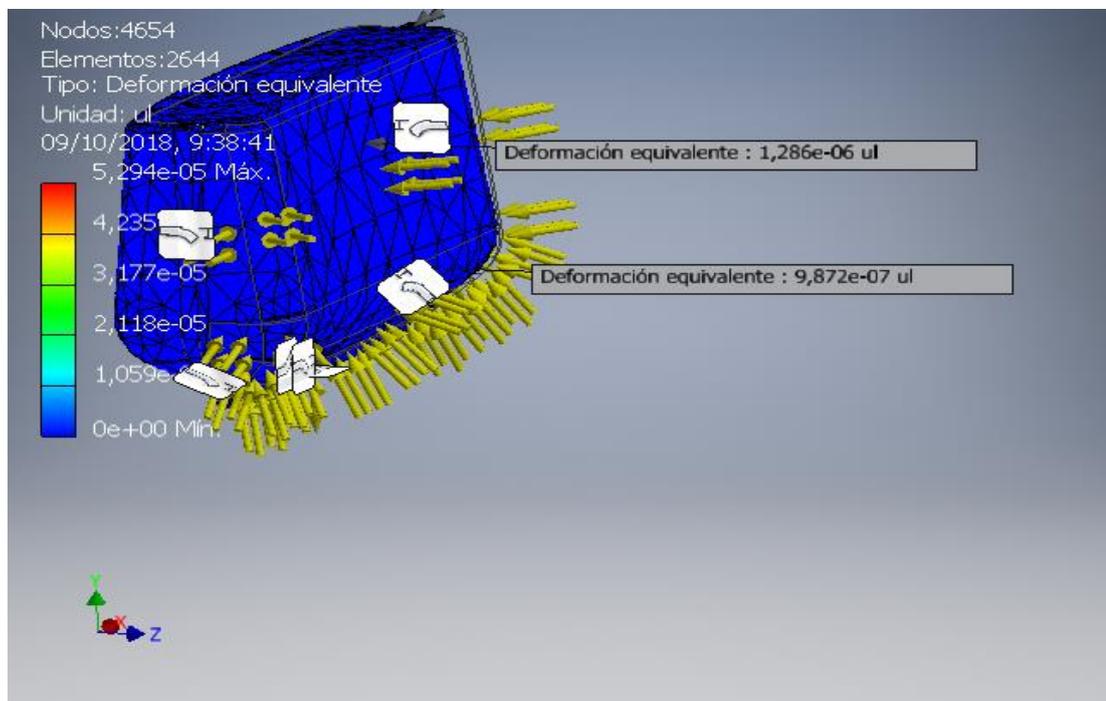


Figura50. Deformación equivalente.Fuente: (elaboración propia)

Primera deformación principal:

La figura 51 hace referencia a la deformación debida a la tensión principal de Mohr.

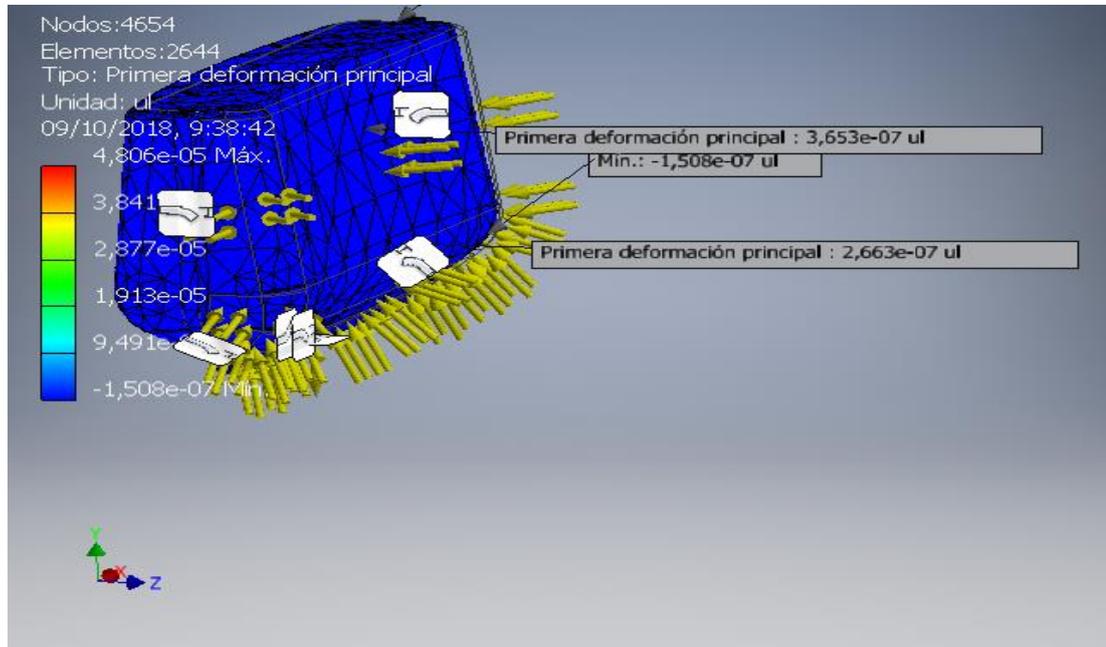


Figura51. Deformación principal. Fuente : (elaboración propia)

Segunda deformación principal:

A continuación vemos el resultado obtenido de la deformación a partir de la tensión principal usando métodos finitos, como se aprecia en la figura 52.

