

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ciencia Ingeniería de los Materiales

“Diseño de un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñan”

Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Materiales con el grado académico de Licenciatura

Realizado por: Ing. Abril Irán Chavarría Ledezma

Profeso Guía: Ing. Óscar Alberto Chaverri Quirós, M. Sc.

Profesor Lector: Ing. Adrián José Quesada Martínez, M. Sc.

Profesor Lector: Ing. Roberto Fernández Chaves, Lic.

Asesor Industrial: Ing. Jesús Alberto Mora Muñoz

Cartago Noviembre, 2023

**Escuela Acreditada por la Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería y
Arquitectura**

ACTA DE ENTREGA

ACTA DE ENTREGA DEL INFORME FINAL DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

Se certifica que se ha recibido el Informe Final del Proyecto Final de Graduación, realizada por la estudiante Abril Irán Chavarría Ledezma, carné 2017078624, la cual se titula: “Diseño de un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñan” y que se realizó en Cartago en el II Semestre de 2023.

El Proyecto Final de Graduación es un requisito académico del Programa de Bachiller en Ingeniería en Materiales de la Escuela de Ciencia e Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Este documento ha sido declarado:

Públicos

Confidenciales

Ing. Óscar Alberto Chaverri Quirós, M. Sc.
Profesor Guía

Abril Irán Chavarría Ledezma
Ing. Abril Irán Chavarría Ledezma
Estudiante

Ing. Adrián José Quesada Martínez, M. Sc.
Profesor Lector

Ing. Roberto Fernández Chaves, Lic.
Profesor Lector

Ing. Ronald Jiménez Salas, MeT.
Director Escuela de Ciencia e
Ingeniería de los Materiales

Cartago, 27 de noviembre de 2023

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA

CONSTANCIA DE DEFENSA PUBLICA DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

El presente Proyecto Final de Graduación titulado “Diseño de un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñan” y realizado en la empresa “Emerson Electric Costa Rica Limitada”, durante el II Semestre de 2023, ha sido defendido, ante el Tribunal Examinador integrado por los profesores _____; como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Materiales de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Este documento y su defensa ante el Tribunal Examinador han sido declarados:

Públicos

Confidenciales

Ing. Óscar Alberto Chaverri Quirós, M. Sc.
Profesor Guía

Abril Irán Chavarría Ledezma

Ing. Abril Irán Chavarría Ledezma
Estudiante

Ing. Adrián José Quesada Martínez, M. Sc.
Profesor Lector

Ing. Roberto Fernández Chaves, Lic.
Profesor Lector

Ing. Ronald Jiménez Salas, MeT.
Director Escuela de Ciencia e
Ingeniería de los Materiales

Cartago, 27 de noviembre de 2023

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Señores

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Biblioteca José Figueres Ferrer

Yo, Abril Chavarría Ledezma, carné 2017078624, autorizo (X) no autorizo () a la Biblioteca José Figueres del Instituto Tecnológico de Costa Rica disponer del Trabajo Final realizado por mi persona, con el título “Diseño de un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñan” para ser ubicado en el Repositorio institucional y Catálogo SIBITEC para ser accesado a través de la red Internet.

Firma de estudiante



Cédula

604500105

AGRADECIMIENTO

Quiero dejar patente mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de mi Proyecto Final de Graduación.

Mi agradecimiento al Ing. Jesús Mora Muñoz, asesor industrial y demás compañeros de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada, por su apoyo y disposición en todo momento. Mención especial merece el Ing. Óscar Alberto Chaverri Quirós, M. Sc., profesor guía, por su orientación y consejos durante el desarrollo de este proyecto.

De la misma manera agradezco a los profesores que estuvieron de una u otra forma involucrados en mi proceso de formación académica universitaria, a todos muchas gracias.

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mi familia por ser mi apoyo incondicional y mi fuerza, y a mi novio por siempre creer en mí. Sin ustedes no hubiera sido posible el desarrollo de este proyecto ni la culminación de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ACTA DE ENTREGA.....	viii
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA	ix
CARTA DE ENTENDIMIENTO	x
AGRADECIMIENTO	xi
DEDICATORIA	xii
ÍNDICE GENERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
1 Introducción.....	20
1.1. Identificación de la empresa.....	20
1.2. Justificación.....	21
1.3. Impacto Socio-Ambiental	22
1.4. Objetivos	23
1.4.1. Objetivo General.....	23
1.4.2. Objetivos Específicos	23
1.5. Alcances y limitaciones.....	24
1.5.1. Alcances.....	24
1.5.2. Limitaciones	24
2 Marco Teórico.....	25
2.1. Instrumentos de Medición Micro Motion Coriolis	25
2.2. Materiales:.....	26
2.2.1. Aceros Inoxidables	26
2.2.2. Aceros Inoxidables Súper Dúplex	28

