

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Centro de Investigaciones de Soldadura

TRABAJO DE DIPLOMA

Fallas en la Infraestructura y Equipamientos de Acero Inoxidable
en el Hotel Paradisus Los Cayos

Autor: Milanis Pino Hernández

Tutores: Dr. Jorge Luis García Jacomino

Ing. Tte. Daniel Santi Soto

Santa Clara, junio 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Welding Reserch Center

DIPLOMA THESIS

Failures in the Stainless Steel Equipment and Infrastructure in the
Hotel Paradisus Los Cayos

Author: Milanis Pino Hernández

Thesis Directors: Dr. Jorge Luis García Jacomino

Ing. Tte. Daniel Santi Soto

Santa Clara, junio 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnico de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnico. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Pensamiento

“El secreto real del éxito es el entusiasmo “

Walter Chrysler.



UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Dedicatoria

A mi mamá y mi papá, porque nunca hubo obstáculos, cuando se trató del bienestar o de la felicidad de sus hijas y no me bastaría una vida entera para agradecerles todo el sacrificio que han hecho por mí.

A mi novio Carlos por su apoyo incondicional y su comprensión en estos cinco años de estudio.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Agradecimientos

A mi mamá y mi papá por el apoyo incondicional y el sacrificio realizado para poder cursar esta universidad.

A mi hermana por apoyarme sobre todo en los momentos más difíciles.

A mi novio Carlos que de no ser por él creo que mi paso por esta universidad hubiera sido mucho más difícil.

A todos mis amigos y compañeros; a los que estuvieron conmigo durante todos mis años de estudios universitarios.

Un agradecimiento especial a mis dos tutores, Jorge Luis García Jacomino y Daniel Santi Soto, por todo el apoyo brindado, ya que a pesar de prácticamente no tener tiempo siempre me ofrecieron su ayuda incondicional; por todo lo que me han enseñado que será de gran ayuda para mi futuro como persona y como profesional.

A todas aquellas personas que ayudaron de una forma u otra y permitieron que este sueño de ser un profesional se hiciera realidad.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Resumen

RESUMEN

En el presente trabajo de diploma se realiza un estudio de las fallas en la infraestructura y el equipamiento de acero inoxidable usado en el Hotel Paradisus Los Cayos ubicado en Cayo Santa María. Se describe brevemente la historia del acero inoxidable, su definición, así como sus principales clasificaciones, sus aplicaciones y los fenómenos de degradación que presenta. Se realiza una caracterización de la instalación hotelera que abarca una descripción de sus características generales, del uso del acero inoxidable en el equipamiento y en la infraestructura y del sistema de mantenimiento propuesto por el Manual de Servicios Técnicos de Gaviota para este tipo de instalación. La inspección realizada a este hotel muestra la degradación en el equipamiento e infraestructura donde se usa acero inoxidable. Es recurrente la corrosión por picadura y la corrosión galvánica, que a pesar del poco o ningún tiempo de uso afectan el desempeño o estética de los objetos. Se proponen acciones para corregir estas fallas basado en la norma ASTM A380-06, las que permiten restablecer o atenuar los fenómenos de degradación presentes.

ABSTRACT

This work shows a study of the failures in the infrastructure and the equipment made of stainless steel in the Hotel Paradisus Los Cayos located in Cayo Santa María. The history of stainless steel, its definition, as well as its main classifications, its applications and the degradation phenomena it presents are briefly described. A characterization of the hotel installation is carried out, covering a description of its general characteristics, the use of stainless steel in the equipment and infrastructure, and the maintenance system proposed by the Gaviota Technical Services Manual for this type of installation. The inspection of this hotel shows the degradation in the equipment and infrastructure where stainless steel is used. It is recurrent pitting and galvanic corrosion, which despite the little or no time of use affect the performance or aesthetics of the objects. Actions are proposed to correct these faults based on the ASTM A380-06 standard, which allow to restore or attenuate the degradation phenomena present.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Breve historia de la fabricación de los aceros inoxidables	4
1.2. Definición de Acero Inoxidable.....	6
1.2.1 La capa pasiva	7
1.3. Tipos de aceros inoxidables	7
1.3.1. Aceros inoxidables martensíticos	8
1.3.2. Aceros inoxidables ferríticos	10
1.3.3. Aceros inoxidables austeníticos	11
1.3.4. Aceros inoxidables dúplex (Austeníticos-Ferríticos)	14
1.3.5. Aceros inoxidables endurecibles por precipitación.....	14
1.4. Aplicaciones de los aceros inoxidables	15
1.4.1. Industria química	15
1.4.2. Arquitectura duradera.....	16
1.4.4. Equipamiento gastronómico.....	18
1.5. Degradación por corrosión de los aceros inoxidables	19
1.5.1. Corrosión generalizada (uniforme).....	20
1.5.2. Corrosión localizada.....	21
1.5.3. Corrosión intercrystalina	21
1.5.4. Corrosión galvánica.....	21
1.5.5. Corrosión por picadura	22
1.5.6. Corrosión por fractura bajo tensión	23
1.6. Otros fenómenos de degradación del acero inoxidable.....	23
CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN HOTELERA	27
2.1. Características generales.....	27
2.2. Uso del acero inoxidable en la infraestructura y equipamiento.....	29
2.3. Sistema de mantenimiento propuesto por el Manual de SSTT	34
CAPITULO III. PROPUESTA DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO PARA ATENUAR LA DEGRADACIÓN	37
3.1. Degradación en la infraestructura y equipamiento de acero inoxidable.....	37
3.1.1. Corrosión galvánica.....	37
3.1.2. Corrosión por picadura	38
3.2. Clasificación y origen de las fallas detectadas	39

3.3. Procedimiento para corregir las fallas de corrosión en el acero inoxidable	40
Etapa 1. Inspección visual	42
Etapa 2. Limpieza Previa y Descascarillado	42
Etapa 3. Limpieza profunda.....	43
Etapa4. Decapado y Pasivado.....	46
Etapa 5. Inspección final	48
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Introducción

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los materiales que se utilizan en la actualidad pueden clasificarse en grandes grupos: metales, vidrios y cerámicos, plásticos y materiales de origen orgánico (madera, telas, papeles, etc.). Cada uno de estos grupos tiene estructuras y propiedades particulares que los llevan a tener comportamientos diferentes. Así, mientras que los metales poseen alta densidad, buena conducción del calor y electricidad, pueden ser deformados hasta formas complejas y son resistentes a la rotura frente a las fuerzas de impacto; los cerámicos presentan baja densidad, son buenos aislantes térmicos y eléctricos, son frágiles, tienen alto punto de fusión y alta resistencia mecánica. Por su parte los plásticos presentan baja densidad, son buenos aislantes térmicos y eléctricos; son flexibles y deformables.

Todos estos materiales en menor o mayor medida interactúan con el medio ambiente y sufren cambios. A menudo, estos cambios sólo provocan un deterioro de su apariencia; mientras que en otros se deterioran también sus propiedades. Este aspecto en muchas ocasiones es ignorado o menospreciado, y las consecuencias de este proceder suelen ser adversas trayendo pérdidas no solo materiales, sino de vidas humanas con un alto costo ambiental.

Uno de los principales cambios, que se traduce en un fenómeno de degradación es la corrosión, que no es más que el ataque que sufren los materiales causado por su interacción con el medio ambiente, y que conlleva a la pérdida de su masa y deterioro de sus propiedades (Duffó, 2010). Según (Torres, 2003) se trata de un proceso natural donde se produce la transformación de un metal a un óxido. La corrosión aparece cuando hay una diferencia de potencial entre objetos conectados eléctricamente y la pérdida de iones de metal en el ánodo.

(Inalef and Aguayo, 2006) e (Infante, 2013) consideran que la corrosión se manifiesta como pérdidas locales o generalizadas de material, lo que puede eventualmente causar un mal funcionamiento en los equipos o accidentes por rupturas de piezas. Por lo que es necesario realizar inversiones en las empresas para crear recubrimientos protectores o para utilizar metales o aleaciones más resistentes de manera que se logre disminuir los efectos de la corrosión.

El acero inoxidable es una aleación del Fe formada por un mínimo de 12 % de Cr (Guliaev, 1978). Ofrece una muy buena resistencia a la corrosión por lo que cuando se está trabajando en medios agresivos es un material idóneo. Es gracias al contenido de Cr que le permite crear una película pasiva en su superficie, que se crea con la reacción del Cr y el O₂ de la atmósfera; este

Cr_2O_3 permite la gran resistencia a la corrosión. Además, en el caso que se produjera un daño, esta película lo repararía inmediatamente. No solo presenta buena resistencia a la corrosión sino que también tiene unas buenas propiedades mecánicas y ductilidad (Torres, 2003).

Aunque la resistencia a la corrosión es la propiedad más apreciada existen otras propiedades a tener en cuenta. Algunos aceros se auto templean, otros no toman temple, resisten las altas temperaturas, se mecanizan con facilidad, tienen capacidad de deformarse plásticamente o son soldables por tanto sus aplicaciones se extiende desde usos arquitectónicos hasta la utilización en equipos de la industria química, la medicina y en la infraestructura de determinadas instalaciones con condiciones extremas de servicio (Ashby, 2008).

En el equipamiento empleado en la industria alimenticia generalmente, los procesos de transformación tienen condiciones de operación muy particulares debido a la naturaleza de los productos que se procesan, presentando ambientes severos a la mayoría de los componentes metálicos. (Padilla, 1999) expone que los aceros inoxidable son ampliamente utilizados debido a su apariencia, fácil mantenimiento, costo razonable y, sobre todo, su resistencia a la corrosión, sin embargo (Raichev et al., 2009) consideran que existen algunos inconvenientes que afectan drásticamente la integridad de estos materiales, tales como la presencia de iones de cloruro, o bien, hipoclorito de sodio bajo las condiciones nominales de servicio, principalmente en condiciones de bajo pH. Es necesario no solo considerar el ambiente generado por el producto alimenticio, sino también los efectos producidos por las sustancias utilizadas en la limpieza y sanitización de las superficies metálicas.

El sector turístico se caracteriza en general por un uso generalizado del acero inoxidable para el equipamiento y la infraestructura por su desempeño. Según el Manual de Servicios Técnicos establecido en el Grupo de Hotelería y Turismo Gaviota S.A. la elección de un acero inoxidable para atender una aplicación en específico debe ser realizada con base a los requisitos de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión (Gaviota, 2011).

El polo turístico situado al norte de la provincia de Villa Clara constituye uno de las principales potencialidades de desarrollo del país, en el que se continúan realizando nuevas inversiones (Chávez and Osorio, 2006, Castellanos Machado et al., 2014). El Hotel Paradisus Los Cayos es una nueva instalación hotelera exclusiva, construida y diseñada en un entorno natural único para prestar servicios de alojamiento turístico a clientes nacionales e internacionales. Su ubicación a

tan solo unos metros de la costa somete a fenómenos de degradación extremos tanto a la infraestructura como al equipamiento.

Este aspecto permite definir el **problema** a resolver: ¿Qué acciones de mantenimiento permitirán atenuar los fenómenos de degradación presentes en el equipamiento e infraestructura del Hotel Paradisus Los Cayos?

El **objetivo general** de este trabajo consiste en proponer acciones correctivas para atenuar la degradación del equipamiento e infraestructura de acero inoxidable en el Hotel Paradisus Los Cayos.

Como **objetivos específicos** se proponen:

1. Estudiar los principales tipos de aceros inoxidables, sus aplicaciones y su degradación.
2. Caracterizar la instalación hotelera enfocada en el uso del acero inoxidable en equipos e infraestructura, así como el sistema de mantenimiento utilizado.
3. Caracterizar las principales fallas que se presentan en el equipamiento y la infraestructura de acero inoxidable del Hotel Paradisus Los Cayos.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Capítulo I

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Breve historia de la fabricación de los aceros inoxidables

Investigaciones publicadas por (Quiceno, 2015) y (Edwin Gamboa Poveda) coinciden que los primeros trabajos realizados para la fabricación de aleaciones de aceros inoxidables datan de mediados del siglo XIX, ya en aquellos días se sabía que el Fe aleado con ciertos metales, como el Cu y el Ni, resistía mejor a la oxidación que el Fe ordinario. Para el año 1865 ya se hacían, aunque en cantidades muy limitadas, aceros con 25 y 35 % de Ni resistían muy bien la acción de la humedad del aire y, en general, del medio ambiente; pero se trataba de fabricaciones en pequeña escala que nunca continuaron. En esa época no se llegó a estudiar ni a conocer bien esta clase de aceros.

Unas décadas después se fabricaron aceros con aproximadamente 5 % de Cr (Baddoo, 2008) que tenían también mayor resistencia a la corrosión que los aceros ordinarios de esa época. Posteriormente, ya a finales de siglo, se empezaron a estudiar las propiedades de ciertos aceros aleados con Cr, y de cómo éste elemento mejoraba sensiblemente la resistencia a la corrosión. En los primeros años del siglo XX, se realizaron estudios sobre aceros aleados con Cr y Ni, determinando microestructuras y tratamientos de muchos de ellos. Se llegaron a fabricar aceros muy similares a los típicos aceros inoxidables que se usan en la actualidad, pero hasta entonces no presentaron especial atención a la inoxidabilidad.

El desarrollo original de lo que son actualmente los aceros inoxidables ocurrió en los albores de la primera guerra mundial (Rogers, 2009). En forma independiente y casi simultánea, en Inglaterra y Alemania se desarrollaron los aceros inoxidables tal como se conocen ahora. Investigando cómo optimizar una aleación para proteger los cañones de sus armas, agregando Cr a los aceros de bajo C obtenían aceros resistentes a las manchas (*stainless*) o inoxidables.

Además (Quiceno, 2015) agrega que en Alemania, en 1912 patentaron dos grupos de aceros inoxidables al Cr-Ni de bajo contenido de C; uno de éstos, con la denominación 18-8, ha sido utilizado desde entonces en numerosas aplicaciones y un descendiente suyo es el acero UNS¹ S30403-14. Las propiedades y composiciones de los aceros inoxidables se mantuvieron en secreto por los países beligerantes mientras duró la primera guerra mundial. En los años 20, tras

¹ "Unified Numbering System for Metals and Alloys" (Sistema de Numeración Unificado para Metales y Aleaciones)

la guerra, se produjo una gran expansión de la economía en Europa y Estados Unidos que estuvo acompañada de la necesidad de nuevas construcciones y nuevos materiales, por ejemplo, en mayo de 1930, en Nueva York, se inauguró un rascacielos (el más alto del mundo hasta entonces) y propiedad del millonario Walter Chrysler, dueño de la empresa de automóviles Chrysler, quien quería que quedara claro que fabricaba automóviles cuando encargó el edificio, y así, fue decorado con águilas, cubiertas de radiadores y tapacubos inspirados en los modelos Chrysler, todo ello en una arquitectura que lo convierte en un rascacielos con un estilo único y un pionero, porque las paredes exteriores de la cúpula y los adornos son de acero inoxidable (Cobb, 2010).