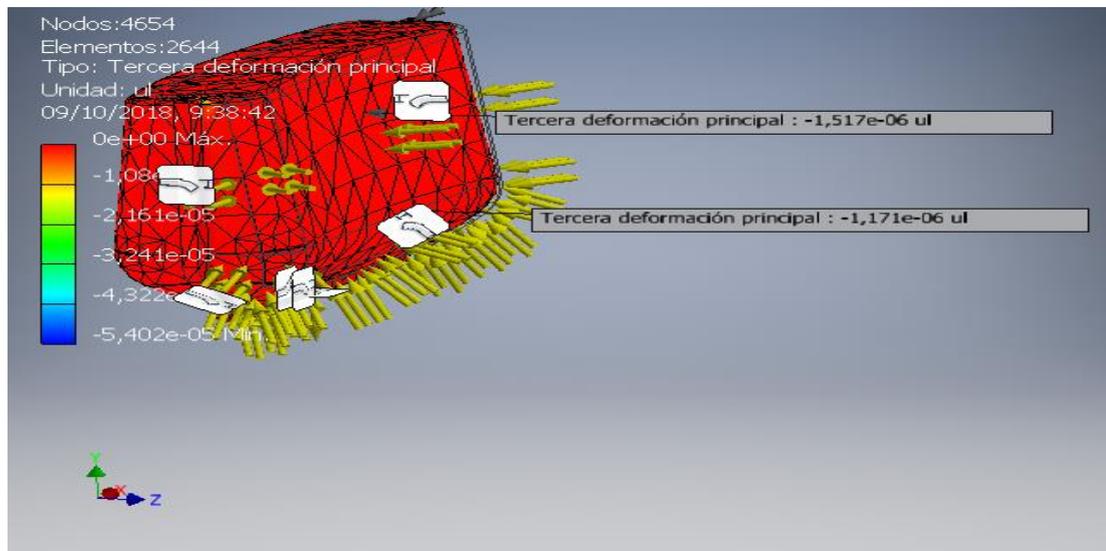


Figura52. Deformación principal 2. Fuente: (elaboración propia)

Deformación xx:

Imagen de la deformación producida por la cortante xx según las figuras 53 y 54.

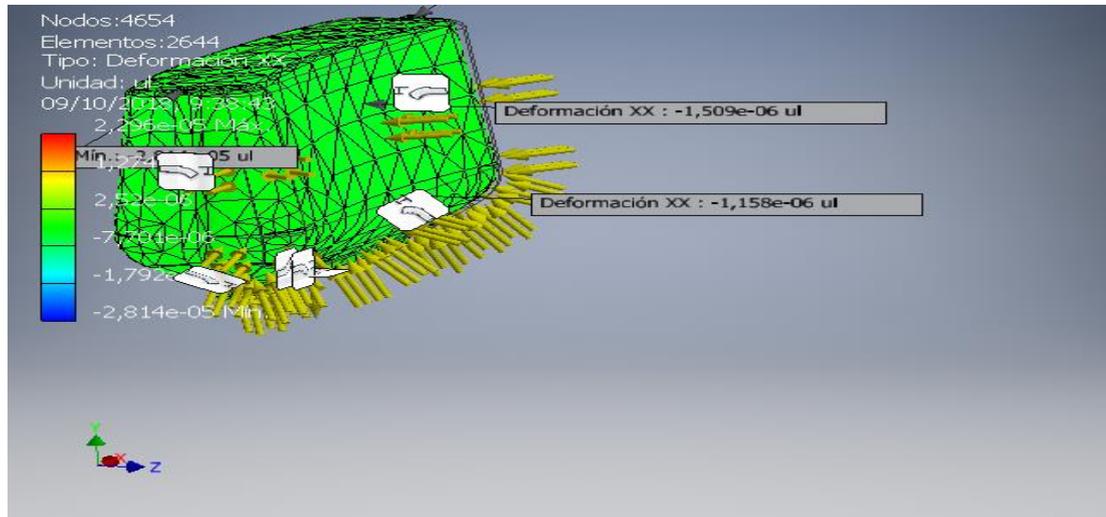


Figura53. Deformación xx. Fuente: (elaboración propia)