2.2.3. Aleación Níquel C-22.....	28
2.2.4. Titanio y Tantalio	29
2.3. Fluidos corrosivos y no corrosivos.....	30
2.4. Entornos	30
2.5. Materiales que mitigan la corrosión	31
2.6. Factores que influyen en el deterioro y desgaste de los materiales.....	32
2.7. Impacto ambiental de la industria siderúrgica.....	34
3 Metodología.....	36
3.1. Selección de los materiales	36
3.2. Revisión bibliográfica de los fluidos corrosivos y no corrosivos	38
3.3. Análisis de compatibilidad de los materiales de construcción respecto a los fluidos estudiados.....	39
3.4. Análisis económico de los materiales	39
3.5. Análisis de impacto ambiental de los materiales	39
4 Resultados y Análisis.....	40
4.1. Selección de materiales	40
4.2. Comparación de los materiales de construcción de los medidores de flujo, presión y temperatura vs los diferentes fluidos corrosivos y no corrosivos	43
4.3. Selección del material de construcción para cada fluido corrosivo y no corrosivo	49
4.4. Diseño del manual de selección de materiales.....	50
4.5. Capacitación de los ingenieros a cargo	52
4.6. Análisis económico	53
4.7. Análisis de impacto ambiental	54
5 Conclusiones.....	56
6 Recomendaciones	57
Bibliografía	58
Anexos	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Medidor de flujo elite Micro Motion. Fuente: Emerson ES., s. f.	25
Figura 2.2. Aceros inoxidables. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.	27
Figura 2.3. Aceros inoxidables súper dúplex. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.	28
Figura 2.4. Aleación de Níquel C-22. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.	29
Figura 2.5. Titanio. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.	29
Figura 2.6. Tantalio. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.	30
Figura 3.1. Selección del nivel 3. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	37
Figura 3.2. Selección de “Todos los materiales”. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	37
Figura 3.3. Selección de “Gráfico/Seleccionar”. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	38
Figura 4.1. Resultados de la selección de materiales resistentes al agua fresca y salada. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	40
Figura 4.2. Resultados de la selección de metales y aleaciones resistentes al agua fresca y salada. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	41
Figura 4.3. Resultados de la selección de metales y aleaciones resistentes al agua fresca y salada y ácidos fuertes. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	42
Figura 4.4. Resultados de la selección de metales y aleaciones resistentes al agua fresca y salada, ácidos fuertes, solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	42
Figura 4.5. Acero inoxidable 316L - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	44
Figura 4.6. Acero inoxidable 304L - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	45
Figura 4.7. Acero inoxidable súper dúplex - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	46
Figura 4.8. Aleación de níquel C-22 - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.	47

Figura 4.9. Titanio - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.....	48
Figura 4.10. Tantalio - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.....	48
Figura 4.11. Folleto informativo, página 1. Manual de selección de materiales. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 4.12. Folleto informativo, página 2. Manual de selección de materiales. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 4.13. Capacitación de los ingenieros a cargo del departamento de Ingeniería de Ventas Internas de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada. Fuente: Elaboración propia..	52
Figura 4.14. Capacitación de los ingenieros a cargo del departamento de Ingeniería de Ventas Internas de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada. Fuente: Elaboración propia..	53
Figura 4.15. Resultado de análisis de impacto ambiental de los diferentes materiales de construcción. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Selección de materiales y sus respectivos ambientes. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 4.2. Materiales de construcción - Precio en colones por kg. Fuente: Elaboración propia.	54

RESUMEN

Chavarría, Abril. Agosto, 2023. “Diseño de un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñan”, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Profesor Asesor: Óscar Alberto Chaverri Quirós.

Este proyecto fue desarrollado para la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada, localizada en San Rafael de Escazú y consiste en el diseño de un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñan una vez son adquiridos por el cliente. Durante el diseño de este manual se estudiaron los diferentes materiales de construcción de los medidores disponibles en la empresa y los diferentes ambientes a los que estos son sometidos con mayor frecuencia en la industria. Se realiza una investigación bibliográfica de cada uno de los diferentes materiales y los respectivos entornos para, con esta información, poder realizar un análisis comparativo basado en la durabilidad y resistencia a la corrosión de cada material mediante el uso del software Granta CES Edupack, esto con el fin de determinar cuáles materiales son aptos para trabajar en conjunto con determinados entornos, además de un análisis económico y ambiental que conlleva el uso de cada material. Una vez obtenidos los resultados de los diferentes análisis se expone ante el asesor industrial y demás ingenieros involucrados en el proceso y se llega a un acuerdo de selección de materiales para llevar a cabo una capacitación del personal encargado de realizar las revisiones técnicas de las órdenes de compra. Se concluye con el diseño de un folleto informativo de selección de materiales, el cual servirá como herramienta de guía para poder escoger de manera correcta y eficaz los medidores de flujo, presión y temperatura en sus tareas de trabajo diarias.