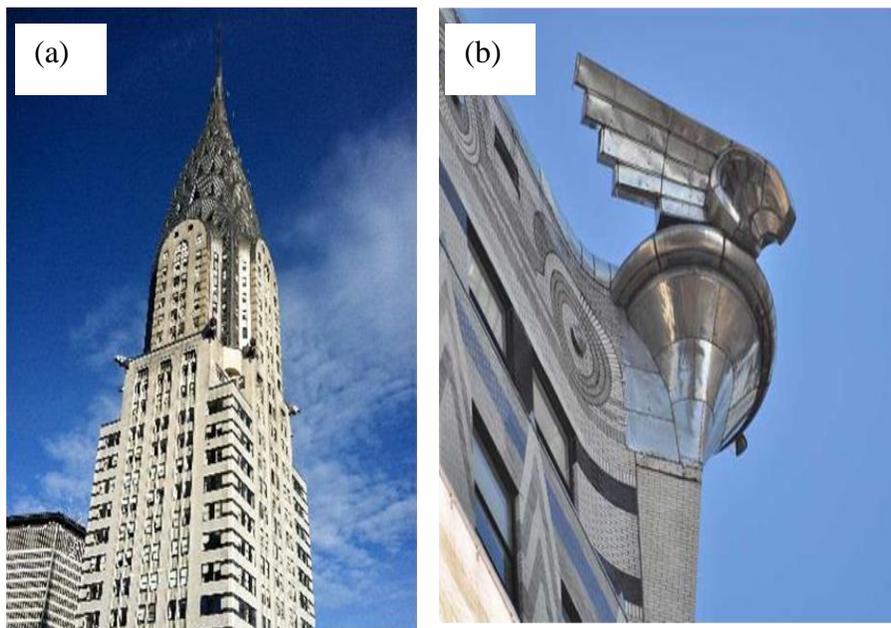


Figura 1. (a) Edificio Chrysler, (b). Detalle de los adornos construido de acero inoxidable. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Edificio_Chrysler

Como se observa en la Figura 1 el propio Chrysler fue quien eligió este material por su belleza y resistencia, nadie había utilizado nunca antes este material con tal fin. Además, se dio cuenta que se trataba de un material con una calidad uniforme y homogénea que no necesitaba prácticamente ningún tipo de mantenimiento.

1.2. Definición de Acero Inoxidable

De forma general los aceros inoxidable son definidos como aleaciones a base de Fe, Cr y otros elementos, principalmente, Ni, Mo, Mn, Si y Ti, entre otros, que les confieren una resistencia particular a algunos tipos de aceros en determinadas aplicaciones industriales. Naturalmente la presencia de cada elemento en determinados porcentajes produce variaciones distintas de las características intrínsecas de los diversos tipos según (Inalef and Aguayo, 2006).

Para (Guliaev, 1978) una cantidad mayor que el 12 % de Cr provoca que el acero sea resistente a la corrosión en la atmosfera y en muchos medios industriales. Sin embargo, aleaciones con valores menores manifiestan el mismo grado de corrosión que el Fe. Las aleaciones que contienen entre el 12 y 14 % de Cr se comportan como metales nobles al poseer potencial positivo. No se aherrumbran ni oxidan en el aire, agua y en una serie de ácidos, sales y álcalis.

Mientras (Infante, 2013) plantea que el acero inoxidable es un tipo especial de acero que contiene elementos de aleación (Cr como elemento principal) en 11 % como mínimo lo cual le permite ser inoxidable al estar expuesto al O₂. Es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el Cr, u otros metales que contiene, poseen gran afinidad por el O₂ y reaccionan con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del Fe. Además (Quiceno, 2015) expone que el acero inoxidable, según la *International Stainless Steel Forum* (ISSF), se utiliza para describir una familia extremadamente versátil de materiales de ingeniería, los cuales son seleccionados principalmente por sus propiedades de resistencia a la corrosión y al calor. Todos los aceros inoxidables contienen principalmente Fe y un mínimo de 10,5 % de Cr.

Es evidente que existen diversos criterios relacionados con la cantidad de Cr que debe estar contenido como elemento de aleación para que el acero se pasive y manifieste características inoxidables. Esta variación puede ser resultado de los métodos analíticos utilizados, así como de la calidad en los procesos de obtención de la aleación.

1.2.1 La capa pasiva

Según (Inalef and Aguayo, 2006) la resistencia a la corrosión del acero inoxidable se debe a una película pasiva de un óxido complejo rico en Cr (Cr_2O_3), que se forma espontáneamente en la superficie del acero.

Siempre que haya suficiente O_2 disponible en la superficie del acero, los aceros inoxidables se autopasivarán espontáneamente. En la Figura 2 se puede observar la capa de la película pasiva en aceros inoxidables.

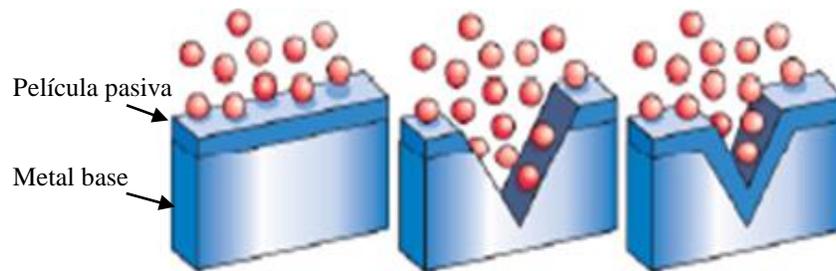


Figura 2. Capa de película pasiva en aceros inoxidables.

(Quiceno, 2015) opina que en este nivel, el Cr reacciona con el O_2 y la humedad en el medio ambiente para formar una película protectora, adherente y homogénea de óxido que envuelve toda la superficie del material. Esta película de óxido, conocida como capa pasiva, es bastante fina (de 1 a 3 nm). La capa pasiva de los aceros inoxidables exhibe una propiedad verdaderamente notable: cuando se daña (por ejemplo, por abrasión), se auto repara, porque el Cr en el acero reacciona rápidamente con el O_2 y la humedad en el medio ambiente para reformar la capa de óxido.

1.3. Tipos de aceros inoxidables

Existen diferentes tipos de aceros inoxidables, aunque se agrupan en cinco grupos básicos de acuerdo a su estructura metalúrgica: austeníticos, ferríticos, martensíticos, dúplex y de endurecimiento por precipitación.

Según (Infante, 2013) los aceros inoxidables se dividen en diversas familias, siendo las más utilizadas la ferrítica, la martensítica y la austenítica. De entre ellas es de especial interés la familia austenítica por constituir los aceros más comunes utilizados hoy en la industria.

Mientras (Ricaurte Ospina Lopez, 2007) afirma en su investigación, que los aceros inoxidable se dividen en cuatro grupos: austeníticos, martensíticos, ferríticos y los que se endurecen por precipitación. Estas clasificaciones se refieren principalmente a la estructura de los aceros. La estructura martensítica es dura y frágil, la ferrítica es blanda y dúctil, en cambio la austenítica es de alta resistencia a la tensión, al impacto y al mismo tiempo dúctil.

La Figura 3 muestra el árbol genealógico de los aceros inoxidable, estos se encuentran al final debido a su alto grado de aleación.

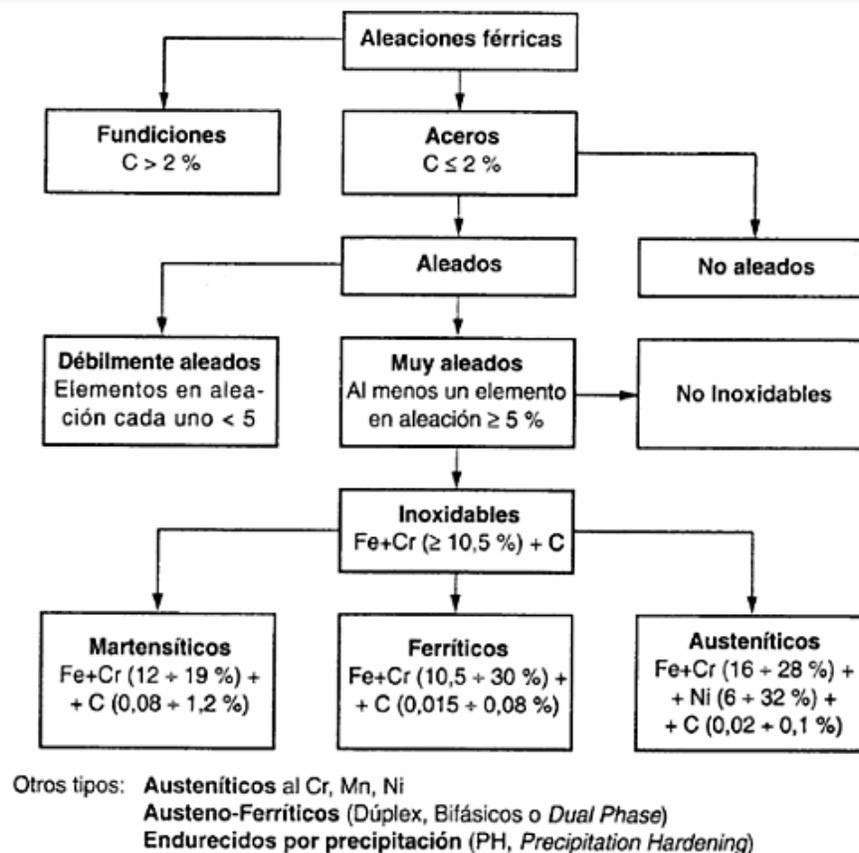


Figura 3. Árbol Genealógico de los aceros inoxidable.

1.3.1. Aceros inoxidable martensíticos

En su trabajo (Quiceno, 2015) los describe esencialmente como aleaciones de C (0,2 a 1,0 %), Cr (10,5 a 18 %) y de Fe. Estos materiales pueden ser tratados térmicamente, de una manera similar a los aceros convencionales, para proporcionar una gama de propiedades mecánicas. Su resistencia a la corrosión puede ser descrita como moderada (es decir, su comportamiento frente

a la corrosión es más pobre que otros aceros inoxidable con el mismo contenido de Cr); son ferromagnéticos y poseen una pobre capacidad de deformación. (Inalef and Aguayo, 2006) en su trabajo coinciden con lo anterior cuando plantean que estos aceros poseen una excelente resistencia mecánica y son magnéticos.

Según (Torres, 2003) los aceros martensíticos se tratan de aleaciones ferrosas con un gran límite elástico y dureza. Esta martensita se forma a través de la austenita gracias a un tratamiento térmico (temple). Al igual que los ferríticos son difíciles de soldar. Se venden en una estructura ferrítica, baja en dureza y de alta ductilidad, es solo después de un tratamiento térmico de temple cuando se consigue la estructura martensítica, muy dura y con poca ductilidad. (Ortiz, 2007) coincide con el planteamiento anterior cuando En los aceros inoxidable martensíticos, el carbono está en una concentración tal, que permite la formación de austenita a altas temperaturas, que a su vez se transforma en martensita durante el enfriamiento. La martensita es una fase rica en carbono, frágil y extraordinariamente dura. Los aceros inoxidable martensíticos tienen la característica común de ser magnéticos y endurecibles por tratamiento térmico. Estos aceros son normalmente producidos por la industria siderúrgica en estado recocido, con ductilidad razonablemente buena. Solamente después de templados serán muy duros y poco dúctiles. Pero es precisamente en esta condición (templados), que serán resistentes a la corrosión.

Se usan en gran parte para material quirúrgico y dental. Aunque también se fabrican muelles, cables, chuchillas, engranajes o rodamientos, fundiciones resistentes a la corrosión, piezas de válvulas y discos de freno. Aunque en algunos caso también se han utilizado para la industria petroquímica (Torres, 2003).

Algunos ejemplos del grupo de los aceros martensíticos son:

AISI² 410: tipo de acero inoxidable más utilizado en la estructura martensítica debido a sus buenas características mecánicas y a su bajo coste. Se usa para la fabricación de tornillos, turcas, cubiertos, vajillas, partes de hornos y tuberías.

AISI 414: la aleación con Ni mejora respectivamente la resistencia a la corrosión de este acero inoxidable. Ofrece una buena resistencia mecánica y tenacidad.

²American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)

AISI 420: este acero presenta un incremento del porcentaje de C así nos puede ofrecer una gran resistencia mecánica, dureza y resistencia al desgaste. Sin embargo, le reduce la resistencia a la corrosión por lo que en algunos fluidos no va a ser posible utilizarlos. Se usa para ortodoncia, herramientas quirúrgicas, hojas de cuchillos y moldes.

1.3.2. Aceros inoxidables ferríticos

Estos aceros, según (Quiceno, 2015), son esencialmente aleaciones de Cr (típicamente con 12,5 % a 30 %) y Fe. Los aceros inoxidables ferríticos son, en general, libres de Ni y contienen muy poco C. No pueden ser tratados térmicamente, pero presentan mayor resistencia a la corrosión que los aceros inoxidables martensíticos. Son ferromagnéticos y se vuelven quebradizos a bajas temperaturas, poseen buena capacidad de conformado. Su expansión térmica y otras propiedades térmicas son similares a los aceros convencionales. Los aceros inoxidables ferríticos se sueldan fácilmente en secciones delgadas, pero sufren crecimiento de grano, con la consiguiente pérdida de propiedades cuando se sueldan secciones más gruesas por lo que presenta como factor negativo una baja soldabilidad. (Ricaurte Ospina Lopez, 2007) coincide con el planteamiento anterior cuando asegura en su trabajo que los aceros ferríticos son muy propensos al crecimiento del grano.

Los aceros ferríticos se aplican en sistemas de escape de gases de los motores de combustión interna, estampado en artículos del hogar en general (vajillas, fregaderos y cubiertos), cocinas industriales y refinerías de petróleo según (Quiceno, 2015). Además (Ricaurte Ospina Lopez, 2007) agregó que se utilizan mucho para estampados profundos de piezas, como recipientes para industrias químicas y alimenticias, y para adornos arquitectónicos o automotrices.

Algunos ejemplos de los aceros inoxidables ferríticos más empleados según (Torres, 2003) de acuerdo a sus propiedades y sus aplicaciones son:

AISI 409: acero con bajo contenido en Cr y de uso general. Se utiliza en aplicaciones que no requieren buena apariencia. Normalmente se usa para la fabricación de escapes de automóviles, silenciadores y convertidores.

AISI 430: acero al que se le añade P y S para mejorar la maquinabilidad. Ofrece alta dureza y buena resistencia a la corrosión. Se usa para la construcción, cremalleras,

adornos arquitectónicos interiores y electrodomésticos para la cocina, aparatos científicos, tecnológicos, etc.