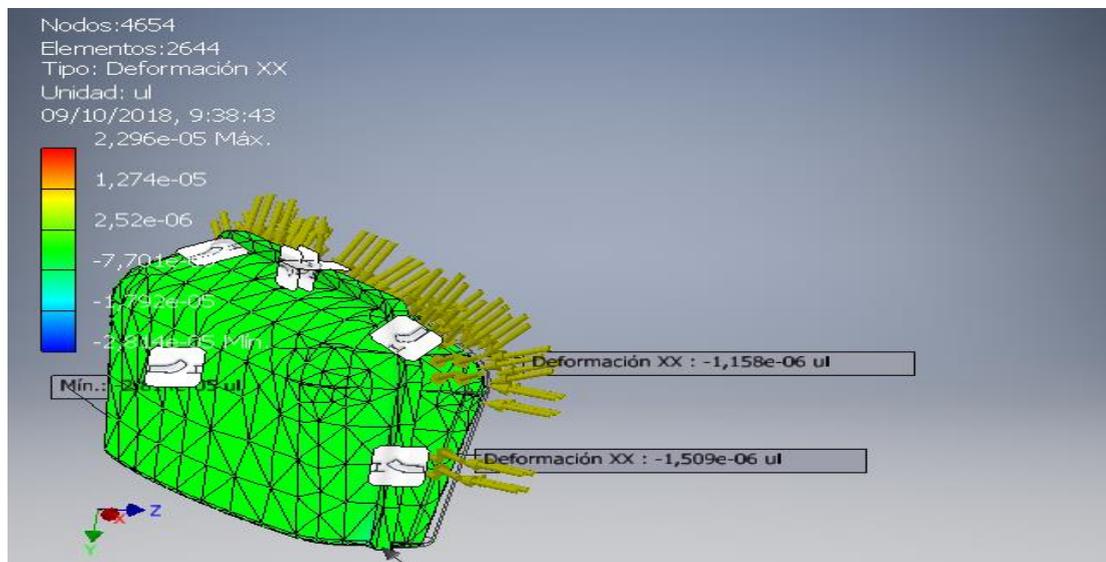


Figura 54. Deformación XX. Fuente: (elaboración propia)

Deformación xy:

El valor que adquiere la deformación producida por la tensión cortante xy, se puede ver en las figuras 55 y 56.

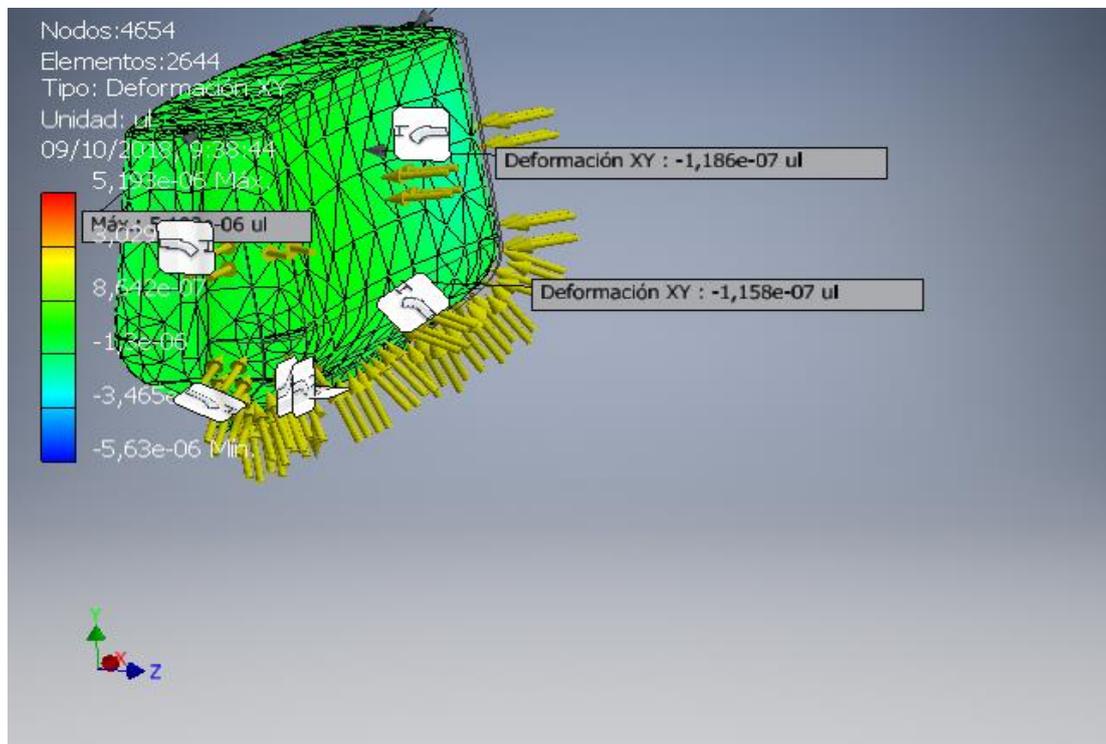


Figura 55. Deformación XY. Fuente: (elaboración propia)