AISI 434: versión del 430 con la adición de Mo con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión en molduras de autos. Presenta y ofrece una gran resistencia a la oxidación. Se usa para sistemas electrodomésticos.

1.3.3. Aceros inoxidables austeníticos

Los aceros austeníticos se obtienen incorporando elementos formadores de austenita, tales como Ni, Mn y N. Según (Torres, 2003) la presencia del Ni hace de ellos unos grandes resistentes a la corrosión, aparte de ser un elemento “gammágeno” que estabiliza el campo de la austenita. El contenido de Cr generalmente varía del 16 al 26 % y su contenido de C es del rango de 0,03 al 0,08 %.

(Inalef and Aguayo, 2006) coincide con (Infante, 2013) en que la adición como mínimo del 8 % de Ni a un acero con 18 % de Cr lo transforma en austenítico.

(Torres, 2003) otra de sus características es su gran conformabilidad, y estos pueden utilizarse en un rango de temperaturas de entre condiciones criogénicas hasta 1150 °C .

La serie 300 puede identificarse por no ser magnéticos. Los aceros inoxidables austeníticos son los más usados por su ductilidad lo que los hace ideales para ser conformados, un proceso muy utilizado en la construcción de recipientes y cañerías de la industria Química y Petroquímica en donde la corrosión es una condición de servicio determinante (Inalef and Aguayo, 2006).

Estos aceros pueden ser trabajados en caliente por forjado o laminado sin mucha dificultad y también como los aceros ferríticos, pueden ser enfriados al aire después del trabajo en caliente sin el peligro de que se agrieten.

Para la maquinabilidad de los aceros austeníticos generalmente se requieren cortes más gruesos y velocidades más bajas que los empleados en los aceros martensíticos y ferríticos.

Según (Inalef and Aguayo, 2006) a veces se le adiciona elementos de aleación estabilizantes del C, como el Ti o Nb como medio de impedir la formación de Cr_xC_x durante el servicio o el procesamiento a altas temperaturas. El C se combinará preferiblemente con el Ti (como mínimo

10 veces el contenido de C) permitiendo al Cr seguir en solución sólida en el Fe para mantener la resistencia a la corrosión.

Este grupo de aceros puede soldarse fácilmente, obteniendo soldaduras fuertes y tenaces; sin embargo, al calentar el área soldada no se puede evitar que pase por la temperatura críticas en las cuales precipitan los Cr_xC_x . De ahí que en estos casos es necesario recocer después de efectuar la soldadura.

Cuando no sea práctico el recocido después de soldar, deberán usarse aceros de estabilizados como lo son el AISI 321 y AISI 347 ya que, son menos susceptibles a la corrosión intercrystalina.

Sus características son las siguientes: excelente resistencia a la corrosión, endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico, excelente soldabilidad, excelente factor de higiene y limpieza. Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas, no son magnéticos. Los austeníticos se obtienen adicionando elementos fijadores de la fase austenítica, tales como: Ni, Mn y N (Quiceno, 2015).

Los aceros austeníticos tienen considerablemente mejor resistencia a la corrosión que los aceros martensíticos y ferríticos, se caracterizan por su excelente resistencia mecánica y resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304 L, 310, 316, 316 L, 316 Ti y 321 y sus principales aplicaciones según plantea (Torres, 2003) se encuentra mayormente en la industria química, alimentaria y médica. En la industria química se utilizan donde hay presencia de medios agresivos, como por ejemplo en zonas donde hay una elevada concentración de Cl y altas temperaturas.

A continuación, se muestran una lista de aceros austeníticos con sus propiedades:

AISI 304: es acero inoxidable de tipo austenítico básico. De fácil soldadura, es resistente a la corrosión a temperatura ambiente. Si se conserva este tipo de acero por un período de tiempo en un intervalo crítico de temperatura entre 450 °C y 850 °C, puede provocar la precipitación intercrystalina de Cr_xC_x y por ende la corrosión intercrystalina. Como uso básico se diseñan equipos para la industria química y recipientes como ollas y cubiertos.

AISI 304 L: se trata de una variante del 304 con menos del 0,03 % de Cr, lo cual asegura una muy baja producción de Cr_xC_x si se lo mantiene suficiente tiempo en el

intervalo crítico de temperatura, lo que conlleva un riesgo de corrosión intercrystalina muy bajo.

AISI 310: utilizado para altas temperaturas, para su uso en partes de hornos.

AISI 316: contiene un aditamento de molibdeno de 2 a 3 % que lo vuelve resistente a agentes químicos reductores. Dentro del intervalo crítico de temperatura, también corre riesgo de precipitación de Cr_xC_x . Se usa para la industria farmacéutica y alimentaria.

AISI 316 L: gracias a un contenido de C inferior al 0,03 %, la formación de Cr_xC_x es muy baja y es resistente a la corrosión intercrystalina.

AISI 316 Ti: la adición de Ti impide, aquí también, la formación de Cr_xC_x y permite que este material tolere una utilización prolongada en el intervalo crítico de temperatura. Resiste a la formación de cascarilla a una temperatura superior a 800 °C .

AISI 321: este acero contiene elementos de tipo 304 al cual se añadió una cierta cantidad de Ti para evitar la formación de Cr_xC_x . No genera ningún evento de corrosión intercrystalina y se aconseja su uso en casos de utilización prolongada dentro del intervalo crítico de temperatura. Buena resistencia a la formación de cascarilla hasta aproximadamente 800 °C. Se usa en gran medida para la fabricación de recipientes a presión.

Podemos mencionar que algunas de las ventajas del acero inoxidable en la industria son:

Alta resistencia a la corrosión:

- Debido a que el acero inoxidable es altamente resistente al ataque de productos químicos corrosivos, permite la ejecución de los procesos de forma segura.
- Es capaz de soportar altas temperaturas, así como ambientes corrosivos.
- Los tipos de acero inoxidable más utilizados son los austeníticos AISI 304 L y AISI 316 L, los cuales poseen mayores propiedades anti corrosivas.

Larga duración y rentabilidad:

- El acero inoxidable destaca por sus propiedades mecánicas y físicas, las cuales permiten el diseño y fabricación de instalaciones, instrumentos, equipos y herramientas con mayor duración para la industria química y farmacéutica.
- Debido a que es un metal con larga vida útil, la rentabilidad de los proyectos y procesos es favorable.
- Con frecuencia es utilizado en la fabricación de equipos y tanques de almacenamiento, transporte y distribución de productos químicos.

1.3.4. Aceros inoxidables dúplex (Austeníticos-Ferríticos)

Según (Quiceno, 2015), su microestructura es aproximadamente 50 % ferrítica y 50 % austenítica. Son aleaciones Cr-N-Mo y algunas de sus características son las siguientes: son magnéticos, no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico, poseen buena soldabilidad. La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro. Tienen un contenido de Cr entre 18 y 26 % y de Ni entre 4,5 a 6,5 %. La adición de elementos como N, Mo, Cu, Si y W imparten ciertas características de resistencia a la corrosión. Aplicaciones en: industrias de petróleo y gas, de papel y celulosa; sectores de desalinización, aplicaciones con agua marina y en la industria química.

Los aceros inoxidables tienen una alta resistencia al desgaste, con una muy buena resistencia a la corrosión bajo tensión.

1.3.5. Aceros inoxidables endurecibles por precipitación.

Esta familia según (Quiceno, 2015) son una alternativa a los aceros inoxidables austeníticos, cuando se desea asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad. Son aleaciones Cr-Ni, se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Los aceros endurecibles por precipitación están patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa productora.

1.4. Aplicaciones de los aceros inoxidables

1.4.1. Industria química

En la Figura 4 se puede apreciar una serie de equipos de acero inoxidable utilizados en la industria química.

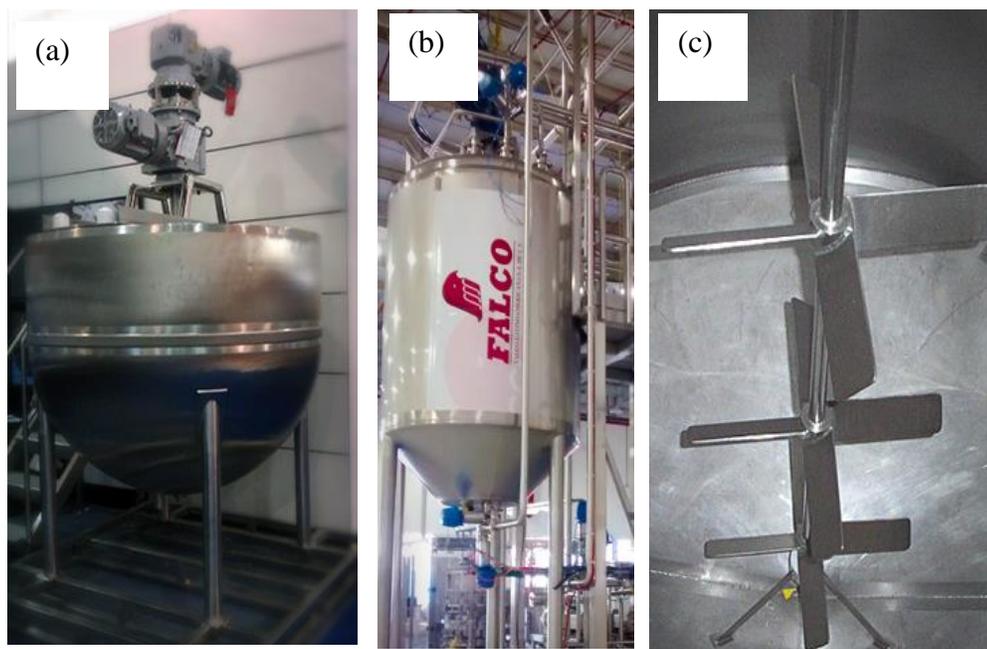


Figura 4. Equipos de acero inoxidable en la industria, (a) Marmita, (b) Reactor, (c) Agitador (<http://www.falcolatino.com/>).

Resulta imposible imaginar la industria química sin los aceros inoxidables (Román et al., 2016). La producción segura y rentable de compuestos farmacéuticos, fertilizantes, papel, plásticos, productos petroquímicos y un sin número de otros bienes depende en gran medida de la utilización de estos materiales (Rodríguez et al., 2007). En las aplicaciones que conllevan altas temperaturas, los materiales deben poseer gran robustez y resistir muy bien las condiciones del entorno. Para satisfacer estas necesidades se han desarrollado gran número de aleaciones con mayor contenido de Cr y Ni. El Ni eleva la resistencia frente a las altas temperaturas y evita que el material se vuelva frágil con el tiempo. Todo ello demuestra que, durante este último siglo, el rendimiento del acero inoxidable en la industria química ha sido totalmente confiable, inocuo y rentable según (Institute, 2012).

1.4.2. Arquitectura duradera

(Pancorbo, 2010, Institute, 2012) exponen que los primeros métodos de coloración del acero inoxidable fueron introducidos en la década de 1970 y han resultado ser muy duraderos.

El historial del acero inoxidable como material de excepcional rendimiento a largo plazo y escaso mantenimiento ha hecho que sea uno de los materiales preferidos para la realización de esculturas. Algunos ejemplos más recientes son los siguientes: el Monumento de la Luz de Dublín, también llamado la Aguja de la Luz (2003), una torre de 120 m de altura hecha de tubos de acero inoxidable AISI 316; el Monumento de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (2006) en Arlington (Virginia), que consta de tres agujas curvas de acero inoxidable AISI 316 con alturas de entre 61 y 83 m; la Puerta Nube (Cloud Gate) de Chicago, con forma de habichuela (2004), hecha de acero inoxidable AISI 316; y la estatua ecuestre de Genghis Khan en Mongolia, de 40 m de altura (2009), que está revestida con 227 t de acero inoxidable como se refleja en la Figura 5 y 6.

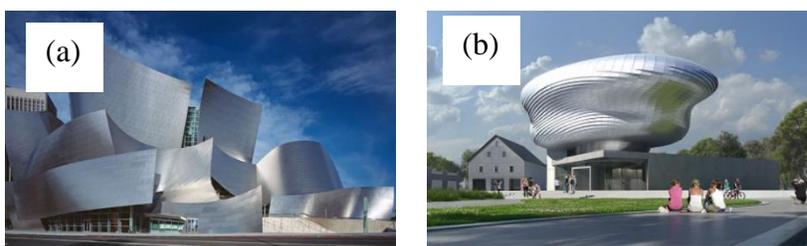


Figura 5. (a) Museo Guggenheim de Bilbao, (b) Centro de Información al Cliente y Foro de Eventos “Casa de Pan II” (<https://moovemag.com/2012/08/frank-owen-gehry-la-deconstruccion-de-la-arquitectura/> y <http://tecne.com/arquitectura/divergencia-pactada/>).

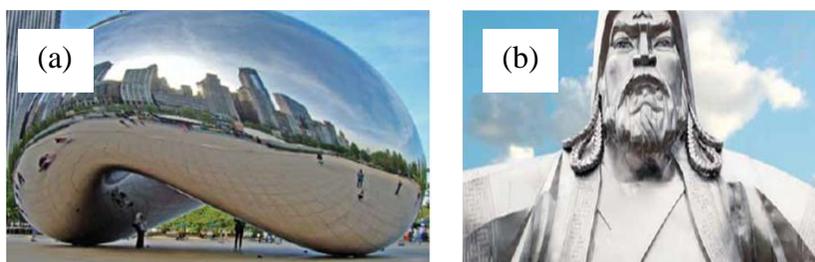


Figura 6. (a) Puerta Nube (Cloud Gate) de Chicago, (b) Estatua ecuestre de Genghis Khan en Mongolia.

Gracias al acero inoxidable, tanto estas piezas de fama mundial como otras más modestas que adornan las calles de prácticamente todos los centros urbanos seguirán despertando la imaginación de las generaciones futuras (Institute, 2012).

1.4.3. Medicina

(Institute, 2012) asegura que en sus más de 100 años de historia, el acero inoxidable se ha asegurado un lugar en las aplicaciones sanitarias donde la resistencia a la corrosión y la facilidad de fabricación y esterilización son esenciales para garantizar que los dispositivos que se fabrican tengan un precio razonable y sean duraderos e higiénicos.

Los aceros inoxidables forjados austeníticos y altos en N se utilizan para fabricar implantes quirúrgicos como los que sustituyen a las articulaciones de la cadera, la rodilla, los dedos y el hombro, así como placas, tornillos, alambres y otros dispositivos de fijación (Martinelli et al., 2011, Gil et al., 1999, Rubio-Delgado et al., 2000) como se muestra en la Figura 7.