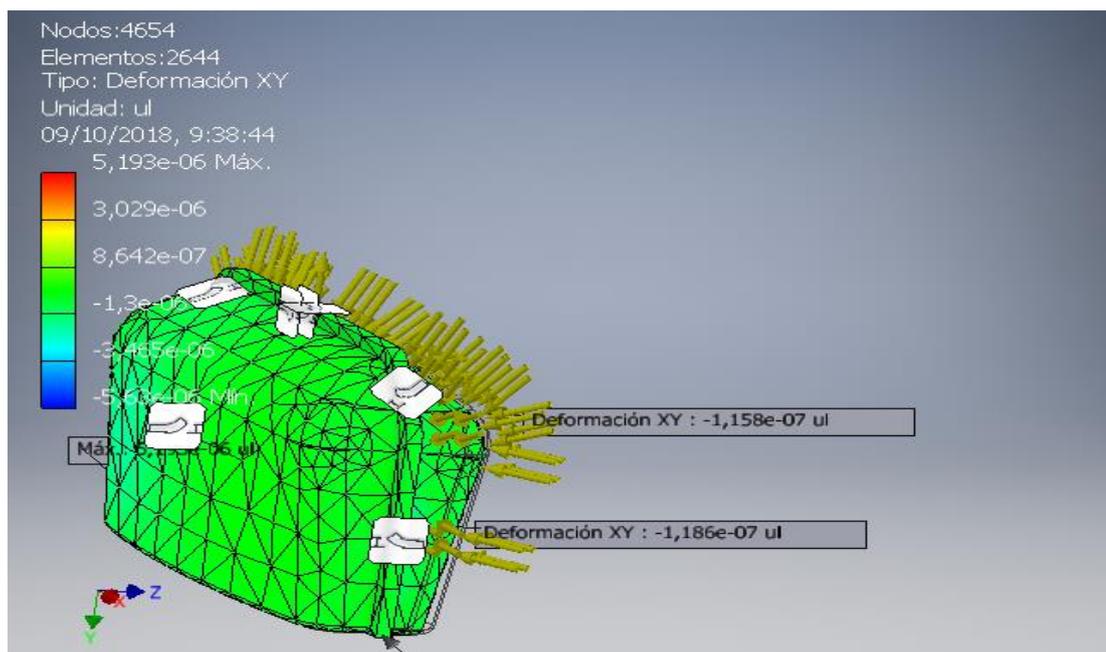


Figura 56. Deformación XY. Fuente: (elaboración propia)

Deformación xz:

Deformación causada por la tensión cortante xz, según las figuras 57 y 58.

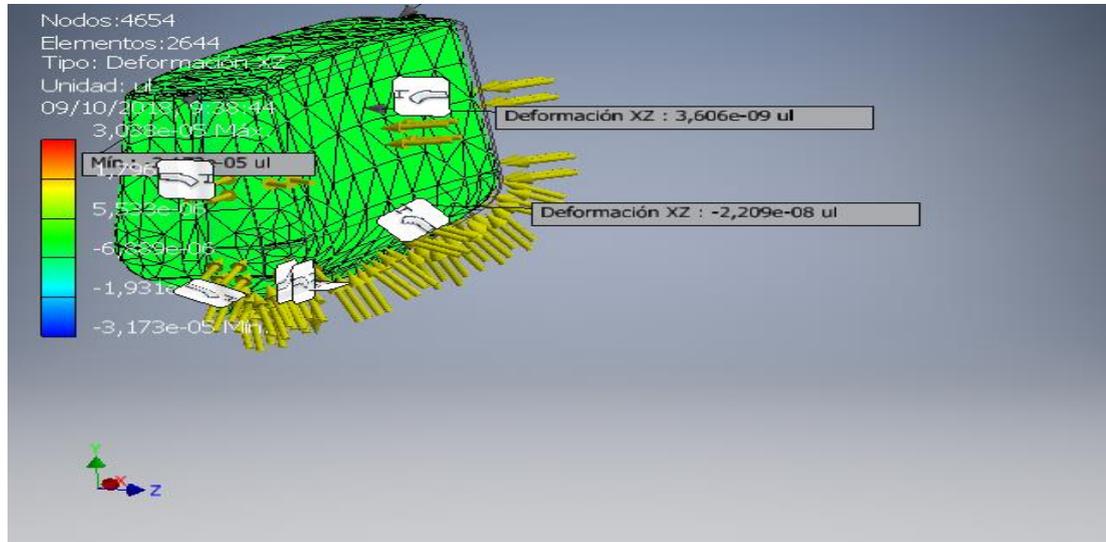


Figura 57. Deformación XZ. Fuente: (elaboración propia)

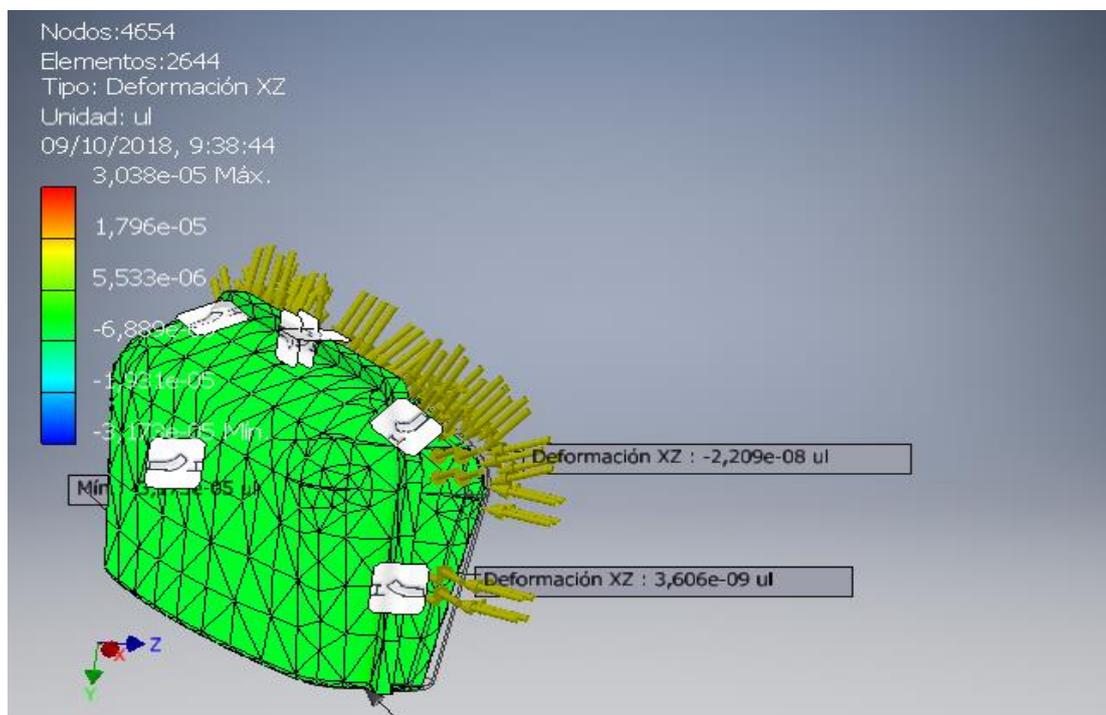


Figura 58. Deformación XZ. Fuente: (elaboración propia)

Deformación yy:

Las figuras 59 y 60 nos enseñan el valor de la deformación causada por la tensión en la dirección YY.

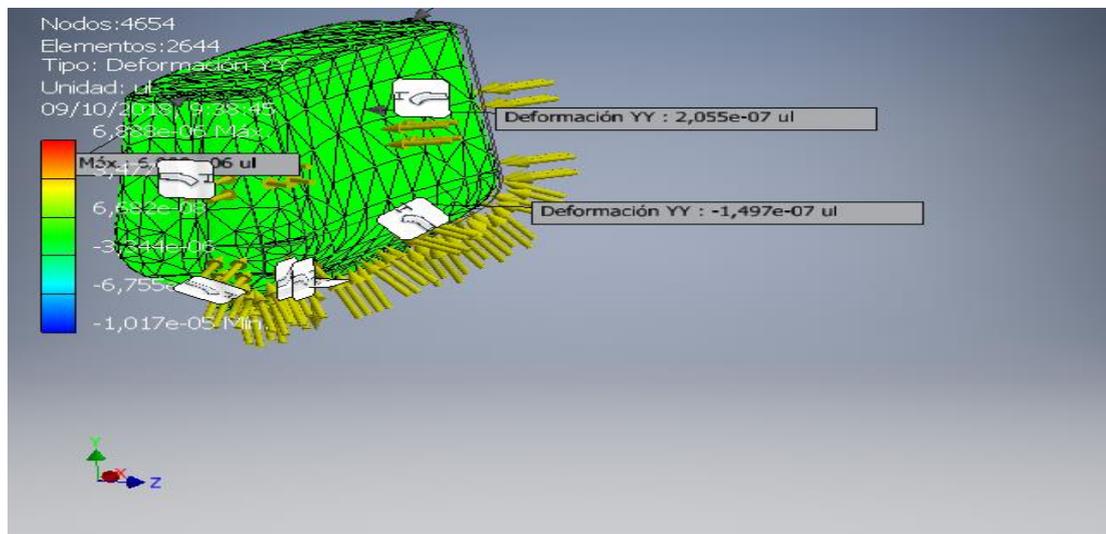


Figura 59. Deformación YY. Fuente: (elaboración propia)