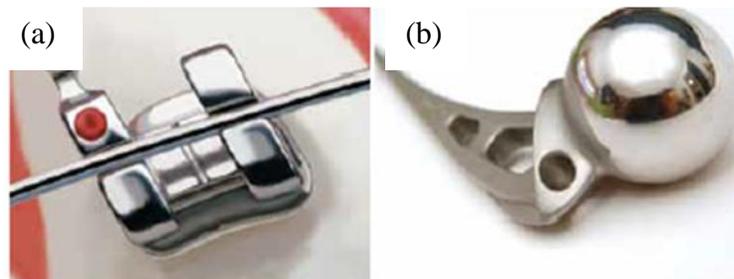


Figura 7. (a) Dispositivo de fijación de acero inoxidable, (b) Articulación para la rodilla de acero inoxidable.

Originalmente, estos materiales se desarrollaron a partir del acero inoxidable AISI316 (S31600). Sin embargo, los implantes deben ser biocompatibles y compatibles también con las técnicas de diagnóstico que se emplean después del tratamiento, como los rayos X y la resonancia magnética (RM). La RM solo puede llevarse a cabo cuando los implantes contienen únicamente materiales no ferromagnéticos, por lo que se añaden a la composición química de los implantes de acero inoxidable mayores cantidades de elementos generadores de austenita, como el Ni, el N y el Mn. Además, los aceros inoxidables utilizados en implantes tienen que reunir requisitos específicos de resistencia a la corrosión por picadura y limpieza interna que no se exigen a los aceros comerciales. Por tanto, se emplean métodos especiales de producción, como la fusión al vacío y el refinado con electroescoria, para producir aceros “limpios” para implantes, es decir, aceros con bajas concentraciones de impurezas no metálicas como sulfuros, silicatos y óxidos. Además, los implantes deben cumplir estrictos requisitos específicos en cuanto al acabado de su

superficie, así como rigurosos regímenes de limpieza destinados a evitar la contaminación microbiológica.

1.4.4. Equipamiento gastronómico

Hoy en día, probablemente el metal más utilizado en las cocinas es el acero inoxidable ya que es muy resistente y esta propiedad le confiere una gran durabilidad. El acero inoxidable está compuesto por una amalgama de Cr, Fe y otros metales como el Ni.

Hay varios tipos de aceros inoxidables, aunque el más utilizado en el equipamiento gastronómico es el austenítico.

Como ya se había mencionado el acero inoxidable austenítico es una aleación de Fe, Cr, Ni y C con menos del 0,10 %. Dentro de este grupo se incluyen los dos más conocidos el 18/18 y el 18/10. Este último es el acero inoxidable de mayor calidad, más duro, resistente al oxido y brillante que se suele utilizar para fabricar utensilios de cocina que van desde las cuberterías domésticas hasta los equipos de procesamiento de alimentos y productos lácteos o los grandes contenedores de cerveza y vino como se puede apreciar en la Figura 8.



Figura 8. Acero inoxidable en utensilios de cocina

En equipamiento hay que destacar que el acero inoxidable sigue siendo el más utilizado. Se trata de un elemento resistente que asegura el uso de las instalaciones durante muchos años. La razón es muy sencilla: el acero inoxidable es un material ideal porque no es poroso y por tanto no afecta al sabor ni a la apariencia de los alimentos, no coge olores ni sabores. No es corrosivo y no reacciona con sustancias ácidas o alcalinas, por ello las ollas, sartenes, cazos y cacerolas de acero son aptas para cocinar cualquier alimento, resiste al impacto, a rayas y a las variaciones térmicas y además posee superficies son fáciles de limpiar y desinfectar (Institute, 2012).

Según (Jacomino, 2015) la mayoría del acero inoxidable es muy resistente a altas temperaturas ya todo tipo de fuego, incluida la inducción, pero conviene consultar las indicaciones del proveedor para asegurarnos.

1.5. Degradación por corrosión de los aceros inoxidables

Todos los materiales, los metálicos y los no-metálicos, sufren oxidación por el simple hecho de la presencia de oxígeno en la atmósfera (Raichev et al., 2009, Alter and Mestres, 2004).

La corrosión según (Salazar-Jiménez, 2015) es un término que se utiliza para describir el proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas.

Para (Quiceno, 2015) es un fenómeno natural, comúnmente definido como el deterioro de la superficie que resulta de una reacción química o electroquímica con su medio ambiente, debido a que el metal y los fluidos en contacto con éste forman celdas electroquímicas. De manera más general, puede entenderse la corrosión como la tendencia universal de la materia a buscar su forma más estable o de menor energía interna.

La Figura 9 muestra una clasificación de la corrosión en los aceros inoxidables. Los fenómenos corrosivos que cuantitativamente son más frecuentes en la práctica son los que se denominan de corrosión húmeda, es decir, en presencia de agua en estado de condensación, aunque sea en forma de simple humedad atmosférica.

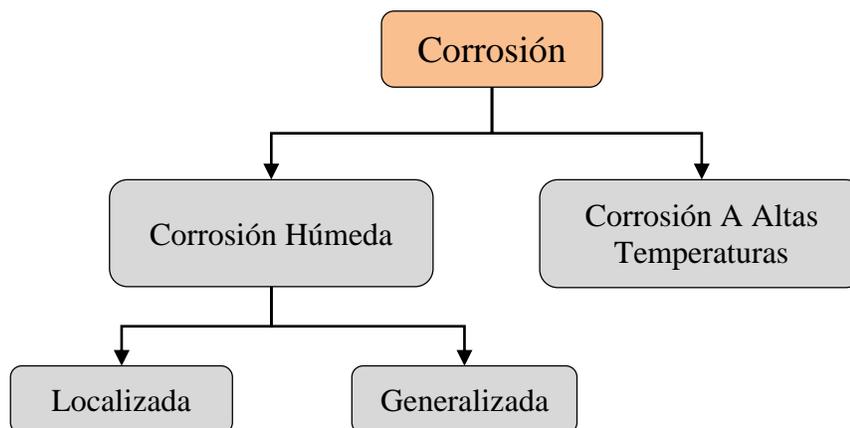


Figura 9. Clasificación de los tipos de corrosión en los aceros inoxidables.

La corrosión húmeda puede ser de tipo generalizada o localizada. También existe la corrosión a altas temperaturas, la cual se caracteriza por la formación de una cascarilla superficial que no es más que una mezcla de óxidos que forman los metales presentes en la aleación cuando se someten a temperaturas mayores a 500 °C .

1.5.1. Corrosión generalizada (uniforme)

La corrosión generalizada, también nombrada como corrosión uniforme, ocurre sobre toda la superficie expuesta del material en forma de agresión progresiva y a velocidad constante., deteriorándolo completamente como se observa en la Figura 10. Este tipo de corrosión es la más común y la que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar. De entre todos los tipos de corrosión es el menos peligroso porque la velocidad de corrosión es medible y por lo tanto puede calcularse, con bastante aproximación, la duración del metal, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia.



Figura 10. Corrosión generalizada.

La corrosión generalizada del acero inoxidable frecuentemente es más observada en ácidos no-oxidantes como el HS, ya que se provoca un rompimiento en el estado pasivo (CENDI, 2003). Se puede observar comúnmente en materiales, sobre todo en la industria de la construcción, a base de Fe no aleado con metales inoxidables, como el Ni y el Cr. La velocidad de corrosión para estos casos, es altamente influenciada por la existencia de impurezas y fases distintas en el material, ya que estas inducen a una variación en la energía potencial, formando electrodos a pequeña escala, propiciando el proceso de corrosión (Salazar-Jiménez, 2015).

1.5.2. Corrosión localizada

Existen varias causas posibles para este tipo de ataque, en general se trata de variaciones en las condiciones locales de la superficie (CENDI, 2003).

1.5.3. Corrosión intercrystalina

Es una corrosión localizada a escala microscópica en los límites de grano de la aleación (González and Santos, 2003). El ataque intercrystalino es causado por la formación de M_xCr_x ($FeCr_{23}C_6$) en los límites de grano, lo que reduce el contenido de Cr y la estabilidad de la capa pasiva. La figura 11 muestra una imagen a nivel microscópico de este tipo de corrosión.

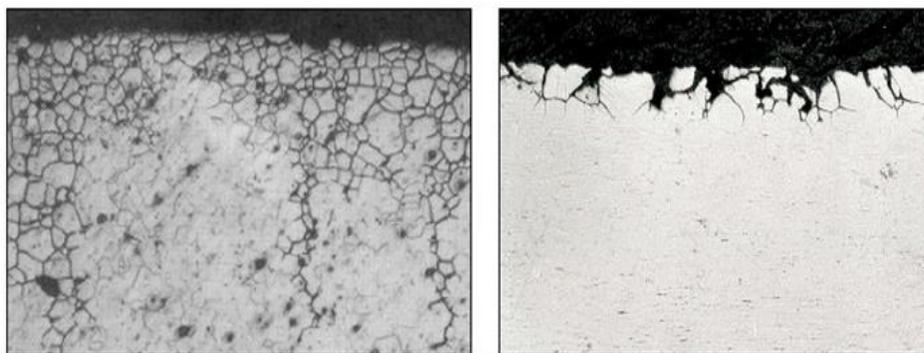


Figura 11. Corrosión intercrystalina

1.5.4. Corrosión galvánica

En la Figura 12 se puede apreciar un ejemplo de corrosión galvánica, esta ocurre cuando existe una unión, física o eléctrica, entre metales de diferente naturaleza, los cuales, en la presencia de un electrolito, forman una celda electroquímica, donde el material de menor potencial electroquímico es el que se corroe (Ohanian et al., 2011). Un factor de importante consideración es la relación de área de la zona de contacto entre los materiales. Entre mayor sea la relación del ánodo respecto al cátodo, el proceso de corrosión ocurre con mayor velocidad.



Figura 12. Corrosión Galvánica.

1.5.5. Corrosión por picadura

Es un ataque altamente localizado que se caracteriza por pequeños agujeros o picaduras formadas en la superficie del material (del Cid et al., 2001) como se aprecia en la Figura 13.



Figura 13. Corrosión por picadura

Empieza después de la ruptura de la película pasiva (película de óxido formada sobre la superficie de muchos metales, tales como aceros inoxidable y aleaciones de aluminio), en presencia de una atmósfera que contiene concentraciones iónicas agresivas como cloruros y bromuros según (Quiceno, 2015).

1.5.6. Corrosión por fractura bajo tensión

Toma la forma de una fractura ramificada en un material aparentemente dúctil como se observa en la Figura 14.



Figura 14. Corrosión por fractura bajo tensión.

Para que la corrosión de fractura bajo tensión ocurra, se requiere de la interrelación de dos factores esenciales: en primer lugar, la superficie del material expuesto al medio corrosivo debe estar bajo esfuerzo de tensión; en segundo lugar, el medio corrosivo debe específicamente ser causa de la corrosión bajo tensión (Alonso and Recio, 2007, López Greses, 2017).

1.6. Otros fenómenos de degradación del acero inoxidable

Al seleccionar un acero inoxidable debe evitarse seguir el mismo sistema utilizado con los aceros al carbono. Resultados satisfactorios de un acero dado en condiciones específicas de temperatura, pH, concentración del medio agresivo, etc., no pueden extrapolarse a otras condiciones, aunque parezcan similares (Bastidas and Medina Sánchez, 2013).

El método idóneo de selección se basa en la experiencia ya sea del usuario como la del fabricante del acero inoxidable. A medida que aumenta el riesgo de corrosión es necesario aumentar la concentración de Cr, aunque debe recordarse que el aumento de resistencia a la corrosión no tiene por qué ser proporcional. Sin embargo, con alrededor de 18 % de Cr el acero está en condiciones de soportar las más rigurosas condiciones atmosféricas (el acero 18-8, AISI 304 o UNS S30400 con 18 % de Cr y 8 % de Ni es capaz de soportar tales condiciones más de 12 años).

Los aceros Inoxidables no son atacados por el HNO_3 u otros ácidos oxidantes, sino más bien estos ácidos facilitan la formación de la película protectora. Por otra parte, estos aceros no resisten la presencia de ácidos reductores como el HCl o HF , y son atacados por las sales de ellos (cloruros, fluoruros, bromuros y yoduros). En la industria se utilizan sustancias limpiadoras a base de cloruros para mejorar el aspecto de los aceros inoxidables. Deben tomarse precauciones por que 40 minutos es el tiempo máximo de exposición a estos agentes. El H_2SO_4 marca la frontera entre ácidos oxidantes y reductores ya que en algunos casos es inofensivo y en otros ataca fuertemente.

El efecto de los ácidos como el de las sales varía con las condiciones de servicio, concentración del agente corrosivo y con el tipo de acero. Para obtener la máxima resistencia a la corrosión es recomendable mantenerlos limpios y pulidos para preservar a la superficie de sustancias extrañas que pudieran albergarse en los poros o irregularidades de la superficie.

Todos los aceros inoxidables deben pasivarse. Las fallas de materiales metálicos pueden ocurrir de diferentes maneras debido a la amplia gama de materiales que se utilizan en la diversidad de productos que se manejan en el mundo y al amplio espectro de condiciones experimentales que nos podemos encontrar. Los posibles medios corrosivos en este tipo de fallos pueden ser agua, disoluciones acuosas y los ácidos, y dentro de ellos los siguientes:

O₂ y otros gases disueltos

El O_2 es necesario para que exista corrosión (medios alcalinos y neutros). Este presenta diferentes características como son: la agitación que provoca el aumento de la velocidad de corrosión y la facilidad de acceso a diferentes puntos de la superficie que ocasionan una corrosión por aireación diferencial. No es peligroso para $\text{pH} > 7$ para el acero. Comienza a ser peligroso para pH ácidos por formación de productos ácidos.

El Cl ataca, sin embargo al Cu , presumiblemente por reacción con el Cu_2O (Feliu and Andrade, 1991).

El Amoniaco (NH_3) resulta como un neutralizador de ácidos de la descomposición de materia orgánica o de la degradación térmica de inhibidores o acondicionadores. Provoca poco efecto sobre el Fe o el acero mientras que sobre el Cu tiene un efecto fuerte.

El CO₂ está presente por disolución desde el aire y por ser producto de muchos procesos químicos. Este disminuye el pH, forma incrustaciones sobre la superficie y en disolución da lugar a ácido carbónico (H₂CO₃), que es moderadamente corrosivo. Sin embargo, el producto de la corrosión es FeCO₃, que forma capas protectoras sobre las superficies. Los medios con CO₂ disueltos son susceptibles de sufrir corrosión/erosión (Feliu and Andrade, 1991).

Dureza

Las aguas duras (alto contenido en Ca²⁺ y Mg²⁺) son menos corrosivas porque son capaces de formar capas protectoras de carbonato sobre la superficie. El CO₂ disueltos forma H₂CO₃, que reduce el pH del agua por disociación en protones e iones de bicarbonato (Feliu and Andrade, 1991).