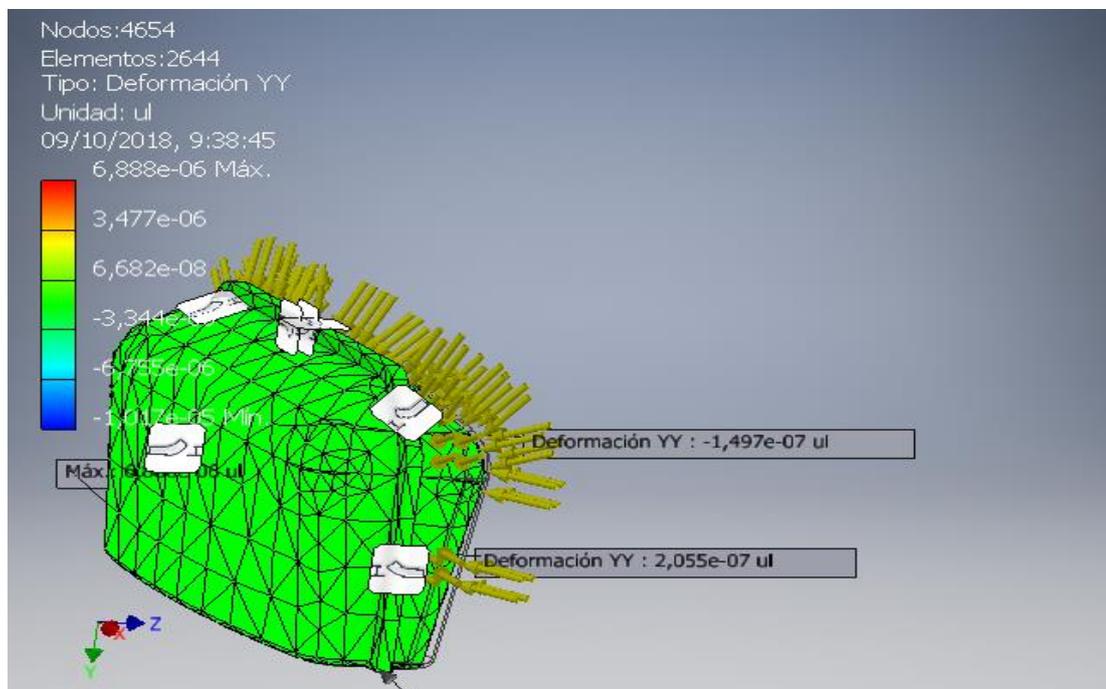


Figura 60 deformación YY. Fuente: (elaboración propia)

Deformación yz:

Deformación causada por la cortante YZ, que se puede observar en la figura 61

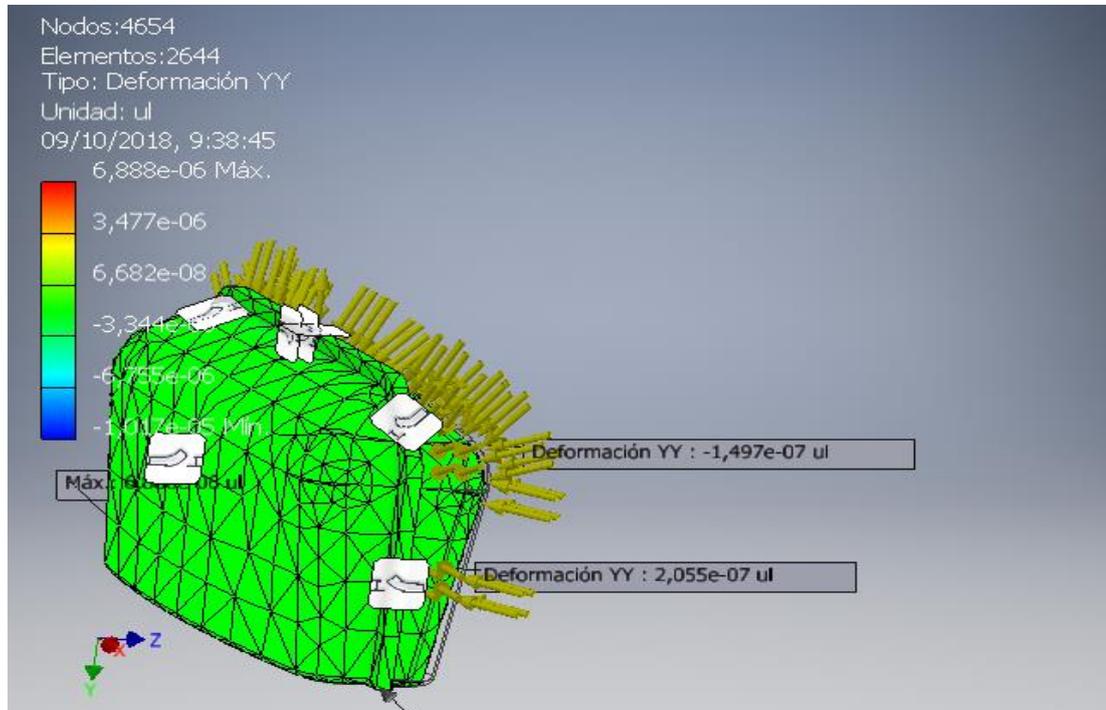


Figura 61. Deformación YZ. Fuente :(elaboración propia)

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados: Fuerza y pares de reacción en restricciones:

Nos referimos a restricción como el anclaje al cemento de la puerta del Dique, y como nuestra puerta del Dique se encuentra sometida a una presión hidrostática, se generará un par de fuerzas, cuyo valor será mayor en las restricciones de la puerta debido al incremento de la distancia. En nuestro caso, al producirse la mayor deformación en la parte superior central de la puerta, el par mayor lo obtendremos con respecto al eje longitudinal de la puerta. Los valores se recogen en la tabla 10.

Tabla 10. Pares de reacciones en restricciones. Fuente: (elaboración propia)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	10878500 N	7182,8 N	19798100 N m	16123000 N m
		-3595420 N		-10849200 N m
		10267200 N		-3782550 N m

4.2 Resumen de resultados

A modo de resumen, podemos decir, que de los datos obtenidos de la tabla 11, nos serán de gran utilidad, la tensión principal de 11,3 megapascales, el desplazamiento (y) de 0.0104 mm y la tercera deformación principal.

Tabla 11. Resumen de resultados. Fuente: (Elaboración propia)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	7,66507E+11 mm ³	
Masa	6017080 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	12,7276 MPa
Primera tensión principal	-1,92821 MPa	11,3022 MPa
Tercera tensión principal	-12,4083 MPa	2,33628 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0372825 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-4,72087 MPa	3,83085 MPa
Tensión XY	-0,909402 MPa	0,838932 MPa
Tensión XZ	-5,1261 MPa	4,90717 MPa
Tensión YY	-3,47624 MPa	3,2434 MPa

Tensión YZ	-0,415803 MPa	3,60099 MPa
Tensión ZZ	-11,3478 MPa	10,5657 MPa
Desplazamiento X	-0,0103107 mm	0,0102587 mm
Desplazamiento Y	-0,00828351 mm	0,0104765 mm
Desplazamiento Z	-0,0366427 mm	0,000511155 mm
Deformación equivalente	0 su	0,0000529431 su
Primera deformación principal	-0,000000150841 su	0,0000480562 su
Tercera deformación principal	-0,0000540233 su	0 su
Deformación XX	-0,000028144 su	0,0000229627 su
Deformación XY	-0,00000562963 su	0,00000519339 su
Deformación XZ	-0,000031733 su	0,0000303778 su
Deformación YY	-0,0000101652 su	0,00000688815 su
Deformación YZ	-0,00000257402 su	0,0000222918 su
Deformación ZZ	-0,000046687 su	0,0000434972 su

4.3 Análisis

Como resultado del análisis, obtenemos que:

$$E = \varphi / \epsilon \quad (9)$$

Siendo :

E: módulo elástico del acero(210GPa)

φ : Tercera tensión principal (12.3MPa)

ϵ : Tercera deformación principal (0,0000540233)

De los valores mencionados sacamos que:

$$210 \cdot 10^9 < 2,27 \cdot 10^{11} \text{ (Pascales)}$$

Por lo tanto nuestra puerta no sufrirá rotura.

La mayor deformación de la misma se producirá en la zona superior central como vemos en la siguiente Figura comparativa:

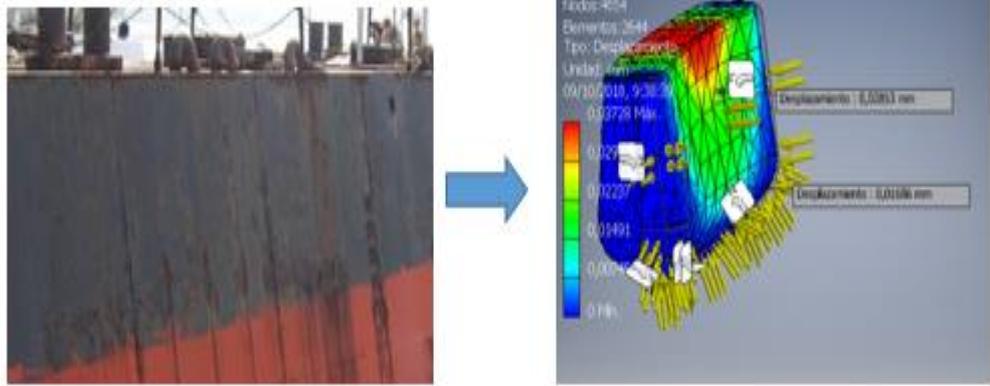


Figura 62. Parte crítica de la puerta. Fuente: (elaboración propia)