Efecto de la temperatura

La velocidad de corrosión del acero depende de si el sistema está abierto o cerrado y varía con la temperatura. Si el sistema está abierto, a partir de 80 °C, se produce un descenso de la velocidad de corrosión por disminución de la solubilidad del O₂ en agua. Sin embargo, para un sistema cerrado, la velocidad de corrosión aumenta con la temperatura, como sería de esperar para la mayoría de las reacciones químicas.

Si el vapor se condensa en contacto con el aire se producen células de aireación diferencial muy agresivas (T > 50 °C). La corrosión toma la forma de un picado profundo. El fondo de los poros contiene magnetita (Fe₃O₄) que tiene un color negro mientras que en los alrededores se tiene Fe₂O₃ de color pardo rojizo. En ausencia de O₂, el condensado da lugar a una película de magnetita, que es una capa protectora. Cualquier factor que afecte a la capa protectora de magnetita, aumentará la velocidad de corrosión (Feliu and Andrade, 1991).

Cloruro sódico

El efecto de la concentración de cloruro en la velocidad de corrosión puede producir un incremento de la velocidad de corrosión debido a un aumento de la conductividad hasta un 3 % en peso. Para concentraciones mayores del 3 % en peso, la velocidad de corrosión disminuye por un descenso en la solubilidad del O₂.

El Mo es el elemento clave en la preparación de aleaciones resistentes al HCl; la aleación Ni - Mo (*Hastelloy*) con un 28 % en Mo es la más resistente de las aleaciones forjadas. De la misma

manera, la fundición con un alto contenido en Mo es también relativamente resistente. Hay que señalar que estas aleaciones no soportan bien la presencia de impurezas de fluoruro, de Cu_2^+ o de Fe_3^+ .

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Capítulo II

CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN HOTELERA

2.1. Características generales

Situado en la costa norte de Cuba, en el municipio Caibarién perteneciente a la provincia Villa Clara, en Cayo Santa María, km 48, el Hotel Paradisus Los Cayos es una propuesta nueva y exclusiva. La Figura 15 muestra una imagen aérea del proyecto del hotel que aún no se encuentra totalmente abierto al público.



Figura 15. Vista aérea del hotel Paradisus Los Cayos.

En la Figura 16 podemos apreciar como este hotel combina una arquitectura y unas instalaciones que se complementan con un entorno natural.



Figura 16. (a) Vista de una de las piscinas del hotel, incluido un conjunto de habitaciones, (b) Vista de la playa tomada desde el segundo nivel de una de sus instalaciones.

El hotel Paradisus Los Cayos es un lujoso ecoresort todo incluido en una de las zonas de playa más vírgenes de Cayo Santa María (Figura 17) este ofrece una gran variedad de Suites, cada una ofreciendo vistas al jardín, al mar y a la piscina, en bungalows de 3 o 4 niveles, que destacan por sus atractivas bañeras interiores. Las habitaciones familiares están localizadas en la parte baja de cada bungalow, con completas cocinas, TV y sofá cama para el confort de los clientes después de un día en la piscina.



Figura 17. Zona de playa.

La zona de restaurantes ofrece más de 20 propuestas culinarias estilo buffet, A la Carta y snacks, además de exquisitos bares con una fresca coctelería. En esta serie de restaurantes se ofrecen comidas exclusivas con una gran variedad que incluye comidas del Caribe, Latino América, el Mediterráneo y Asia, con restaurantes de barbacoa y bares de snacks en el mar. En las siguientes imágenes podemos apreciar la belleza de alguna de estas instalaciones construidas con el objetivo de garantizar la comodidad y el disfrute de los clientes.



Figura 18. Restaurante temático.



Figura 19. Mobiliario utilizado en las áreas de descanso del hotel.

El hotel viene equipado con una gran variedad de ofertas modernas como Wi-Fi en zonas públicas, áreas para niños (Figura 20) que comprenden piscinas, parques de diversiones incluido un juego de ajedrez gigante, además de un gimnasio, salón de belleza y área de deportes.



Figura 20. (a) Piscina para niños, (b) Área de juegos.

Es perfecto para toda la familia, un paraíso dedicado para adultos y jóvenes. Es una excelente elección para viajes de empresa o escapadas familiares a la playa.

2.2. Uso del acero inoxidable en la infraestructura y equipamiento

El hotel Paradisus los Cayos es de nueva construcción, ha abierto en noviembre 2018, posee modernas instalaciones y un diseño vanguardista en un enclave natural único. Al recorrer sus instalaciones se puede disfrutar de confortables áreas con exquisito mobiliario donde se emplea el acero inoxidable por su durabilidad y con un fin decorativo como se aprecia en la Figura 21.



Figura 21. Mobiliario utilizado en el hotel donde se emplea acero inoxidable.

En su decoración el hotel viene equipado con más de 40 tipos diferentes de luminaria cada una acorde al lugar donde está ubicada, en la (Figura 22) se puede apreciar 2 de ellas donde se observa el uso del acero inoxidable.

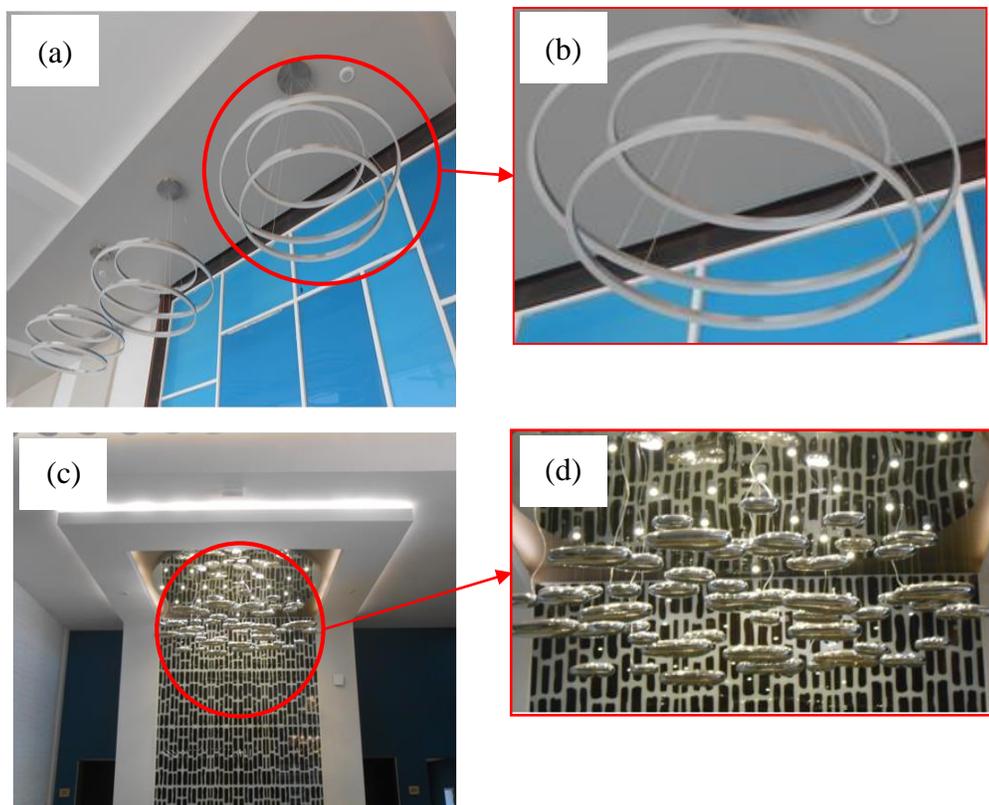


Figura 22. Luminaria utilizada en diferentes áreas del hotel, (a) looby del área 1, (b) detalle, (c) recepción, (d) detalles.

Como ya se mencionó anteriormente este material se utilizó también en utensilios dentro de los restaurantes y bares tal como se observa en la Figura 23.



Figura 23. Utensilios de bares y restaurantes.

Con el propósito de lograr la máxima vida útil se empleó el acero inoxidable en otros elementos dentro del hotel como son por ejemplo en las bases de las sombrillas (Figura 24) y en algunos elementos de las duchas que se encuentran ubicadas al lado de cada piscina (Figura 25).

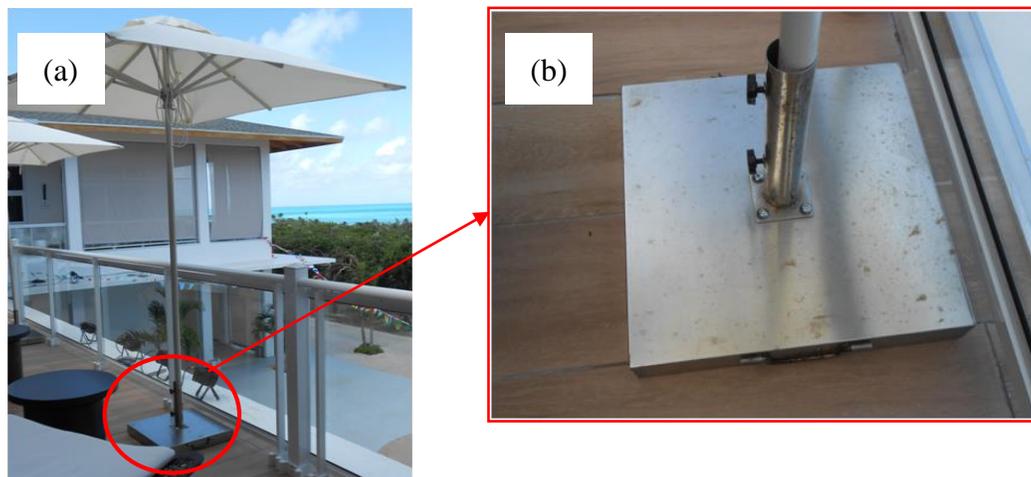


Figura 24. Sombrilla con base de acero inoxidable, (a) sombrilla, (b) detalle de la base

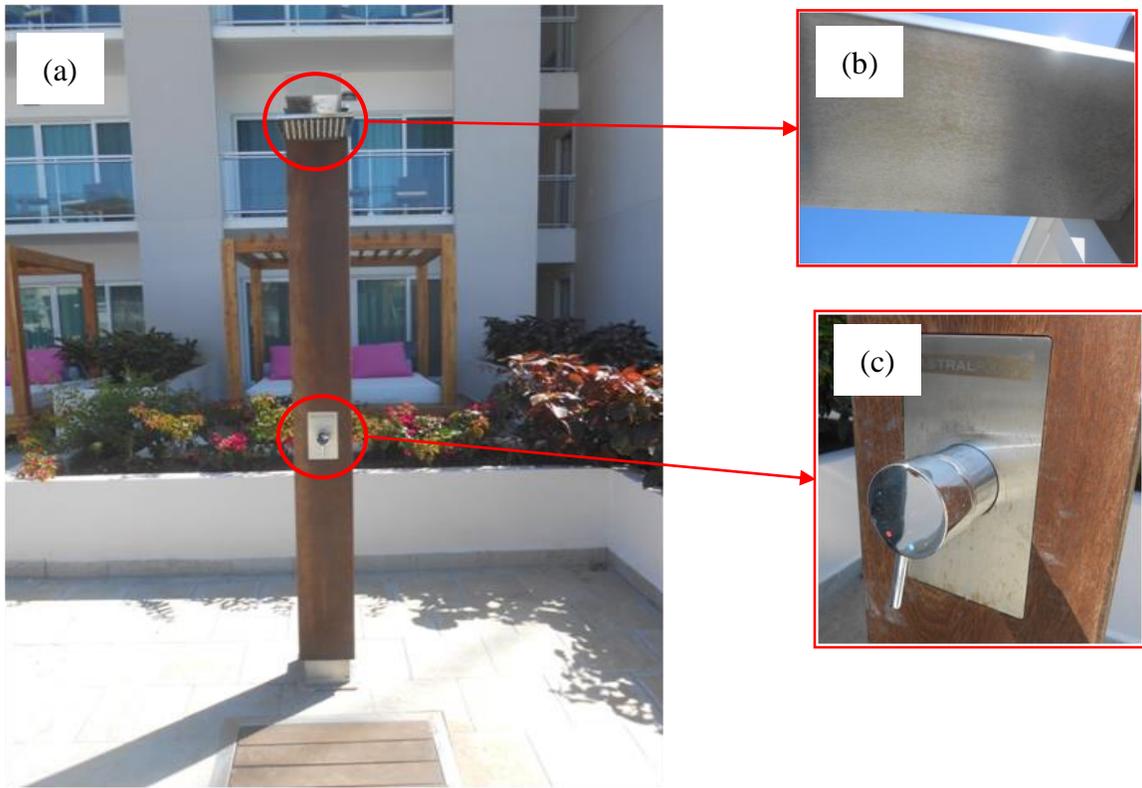


Figura 25. Ducha con elementos de acero inoxidable, (a) ducha, (b) detalle de la parte superior, (c) detalle de la llave.

Este material es el ideal para utilizarse en el equipamiento gastronómico, ya que en hoteles los aspectos más importantes son: la funcionalidad, la resistencia de los materiales, la durabilidad, así como la higiene ya que una cocina de acero inoxidable es más fácil de limpiar, pues se trata de un material no poroso por lo que evita la proliferación de bacterias y la contaminación de los alimentos.

Dentro del equipamiento gastronómico podemos encontrar freidoras industriales como la que se observa en la Figura 26 la cual poseen cubierta y tanque fabricado de acero inoxidable tipo AISI 316, la freidora se suministra con dos canastillas y tapa en acero inoxidable para el tanque.



Figura 26. Freidora industrial

La figura 27 muestra un armario refrigerador construido de acero inoxidable, en el interior y en la superficie. Estantes interiores en acero plastificado, regulables en altura.



Figura 27. Armario refrigerador

Dentro del equipamiento encontramos neveras (Figura 28), muebles mixtos para sobreponer con parrilla, sistema de elevación, plancha y baño maría. Cubierta en lámina de acero inoxidable, terminados brillantes, campanas extractora de olores, humos y repisa del mismo material (Figura 29).



Figura 28. Nevera de acero inoxidable

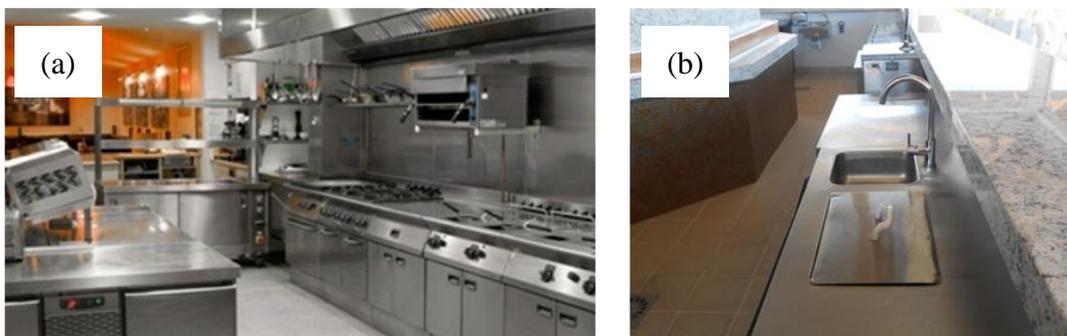


Figura 29. Mueble mixto de acero inoxidable, (a) mueble de la cocina central, (b) mueble mixto ubicado en uno de los bares de

2.3. Sistema de mantenimiento propuesto por el Manual de SSTT

El Manual de Servicios Técnicos constituye una herramienta de trabajo para el personal de Servicios Técnicos o de Mantenimiento de las instalaciones turísticas de la sociedad mercantil cubana, Grupo de Turismo Gaviota S.A., para llevar a feliz término las tareas de mantenimiento y ofrecer el mayor confort y servicio a los clientes (Gaviota, 2011).

El objetivo principal del Departamento de Servicios Técnicos o Mantenimiento de cualquier instalación es conservar en perfectas condiciones de explotación las instalaciones técnicas y las edificaciones con el mínimo costo posible. Este manual en general comprende aspectos organizativos acerca del mantenimiento que se debe llevar a cabo en todas aquellas instalaciones y edificaciones ya sea de tipo preventivo o correctivo. Además de los procedimientos que deben seguir las brigadas de mantenimiento territorial en la gestión total de la eficiencia energética a través de los sistemas de comunicación por radio, entre otros aspectos importantes.

Podemos decir que el Manual define al Mantenimiento Preventivo como aquella función del mantenimiento que tiene como objetivo, mediante inspecciones programadas, detectar anomalías y defectos en equipos e instalaciones con el fin de prevenir fallos, condiciones peligrosas en las mismas y disminuir paros imprevistos que afecten el servicio al cliente (Gaviota, 2011).

Luego hace referencia a que el mantenimiento preventivo supone un conocimiento actualizado de todo el equipamiento técnico y de la instalación que permitan programar las correcciones de sus posibles puntos débiles en el momento más oportuno, para disminuir las frecuencias de paros

por averías y programar los trabajos en días y horas que no afecten el servicio contando con el personal adecuado y con un completo conocimiento de la necesidad de materiales y de las piezas de repuesto.

Partiendo del principio de que todo equipo, instalación o edificio están proyectados con vistas a garantizar las características más convenientes del trabajo a desarrollar, la labor del mantenimiento incluye todas las actividades necesarias para asegurar la continuidad de las características originales de los mismos y en dependencia de las características particulares de cada instalación tendrá el siguiente alcance: mantenimiento de equipos, instalaciones y servicios de los diferentes departamentos; mantenimiento de las edificaciones y obras civiles existentes; inspección y lubricación de las instalaciones; servicios de pinturas y medidas de protección anticorrosivas; mantenimiento a los equipos automotores; mantenimiento, cuidado y conservación de las áreas verdes; mantenimiento y explotación de piscinas; medios técnicos de protección.

Dentro del mantenimiento de equipos, instalaciones y servicios de los diferentes departamentos encontramos el mantenimiento a los diferentes tipos de equipos gastronómicos como por ejemplo los equipos de cocción, equipos auxiliares y electromecánicos, equipos de refrigeración comercial, lavavajillas, cafeteras, fabricantes de hielo y equipamiento de elaboración de helados. Este mantenimiento se basa mayormente en la limpieza del equipo la cual se realiza de forma diaria, el ajuste de todas las partes mecánicas que se lleva a cabo mensualmente, el chequeo de los ajustes mecánicos del mueble del equipo y del estado técnico de los cables de alimentación y la toma de corriente de forma trimestral. Dentro de las acciones de mantenimiento no existe ninguna que se refiera a aquellos equipos de acero inoxidable.

Por otra parte el mantenimiento correctivo según (Gaviota, 2011) se ocupa de corregir todos los defectos que se van presentando en los distintos equipos e instalaciones. Estos defectos pueden ser detectados por los clientes o por los empleados de los distintos departamentos, o como consecuencia de la ejecución del mantenimiento preventivo por el personal técnico.

El mantenimiento correctivo es la parte no deseable en los objetivos de competitividad exponencialmente crecientes de la industria moderna, pues su aparición es un claro síntoma de la falta de planificación y métodos de mantenimiento. Según (Gaviota, 2011) las roturas

puntuales o aleatorias son admisibles y tenidas en cuenta en una buena planificación de mantenimiento.

En el Manual se plantea además que se debe inculcar la obligación diaria de un consecuente método de prevención, y para ello nada mejor que implantar un sistema que implique la revisión periódica del equipamiento e instalaciones de la unidad turística, para ello y con las indicaciones de los fabricantes, se deben establecer fichas de actividades por tiempo en cada equipo, y un calendario que nos obligue a su seguimiento.

El Manual de servicios Técnicos, según lo anteriormente expuesto aborda todo lo referido a los objetivos y requerimientos para la ejecución del mantenimiento preventivo y (o) correctivo, la importancia de conservar los inmuebles para reducir las inversiones, el carácter de las inspecciones, los tipos de mantenimiento que se aplican, etc., pero no establece un plan de mantenimiento a seguir para equipamiento o infraestructura de acero inoxidable, ni lo incluye en aquellos métodos de mantenimiento existentes. Este tipo de equipamiento e infraestructura a pesar de estar construido de un material muy resistente para ese ambiente, requiere de un sistema de inspecciones periódicas con el objetivo de contrarrestar oportunamente la degradación estructural y extender la vida útil de estos.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Capítulo III

CAPITULO III. PROPUESTA DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO PARA ATENUAR LA DEGRADACIÓN

En este capítulo se muestran los resultados de la inspección a la infraestructura y equipamientos de acero inoxidable del Hotel Paradisus Los Cayos, así como se proponen acciones correctivas para atenuar la degradación.

3.1. Degradación en la infraestructura y equipamiento de acero inoxidable

Generalmente cuando el acero inoxidable sufre corrosión, no es uniforme como en el caso de los aceros al carbono, sino localizada, por picaduras (*pitting*) o galvánica, aunque la corrosión generalizada puede ocurrir cuando la película pasiva es destruida por un medio ambiente agresivo y toda la superficie se corroe de manera uniforme. Debido a ello no puede prevenirse con espesores adicionales, sino que debe evitarse la corrosión misma por medio de un conocimiento profundo del medio corrosivo y del acero utilizado. Según (Indura, 2010) los aceros inoxidables no son atacados por el ácido nítrico u otros ácidos oxidantes, sino más bien estos ácidos facilitan la formación de la película protectora. Por otra parte, estos aceros no resisten la presencia de ácidos reductores como el ácido clorhídrico o fluorhídrico, y son atacados por las sales de ellos (cloruros, fluoruros, bromuros y yoduros).

3.1.1. Corrosión galvánica

Todos los aceros inoxidables son susceptibles a este tipo de corrosión. Se produce por el contacto de dos metales de distinto potencial de oxidación que están en contacto en un medio corrosivo. En el hotel se aprecia un ejemplo de corrosión galvánica en los pasamanos de las piscinas donde se observa cómo estos fueron fijados mediante tornillos utilizando arandelas de otro tipo de acero lo que provocó que este se dañara debido a este tipo de corrosión.

También se observa este tipo de corrosión en unas barandas de protección de acero inoxidable que se encuentran ubicadas en el extremo inferior de las paredes de la cocina para evitar dañarlas con los montacargas, carros de cocina, carros de lavandería u otros equipos que se utilicen para transportar productos o alimentos con grandes dimensiones. Para sujetar estas barandas

utilizaron tornillos de otro material los cuales, como se aprecia en la Figura 30 se encuentran afectados por este tipo de corrosión.

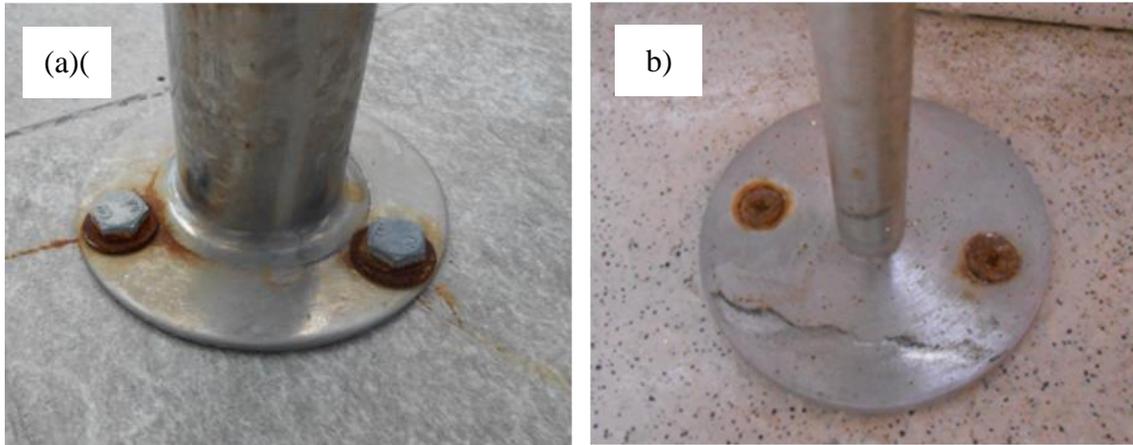


Figura 30. Corrosión galvánica, (a) pasamanos de las piscinas, (b) barandas de protección

3.1.2. Corrosión por picadura

Las picaduras son una forma localizada de ataque corrosivo. Se caracteriza por la formación de agujeros en el metal. Estos agujeros pueden ser pequeños y difíciles de detectar visualmente debido a la corrosión general. El *pitting* se asocia con discontinuidades localizadas en la capa pasiva. La sensibilidad al *pitting* aumenta con condiciones extremas de agentes corrosivos, imperfecciones mecánicas, tales como partículas extrañas, daño en la superficie del material, o por fallas en la película de óxido de cromo. El fenómeno ocurre cuando se rompe la capa pasiva y hay un ataque muy localizado.

En el Hotel Paradisus Los Cayos este tipo de corrosión fue el más común, se observó en varios lugares por ejemplo en la base de una sombrilla la cual es de acero inoxidable y presenta este tipo de corrosión principalmente en las asas. Se observa además en un grupo de duchas que se encuentran ubicadas en las áreas de piscina, en la luminaria presente en las jardineras cercanas al hotel y en los registros contra incendios ubicados en las paredes de los edificios principales (Figura 31).

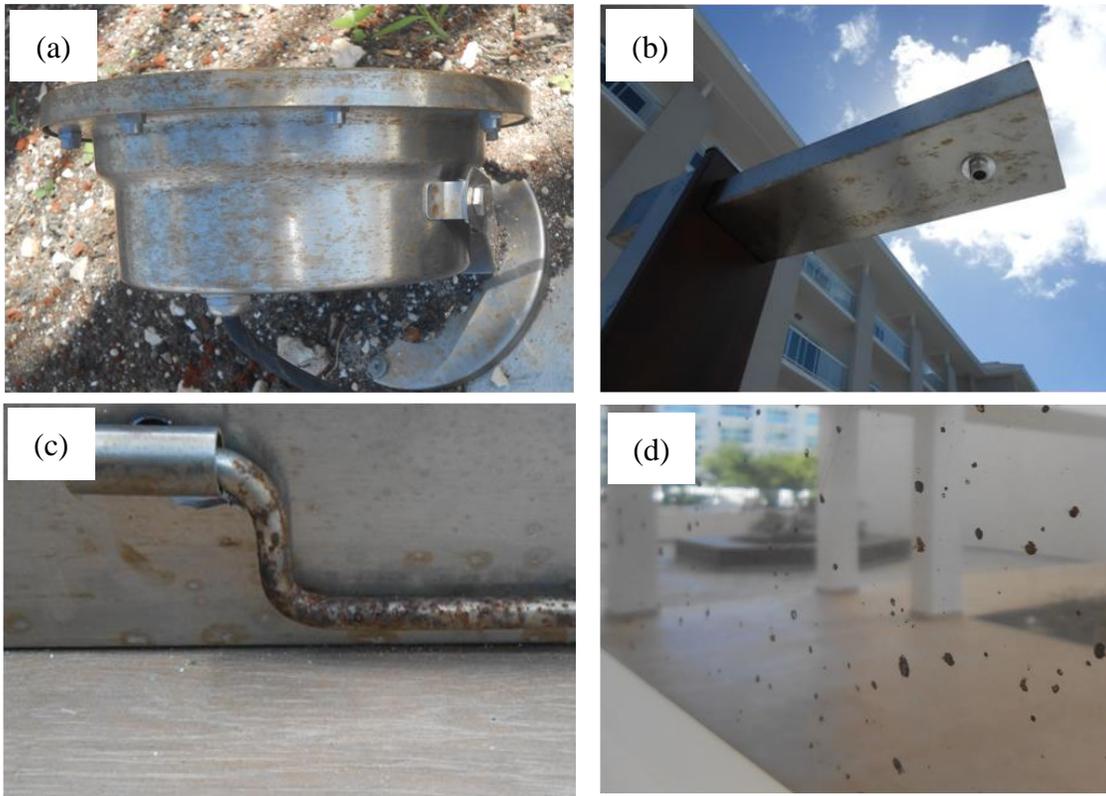


Figura 31. Corrosión por picadura, (a) lámpara, (b) ducha, (c) base de una sombrilla, (d) registro contra incendios.

3.2. Clasificación y origen de las fallas detectadas

Toda instalación destinada a producir un bien o un servicio, debe ser mantenida en condiciones que le permitan seguir en funcionamiento, logrando un producto de determinada calidad, y a un costo lo más bajo posible (Torres, 2003).

Durante la explotación de los objetos su capacidad de trabajo y los parámetros que la determinan se ven afectados por la ocurrencia de fallos. Según (Jacomino, 2015) se define como fallo al suceso que consiste en la variación de la capacidad de trabajo (total o parcial) del objeto técnico, más allá de lo permisible por las normas o sea el deterioro o desperfecto en las instalaciones, máquinas o equipos que no permiten su normal funcionamiento.

Según los distintos aspectos que implica una actividad productiva podemos clasificar las fallas de la siguiente manera: fallas que afectan a la producción, fallas que afectan a la calidad del

producto, fallas que comprometen la seguridad de las personas y fallas que degradan el ambiente.