CAPÍTULO: 5 CONCLUSIONES

5.1 conclusiones

En virtud del estudio realizado con el propósito de encontrar el punto crítico de la puerta, podemos establecer las siguientes conclusiones:

- Será necesario acortar los periodos de revisión, sobre todo en temporadas de mar fuerte, donde la rotura por fatiga podría suceder dada la debilidad de la puerta en el punto crítico.
- Aplicar una capa de imprimación y pintura correcta en la zona más crítica de la puerta debido a que será una zona muy susceptible de formación de grieta y con la consiguiente entrada de agua salada, iniciará un proceso corrosivo acelerado por la existencia de cloruros que acortará la vida útil de la puerta, pudiendo llegar a una rotura por fatiga de la cara que se encuentra mirando al mar .
- Empleo de chorreado adecuado en toda la puerta, haciendo énfasis en la zona crítica, especialmente en el cambio de sección, siendo éste lugar complicado para su aplicación.

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

6.1 Bibliografía

- [1] “Noticias” disponible en: (<https://www.lasexta.com/>) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [2] “Curso de fundamentos de ciencias materiales” disponible en: (https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/trb12_2.html) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [3] “Cinética de la corrosión” disponible en: (<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8231/1/CorrTema5.pdf>) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [4] M. V. Biezma, “The role of Hydrogen in Microbiologically Influenced Corrosion and Stress Corrosion Cracking” disponible en: (Universidad de Cantabria) accediso entre mayo y noviembre del 2018.
- [5] W.D. Callister, (2009) “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”. Ed. Limusa. Méjico.
- [6] ACOSTADO, B. “Procesos de pintura en los buques mercantes”. Universidad de La Laguna. 2016.
- [7] M.V.Biezma.Moraleda “Ciencia y Tecnología de los Materiales”. Grado en Ingeniería Marítima. Curso Tercero. Universidad de Cantabria.2016.
- [8] E.Otero Huerta, (2001) “Corrosión y degradación de materiales”. Ed.Síntesis.España.
- [9] BERMEJO, P. “Tratamiento anticorrosivo del acero en ambientes marinos mediante pinturas”, ETSNM de A Coruña. 2008
- [10] R.N.Pablo “Evolución de las pinturas antiincrustantes en el acero de construcción naval”Universidad de Cantabria. 2017
- [11] Norma UNE-EN ISO12944-3 “Norma mundial de protección frente a la corrosión”. Universidad de Cantabria
- [12] D.Agudo “La importancia del diseño en la corrosión de los materiales: caso particular de la pasarela de la ETSIIT”. Universidad de Cantabria
- [13] “Planos de la puerta del Dique de Gamazo”. Disponible en (Registro mercantil de Santander).
- [14] R.C.Hibeller “Mecánica de materiales” Ed. Cecs. México 1998

- [15] L.Vega “Construcción naval”.Grado en ingeniería Marítima.Curso cuarto. Universidad de Cantabria. 2017
- [16] “Inventor” (build 220112000112 2018).
- [17] (<http://www.buc.unican.es/>) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [18]“DistorsiónmáximadeVonMises”(http://criteriosdefalla.blogspot.com/2015/09/distorsion-maxima-von-mises.html) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [19] (<https://es.slideshare.net/>) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [20] (<https://www.britannica.com/technology/dry-dock9>) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [21](<https://www.hilti.es/content/hilti/E2/ES/es/ingenieria/centro-diseno/sistemas-soporte-modulares/centro-diseno-sistemas-soporte-modulares/diseno-resistente-corrosion.html>) 2018
- [22] C. Miguel Ángel, “Tratamientos anticorrosivos a base de pinturas especializadas para sistemas metálicos aplicadas a una sala de máquinas de un buque octubre 2017” disponible en (Universidad de Cantabria).
- [23] “Principios electroquímicos de la corrosión” disponible en: (https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_2_1.html) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [24]” Características del fenómeno de corrosión” disponible en: (<https://www.monografias.com/trabajos96/estudio-desgaste-prematuro-tuberias-sistema-emulsion/estudio-desgaste-prematuro-tuberias-sistema-emulsion.shtml>) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [25]“Corrosión por erosión” disponible en: (<https://ingenieríamecánicacol.blogspot.com/2016/07/corrosionpor-erosion.html?view=sidebar>. Accediso entre mayo y noviembre del 2018.
- [26] “Sistema de corriente impresa” Disponible en : (http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462374&fecha=24/11/20162018) accedido entre mayo y noviembre del 2018.
- [27]”Proceso de formación del biofouling”. Disponible en: (https://aemstatic-ww1.azureedge.net/content/dam/lfw/print-articles/2016/07/1607LFW_ven_f1.jpg) Accedido en noviembre del 2018.

Aviso responsabilidad del trabajo

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros, La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.