Dentro del hotel Paradisus las principales fallas que se observaron son aquellas que afectan la calidad del producto o sea se detectó altos grados de corrosión en gran parte del equipamiento e infraestructura de acero inoxidable lo que en algunos casos implica que el equipo pueda continuar ofreciendo sus servicios al cliente o solo afectar la buena apariencia del hotel. En cualquier caso, es necesario analizar el origen de las fallas. Según (Jacomino, 2015) se dan casos en que el propio fabricante, por desconocer las condiciones en que trabajará, realiza un diseño no adecuado de estas máquinas o equipos o solamente no realiza una correcta selección del material a utilizar en el diseño. Este tipo de situación es muy difícil de revertir, y es probable que haya que asumir un alto índice de desperfectos.

Ya que en muchos casos se comprobó que si se utilizó el material adecuado para determinados elementos dentro de la infraestructura y el equipamiento cabe mencionar que la falla de dicho material sea por defectos de fabricación. Si en la fabricación se descuida el control de la calidad de los materiales, o de los procesos de fabricación de las piezas, las máquinas e instalaciones pueden poseer defectos como los que observamos en las instalaciones del hotel.

Además, existe otro factor que puede ser la causa de este tipo de falla y es el mal uso de las instalaciones, máquinas o equipos. Este es el más frecuente de los casos de fallas, y se producen por falta de conocimiento del modo de cuidar y preservar el acero inoxidable. En muchos casos se considera realizar una gran inversión y comprar un equipamiento de acero inoxidable creyendo que este material resistirá cualquier medio sin necesidad de un mantenimiento y esto constituye un error, el acero inoxidable es definitivamente un material con excelentes propiedades anticorrosivas y de amplio uso en el mundo pero aun así está propenso a la corrosión, y al igual que otros materiales existen métodos para evitar que estos fenómenos ocurran, por lo que es necesario tomar medidas anticorrosivas para este tipo de material sobre todo si se encuentra en un ambiente tan agresivo como lo es encontrarse cerca del mar.

3.3. Procedimiento para corregir las fallas de corrosión en el acero inoxidable

En los aceros inoxidables el Cr, que es un metal reactivo se combina con el O₂ del aire (o en cualquier otra condición oxidante) para formar una película sobre la superficie, que la aísla del

medio agresivo. La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable es el resultado de la presencia de esta fina, densa (no porosa), continua, insoluble, adherente, tenaz, autoregenerante e impermeable capa de óxido de Cr que se forma en la superficie de estos aceros que impide, una vez formada, el contacto del acero con el medio oxidante. La composición de esta película varía con el tipo de acero y con los diferentes tratamientos tales como laminado, decapado (*pickling*) y tratamiento térmico. A esta situación se la denomina pasivación.

La pasivación es la eliminación del hierro de la superficie de un acero inoxidable por medio de una disolución química, más típicamente mediante un tratamiento con una solución de ácido que eliminará la contaminación superficial (Sánchez, 2018, Flores and Djenani, 2016). Esta disolución química puede ser un oxidante suave, tal como una solución de HNO₃, para el propósito de mejorar la formación espontánea de la película pasiva (ASTM, 2012).

El procedimiento de pasivación según (Chemicals, 2016) consiste en quitar el salpicado de soldadura (si existe) y aplanar los arañazos, el desengrase para quitar el aceite y la grasa, el decapado por limpiar químicamente la superficie, la pasivación con HNO₃ para formar una capa protectora de óxido, la prueba con peróxido de hidrógeno diluido por asegurar el tratamiento exitoso.

Basado en la norma ASTM A380 se proponen un procedimiento para corregir las fallas de corrosión detectadas en la infraestructura y equipamiento de acero inoxidable existente en el hotel (ASTM, 2012). Esta norma cubre las recomendaciones y precauciones para la limpieza, descalcificación y pasivación de nuevas piezas de acero inoxidable, ensamblajes, equipos y sistemas instalados. Estas recomendaciones se presentan como un procedimiento cuando se reconoce que para un servicio en particular se desee eliminar los contaminantes superficiales que perjudiquen la resistencia normal a la corrosión, o dar lugar a la contaminación posterior del grado de acero inoxidable en particular, o causar la contaminación del producto. Para ciertas aplicaciones excepcionales, los requisitos adicionales que no están cubiertos por esta práctica pueden ser especificados por acuerdo entre el fabricante y el comprador. A pesar de que se aplican principalmente a los aceros inoxidables austeníticos, ferríticos y martensíticos. La Figura 32 muestra las etapas a seguir en dicho procedimiento.

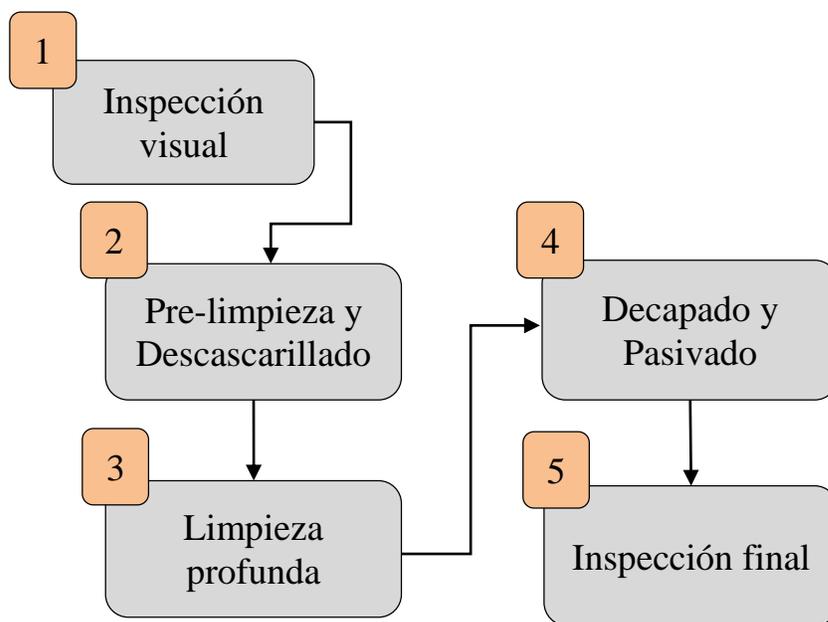


Figura 32. Etapas para la corrección del equipamiento e infraestructura de acero inoxidable.

Etapa 1. Inspección visual

En esta primera etapa es necesario realizar una inspección visual del equipamiento y elementos de la infraestructura donde se utiliza el acero inoxidable para detectar la presencia de corrosión y poder tomar las medidas correctivas que permitan alargar la vida útil, a la vez que se mantiene la estética y/o higiene en el hotel. Para esto se debe considerar el diseño de las piezas, equipos y sistemas que requerirán de las medidas anticorrosivas.

La inspección se debe realizar en lugares con la iluminación adecuada, a la vez que se debe tener acceso a las partes interiores de los equipos con el objetivo de detectar la degradación incipiente y sea más fácil detenerla. Se puede auxiliar de lámparas portátiles cumpliendo las normas de seguridad establecidas cuando su fuente de energía eléctrica es la red de hotel.

Etapa 2. Limpieza Previa y Descascarillado

En esta etapa se realiza la eliminación de grasa, aceite, pintura, suelo, arena u otra contaminación existente, prepara a la superficie para un proceso de limpieza final. Esta limpieza previa no es crítica y en general no es tan completa como las operaciones de limpiezas posteriores.

Luego de la limpieza se realiza el descascarillado que según (Inox, 2004) consiste en la eliminación de una gruesa capa de óxido visible en la superficie. Este óxido suele ser de color gris oscuro. El descascarillado es un proceso que suele constar de dos fases, una para desprender mecánicamente la (cascarilla de laminación), la segunda para retirar la cascarilla suelta de la superficie metálica.

El decapado mecánico es un método de descascarillado mediante aparatos mecánicos que incluyen el chorreado abrasivo, el cepillado de potencia, lijado y pulido. Los métodos de descascarillado mecánicos tienen la ventaja de que no producen tales condiciones físicas o químicas como ataque intergranular, picaduras, fragilización por hidrógeno o grietas.

Para algunos materiales, en particular los aceros inoxidable austeníticos cuando se encuentran en la condición sensibilizada y los aceros inoxidable martensíticos cuando está en el estado templado, el descascarillado mecánico puede ser el único método adecuado. Las desventajas del descascarillado mecánico son el costo, en comparación con la descalcificación química, y el hecho de que los defectos de la superficie (por ejemplo, vueltas, hoyos, astillas) pueden ser oscurecidos, haciéndolos difíciles de detectar.

Etapa 3. Limpieza profunda

Si es necesario se aplica esta etapa debido a que no puede dependerse solamente de los tratamientos por ácido para la eliminación de aceites, grasas, o contaminantes inorgánicos que podrían también impedir la correcta formación de la capa pasiva. Si las piezas de acero inoxidable estuviesen sensiblemente cubiertas de grasa o aceite (como suele suceder en los equipos de cocción de alimentos), entonces deberá realizarse una operación de limpieza antes del tratamiento por ácido (Inox, 2004).

La limpieza profunda incluye todas las operaciones necesarias para la eliminación de contaminantes de la superficie de los metales para asegurar máxima resistencia a la corrosión del metal; prevención de la contaminación del producto; y logro de la apariencia deseada. La planificación cuidadosa es necesaria para lograr y mantener las superficies limpias, especialmente donde se requiere un alto grado de limpieza.

La selección de procesos de limpieza es influenciada principalmente por el tipo de contaminante a eliminar, el grado requerido de limpieza, y costo (ASTM, 2012).

La Figura 33 muestra alguno de los productos que se pueden emplear en el acero inoxidable sobre todo en las áreas expuestas a procesos térmicos, de soldadura o mecánicos para regenerar la protección natural del acero.



Figura 33. Productos de limpieza, (a) pasivante líquido, (b) fluido para limpieza de soldadura de acero inoxidable

Algunos métodos de limpieza son el desengrasado y limpieza general la cual puede llevarse a cabo por inmersión, limpiando con pulverización alcalina, emulsión, disolvente, o productos de limpieza detergentes o una combinación de éstos; para el desengrasado por vapor pueden ser utilizados diversos productos de limpieza; con o sin un limpiador; o por alta presión de agua de inyección. Es el método de limpieza disponible en cualquier momento dado durante la fabricación o la instalación de un componente o sistema en función de la complejidad geométrica del artículo, el tipo de contaminación presente, el grado de limpieza requerido, y el costo. Particular atención debe ejercerse al limpiar sistemas cerrados y los artículos con hendiduras o huecos internos para evitar la retención de las soluciones de limpieza y los residuos.

Otro método de limpieza es la limpieza alcalina la cual se utiliza para la eliminación de grasa, semisólido, y los contaminantes sólidos a partir de metales. En gran medida las soluciones utilizadas dependen de la acción de los detergentes, de sus cualidades para la limpieza y la eficacia.

El disolvente de limpieza es un procedimiento para eliminar contaminantes de las superficies de metal por inmersión o por pulverización o limpiando con disolventes comunes orgánicos tales como los petróleos alifáticos, hidrocarburos clorados, o mezclas de estas dos clases de disolventes. La limpieza se realiza generalmente por encima de la temperatura ambiente. Prácticamente se puede limpiar todo el metal con los disolventes utilizados comúnmente a menos que el disolvente se ha contaminado con ácido, aceite, u otro material extraño. Los disolventes clorados no se recomiendan para el desengrasado de los sistemas o elementos con grietas o huecos internos cerrados.

El desengrasado de vapor es un término genérico aplicado a un proceso de limpieza que emplea vapores calientes de un disolvente clorado volátil para eliminar los contaminantes, y es particularmente eficaz contra aceites, ceras y grasas. La limpieza y la estabilidad química del disolvente de desengrasado son factores críticos en la eficacia del vapor y el posible ataque químico del metal. El agua en el tanque de desengrasado o en el artículo que es limpiado puede reaccionar con el disolvente para formar ácido clorhídrico, que puede ser perjudicial para el metal. Los materiales tales como siliconas pueden producir espuma en la interface líquido-vapor y puede resultar en la recontaminación de la pieza de trabajo. Desengrasado al vapor con disolventes clorados, no se recomienda para los sistemas o elementos con huecos internos o grietas cerradas.

La limpieza ultrasónica se utiliza a menudo en conjunción con ciertos limpiadores disolvente y detergente para aflojar y retirar los contaminantes de cavidades profundas y otras áreas difíciles de alcanzar, especialmente en las pequeñas piezas de trabajo.

La limpieza mecánica, con chorro de vapor usando abrasivo en suspensión o cepillo de alambre son a menudo deseables para la eliminación de contaminantes de la superficie y de la herrumbre. Aunque las superficies pueden parecer limpias a simple vista después de tales procedimientos, películas residuales pueden estar presentes y podrían impedir la formación de una condición pasiva óptima.

Limpieza a vapor se utiliza sobre todo para la limpieza de objetos voluminosos que son demasiado grandes para absorber tanques o equipos de pulverización de lavado. Se puede utilizar con los agentes de limpieza tales como emulsiones, disolventes, álcalis, y detergentes.

Limpieza con ácido es un proceso en el que una solución de un ácido mineral u orgánico en agua, a veces en combinación con un agente humectante o detergente, o ambos, se emplea para eliminar el hierro y otra contaminación metálica. Las superficies deben ser limpiadas previamente para eliminar los aceites y grasas antes de la limpieza ácida. Las técnicas comunes para la limpieza ácida son las de inmersión, frotamiento, y la pulverización. La máxima calidad de la superficie se consigue mejor mediante el uso de un tiempo mínimo de limpieza en una concentración de ácido y temperatura dada. Después de la limpieza con ácido la superficie debe enjuagarse a fondo con agua limpia para eliminar todas las trazas de ácido y se seca a fondo después del enjuague final.

En la limpieza de soldaduras y áreas soldadas el área de la articulación y los alrededores del metal, en ambas caras de la soldadura, debe limpiarse inmediatamente antes de comenzar a soldar. La limpieza puede llevarse a cabo mediante el cepillado con un cepillo de acero inoxidable o frotando con un paño limpio y sin pelusa humedecido con el disolvente, o ambos. Cuando la articulación se ha enfriado después de la soldadura, quitar todas las salpicaduras de soldadura. Si se considera necesaria la limpieza química del lado del proceso de la soldadura, se deben observar las precauciones de esta norma. Los aceros inoxidables austeníticos en la condición sensibilizada no deben generalmente ser decapadas con soluciones de ácido nítrico-fluorhídrico.

Etapa4. Decapado y Pasivado

El decapado es la eliminación de una fina capa de metal de la superficie del acero inoxidable donde se suelen emplear mezclas de ácido nítrico y fluorhídrico. Es también utilizado para eliminar las manchas de termocoloración por soldadura de la superficie de elementos de acero inoxidable, en los que se ha reducido el contenido de cromo de la superficie del acero (Inox, 2004). Normalmente el acero se suministra con la condición de decapado por lo que generalmente no es necesario aplicar este procedimiento durante la fabricación del equipo o la construcción de los sistemas (ASTM, 2012).

Según (ASTM, 2012) el pasivado se suele producir de modo espontáneo en las superficies del acero inoxidable, pero a veces puede ser necesario favorecer el proceso con tratamientos de ácido oxidante. A diferencia con el decapado, durante el pasivado mediante ácido no se elimina

metal alguno de la superficie. En cambio, la calidad y el espesor de la capa pasiva crecen rápidamente en el proceso de pasivado mediante ácido.

Pueden darse circunstancias en que los procesos de decapado y pasivado se produzcan sucesivamente (en lugar de simultáneamente), durante tratamientos que empleen HNO₃, si bien el por sí mismo sólo podrá pasivar las superficies de acero inoxidable. No es un ácido efectivo para decapar aceros inoxidables. La descalcificación química (decapado) incluye soluciones acuosas de H₂SO₄, HNO₃ y HF como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos de descalcificación química para aceros inoxidables.

Acero ^A	Condición ^B	Tratamiento			
		Código	Solución, Volumen, % ^C	Temperatura °C	Tiempo, min
Serie 200, 300 y 400	Solamente recocido	A	H ₂ SO ₄ , de 8 a 10 % ^D Seguido por tratamiento D o F	de 66 a 82	de 5 a 45 máx. ^E
Serie 200, 300 y 400 con contenido del 16 % de Cr o más	Solamente recocido	B	HNO ₃ , de 15 a 25 % más HF, de 1 a 8 % ^{F,G}	70-140 máx. de 21 a 60	de 5 a 30 ^E
Todas las aleaciones de maquinado libre y la serie 400 con contenido menor del 16 % de Cr	Solamente recocido	C	HNO ₃ , de 10 a 15 % más HF, de 0,5 a 1,5 % ^{F,G}	hasta 140 con cuidado	de 5 a 30 ^E

^A Esta tabla es aplicable a los grados equivalentes a las familias de materiales de la lista (serie 200, 300 y 400).

^B Otros tratamientos térmicos pueden ser aceptables.

^C Solución preparada a partir de reactivos con el siguiente %: H₂SO₄, 98; HNO₃, 67; HF, 70.

^D Inmersión en esta solución durante unos pocos minutos, seguido de enjuagado con agua y tratamiento con HNO₃ - HF como se ha señalado.

^E Tiempos de contacto mínimo necesario para obtener la superficie deseada, se deben utilizar con el fin de evitar el exceso de decapado.

^F Por razones de comodidad y seguridad de manipulación, las formulaciones comerciales contienen fluoruro y sales que pueden resultar útiles en lugar de HF para la preparación de soluciones de HNO₃- HF.

^G Después de decapado y aclarado con agua, una solución de permanganato cáustica acuosa que contiene NaOH, 10 % en peso y KMnO₄, 4 % en peso, de 71 a 82 °C, 5 a 60 min, se puede utilizar como una inmersión final para la eliminación de carbón, seguido de aclarado con agua a fondo y secado.

La solución de decapado de HNO₃ y HF es ampliamente utilizada por los fabricantes de equipos de acero inoxidable ya que elimina la contaminación metálica de la soldadura. Su uso debe ser cuidadosamente controlado y no se recomienda para los aceros inoxidables austeníticos sensibilizados o aceros inoxidables martensíticos endurecidos o donde pueda entrar en contacto con las piezas de acero al carbono, ensamblajes, equipos y sistemas.

Las superficies a ser decapadas se suelen someter a una limpieza previa antes del tratamiento químico. Dependiendo del tamaño y la forma del producto, se prefiere la inmersión total en la solución de decapado. Donde una inmersión es poco práctica, la descalcificación puede realizarse por frotamiento o pulverización de las superficies. La superficie debe mantenerse en contacto con la solución durante aproximadamente de 15 a 30 minutos o hasta que la inspección muestre que la eliminación a completa escala se ha logrado.

Después de la descalcificación química, las superficies deben estar completamente enjuagadas para eliminar los productos químicos residuales; una etapa de neutralización a veces es necesaria antes del enjuague final.

Etapa 5. Inspección final

La inspección final requiere técnicas que deben representar, el establecimiento de las pruebas más fiables y normas de ensayo para alcanzar la eficacia deseada de piezas, equipos y sistemas. La prueba debe ser lo suficientemente amplia para garantizar la limpieza de todas las superficies expuestas. Los siguientes representan algunas pruebas que se han aplicado con éxito a los aceros inoxidables. El comprador tendrá la opción de especificar en sus documentos de compra que algunas de estas pruebas de control de calidad pueden utilizar como base para la aceptabilidad de la limpieza o el estado de pasividad del elemento de acero inoxidable.

Inspección en bruto:

Los artículos limpiados de acuerdo con esta práctica deben estar libres de pintura, aceite, grasa, soldadura de reflujo, escoria, suciedad, basura, metal y partículas abrasivas. Parte del polvo atmosférico depositado normalmente estarán presentes en las superficies exteriores, pero no debe estar presente en las superficies interiores. La inspección visual debe llevarse a cabo bajo un nivel de iluminación determinado y debe ser complementado con el equipamiento necesario, para examinar adecuadamente las superficies difíciles de ver o inaccesibles.

Inspección de precisión:

El Anillo Solvente de prueba es una prueba para revelar la presencia de películas transparentes muy adherentes que no se pueden revelar mediante inspección visual. Se prepara un estándar de comparación y se coloca en un microscopio, se desliza una sola gota del disolvente de alta pureza dejando que se evapore. Seguidamente se deja caer otra gota en la superficie que va a evaluarse, se agita brevemente utilizando una varilla de vidrio que permita que la gota se evapore. Es preciso hacer tantas diapositivas de prueba como sea necesario para dar una muestra razonable de la superficie que está siendo examinada. Si el material extraño se ha disuelto por el disolvente, un anillo distinto será formado en el borde exterior que se evapora. La naturaleza del contaminante se puede determinar por análisis infrarrojo, comparando el análisis infrarrojo con el de la norma.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Conclusiones

CONCLUSIONES

1. Las propiedades de los aceros inoxidable permiten diversas aplicaciones en la industria química, elaboración de prótesis y dispositivos médicos, equipamiento gastronómico e infraestructura de grandes edificios, sin embargo, bajo determinadas condiciones se degradan afectando su desempeño, aspectos que no siempre se toma en cuenta a la hora de seleccionar el material o comprar un equipamiento para un determinado contexto operacional.
2. En el Hotel Paradisus Los Cayos el acero inoxidable se encuentra en elementos de la infraestructura (barandas de seguridad, pasamanos, cestos de basura, registros contra incendios, etc.) y en equipamiento (luminaria, duchas, freidoras industriales, armarios refrigeradores, neveras y muebles mixtos). A pesar de su poca explotación ya presentan corrosión por picadura en soportes para sombrillas, lámparas exteriores y duchas de las áreas de piscina. Además, de corrosión galvánica en los pasamanos de las piscinas y barandas de seguridad. Sin embargo, en el Manual de SSTT que regula la actividad en el sector, no se especifican acciones correctivas ni preventivas para atenuar o eliminar estas fallas.
3. Se propone un procedimiento basado en la norma ASTM A380-06 adecuado al contexto operacional de la instalación, compuesto por cinco etapas (inspección visual, pre-limpieza y descascarillado, limpieza profunda, decapado y pasivado e inspección final) para atenuar la degradación del acero inoxidable que posibilita la corrección o atenuación de la degradación por corrosión en la infraestructura y el equipamiento del Hotel Paradisus Los Cayos.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo se recomienda:

1. Sugerir a la dirección del Hotel Paradisus Los Cayos la aplicación del procedimiento propuesto para corregir los efectos de la degradación del acero inoxidable en la infraestructura y equipamiento evitando oportunamente la necesidad de reemplazo de los mismos.
2. Realizar un diagnóstico a todos los equipos de acero inoxidable así como elementos de la infraestructura para trazar las acciones correctivas a nivel de la instalación.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, C. & RECIO, F. Aceros inoxidables de alta resistencia mecánica en medios alcalinos con cloruros. *Anales de Mecánica de fractura*, 2007. 649-654.
- ALTER, L. B. & MESTRES, F. L. 2004. *Corrosión y protección*, Univ. Politèc. de Catalunya.
- ASHBY, M. F. 2008. *Materiales para ingeniería 1. Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño*, Reverté.
- ASTM 2012. Limpieza, decapado y pasivación del acero inoxidable de Componentes, Equipos y Sistemas.
- BADDOO, N. 2008. Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities. *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 1199-1206.
- BASTIDAS, D. M. & MEDINA SÁNCHEZ, E. 2013. Armaduras de acero inoxidable.
- CASTELLANOS MACHADO, C. A., HERNÁNDEZ ARO, Y., CASTELLANOS CASTILLO, J. R. & CAMPOS CARDOSO, L. M. 2014. La competitividad del destino turístico Villa Clara, Cuba. Identificación de sus factores determinantes mediante análisis estructural (MIC-MAC). *Estudios y perspectivas en turismo*, 23.
- CENDI, C. N. P. E. D. D. A. I. 2003. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.
- COBB, H. M. 2010. *The history of stainless steel*, ASM International.
- CHÁVEZ, E. S. & OSORIO, J. A. L. O. 2006. Turismo y sustentabilidad: de la teoría a la práctica en Cuba. *Cuadernos de turismo*, 201-221.
- CHEMICALS, S. 2016. *Procedimiento de pasivación H2O2* [Online].
- DEL CID, A. P. G., HUERTA, E. O., CASALS, M. C. M., GONZÁLEZ, M. D. L. & ESTEBAN, M. V. U. 2001. Estudio de la resistencia a la corrosión localizada del acero inoxidable superaustenítico 24, 1Cr22Ni7, 1Mo en mezclas que contienen iones cloruro y cloruro-fluoruro. *Revista de metalurgia*, 37, 499-508.
- DUFFÓ, G. S. 2010. Degradación de Materiales-Corrosión. *Ideas*.
- EDWIN GAMBOA POVEDA, R. A. M. 2011. *Acero inoxidable 316 y 316 L propiedades y características Fisico-Químicas.*, Fundación Universitaria los Libertadores.
- FELIU, S. & ANDRADE, M. C. 1991. Corrosión en la Industria Química. In: C.S.I.C. (ed.) "Corrosión y Protección Metálicas". Universidad de Alicante.
- FLORES, A. & DJENANI, K. 2016. Evaluación del uso del ácido cítrico y sus disoluciones con otras sustancias orgánicas para llevar a cabo el proceso de electropulido del acero inoxidable 304.
- GAVIOTA 2011. Manual de Servicios Técnicos del Turismo. La Habana: Gaviota S. A.
- GIL, F., GINEBRA, M. & PLANELL, J. 1999. Metales y aleaciones para la sustitución de tejidos duros. *Gil, FJ [et al.]. Metales y aleaciones para la sustitución de tejidos duros. Biomecánica*, 1999, vol. VII, núm. 13, p. 73-78.

- GONZÁLEZ, O. & SANTOS, G. 2003. Evaluación del grado de sensibilización en el acero inoxidable AISI. *Revista de metalurgia*, 39, 80-85.
- GULIAEV, A. P. 1978. *Metalografía*, Moscú, Mir.
- INALEF, P. P. A. & AGUAYO, N. A. F. 2006. *Evaluación de procedimientos para soldabilidad de los aceros inoxidables*. Universidad de Magallanes.
- INDURA 2010. Manual Aceros Inoxidables.
- INFANTE, C. I. S. 2013. *Estudio de Corrosión de Acero Inoxidable AISI 316 en soluciones cloradas.*, Universidad de Chile.
- INOX, E. 2004. Decapado y pasivado del acero inoxidable.
- INSTITUTE, N. 2012. Los primeros cien años del acero inoxidable : 1912-2012. *Nickel la revista dedicada al níquel y sus aplicaciones*.
- JACOMINO, J. L. G. 2015. Epítome del Mantenimiento.
- LÓPEZ GRESES, C. 2017. *Estudio de la corrosión bajo tensión de laminación en la soldadura TIG de acero AISI 316 con aporte ER 316L*.
- MARTINELLI, A., NOVOA, M., OLDANI, C. & COROMINAS, A. Síntesis y caracterización de hidroxiapatita para implantes biomédicos. XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería SABI, 2011.
- OHANIAN, M., DÍAZ, V., CORENGIA, M. & ZINOLA, C. 2011. Estudio de corrosión galvánica en pares latón/acero inoxidable y latón/fundición de hierro. *Revista de metalurgia*, 47, 319-328.
- ORTIZ, A. 2007. Aceros inoxidables. Desarrollo y aplicaciones.
- PADILLA, E. D. 1999. Aplicaciones de los aceros inoxidables. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 2, 11-22.
- PANCORBO, F. J. 2010. *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*, Marcombo.
- QUICENO, M. G. 2015. *Análisis comparativo de la velocidad de corrosión por picadura de los aceros inoxidables austeníticos UNS S30403 y UNS S20100, bajo norma ASTM G48, en diferentes tiempos de inmersión*. Universidad Tecnológica de Pereira., Universidad Tecnológica de Pereira.
- RAICHEV, R., VELEVA, L. & VALDEZ, B. 2009. Corrosión de metales y degradación de materiales. *Editorial UABC*, 155-170.
- RICAURTE OSPINA LOPEZ, H. A. C., HERNANDO PARRAL 2007. Soldabilidad en aceros inoxidables y aceros disimiles.
- RODRIGUEZ, L. L., ESTUPIÑAN, H. A., PEÑA, D. Y. & VÁSQUEZ, C. 2007. Comportamiento electroquímico en ringer´s de recubrimientos de hap obtenidos por electrodeposición sobre acero inoxidable 316 lvm anodizado. *Scientia et technica*, 1.
- ROGERS, R. P. 2009. *An economic history of the American steel industry*, Routledge.

- ROMÁN, A. S., BARRIENTOS, M. S., HARMS, F., MENDEZ, C. M. & ARES, A. E.
Resistencia corrosión de acero inoxidable AISI 304L en biodiesel de soja. ANALES
AFA, 2016.
- RUBIO-DELGADO, A., HERNÁNDEZ-HURTADO, H., MARAÑA-PEÑA, V., DEL
PORTILLO, F. J. A., CUPUL-MAGAÑA, F. G. & ESTRADA-DURÁN, G. 2000.
Cirugía ortopédica reconstructiva unilateral de maxilar inferior en un ejemplar juvenil
de *Crocodylus acutus*: reporte de caso. *Revista Biomédica*, 11, 213-214.
- SALAZAR-JIMÉNEZ, J. A. 2015. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que
influyen y control para la protección de materiales. 10.
- SÁNCHEZ, P. C. P. 2018. Decapado y pasivado del acero inoxidable.
- TORRES, L. D. 2003. Mantenimiento. Su Implementación y Gestión.