ABSTRACT

This project was developed for the company Emerson Electric Costa Rica Limitada, located in San Rafael, Escazú and consists of the design of a manual for the selection of construction materials for flow, pressure and temperature measurement instruments offered by the company Emerson Electric Costa Rica Limited according to the characteristics and requirements of the environments in which they operate once they are acquired by the client. During the design of this manual, the different construction materials of the meters available in the company and the different environments to which they are most frequently subjected in the industry were studied. A bibliographic research is carried out on each of the different materials and the respective environments in order to, with this information, be able to carry out a comparative analysis based on the durability and corrosion resistance of each material through the use of the Granta CES Edupack software, this with in order to determine which materials are suitable to work together with certain environments, in addition to an economic and environmental analysis that the use of each material entails. Once the results of the different analyzes have been obtained, they are presented to the industrial advisor and other engineers involved in the process and an agreement is reached on the selection of materials to carry out training for the personnel in charge of carrying out the technical reviews of the production orders. buys. It concludes with the design of an informative material selection brochure, which will serve as a guiding tool to choose flow, pressure, and temperature meters correctly and effectively in your daily work tasks.

1 Introducción

1.1. Identificación de la empresa

La empresa Emerson se fundó en 1890 en St. Louis, Missouri, como fabricante de motores y ventiladores eléctricos. En algo más de 100 años, creció desde su origen como fabricante regional hasta convertirse en un centro neurálgico de soluciones tecnológicas a nivel global (Emerson CR., s. f.).

El portafolio líder de la industria de Emerson permite identificar y enfrentar los desafíos de un mercado cada vez más complejo e impredecible desde una posición de fortaleza, fomentando el valor a corto y largo plazo como un socio de confianza para sus clientes. Los líderes de la industria consideran a Emerson un socio de confianza que innova continuamente para ayudarles a enfrentar el próximo gran desafío. Emerson cuenta con un sólido portafolio de automatización que le permite colaborar en diferentes negocios para desarrollar soluciones más completas para clientes basadas en su profunda experiencia en la industria, aprovechando su presencia global, experiencia en el dominio y software industrial para ayudar a las industrias a lograr objetivos clave de sostenibilidad y funcionamiento (Emerson CR., s. f.).

Actualmente, Emerson Electric CR Limitada se encarga, entre otras cosas, de la fabricación de tecnologías Micro Motion Coriolis, los cuales son medidores de flujo, presión y temperatura que brindan una experiencia superior en medición de flujo al tiempo que brindan a los clientes la confianza y el conocimiento que necesitan para mejorar continuamente la seguridad y la eficiencia en las aplicaciones de procesos más críticos.

El presente proyecto se desarrolla para el área de Ingeniería de Ventas Internas del departamento de Servicio al Cliente de Latinoamérica en la sede de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada localizada en San Rafael de Escazú, Costa Rica, a cargo del asesor industrial Jesús Mora Muñoz.

1.2. Justificación

Los medidores Coriolis son tan confiables para medir químicos corrosivos como lo son para medir fluidos no corrosivos, sin embargo, es necesario que los colaboradores conozcan cuales fluidos son compatibles con el material de construcción del medidor, esto con el fin de proporcionar una selección de medidor compatible para cada aplicación.

La variedad de entornos posibles del medidor dificulta la definición de la compatibilidad de fluidos para cada posible combinación de materiales. Sin embargo, es posible elegir el mejor material comparando las limitaciones de la aleación según la composición química de sus fluidos. La composición química de la mayoría de los ambientes puede ser caracterizada por las siguientes variables: concentración de halógenos, pH, potencial químico y temperatura, por lo que se requiere conocer las características físicas y químicas de los materiales con el fin de determinar su compatibilidad respecto a los diferentes entornos en los que pueden ser utilizados en la industria.

Este proyecto tiene como fin diseñar un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñan, esta guía consistirá en un documento de preventa que facilite la selección del material correcto para los medidores Micro Motion que se encargan de medir productos químicos corrosivos. Además, una vez completado el documento final se capacitará al personal exponiendo lo estudiado con el fin de brindar una herramienta de referencia a la hora de realizar las revisiones técnicas de los modelos a cotizar y comprar por parte de sus clientes.

La guía propuesta busca mediante la aplicación de conceptos teóricos y prácticos sobre ingeniería en materiales facilitar la selección del material correcto para los medidores Micro Motion que cumplirán su función en ambientes químicos corrosivos. Actualmente, los ingenieros encargados de realizar las revisiones técnicas de los modelos de medidores de flujo, presión y temperatura cotizados por los clientes de la empresa Emerson Electric CR Limitada no cuentan con una guía para seleccionar el material del medidor respecto al ambiente en el que desarrollarán su función. Es por esto por lo que cada vez que un cliente solicita asesoramiento para seleccionar el medidor que mejor se ajuste a sus necesidades los ingenieros

deben invertir tiempo en realizar una investigación con el fin de determinar cuál de los medidores que ofrece la empresa es apto para cada situación determinada.

Elegir el material correcto del medidor requiere distintas consideraciones que no pueden satisfacerse mediante una rápida investigación, es por esto por lo que se llega a la conclusión de realizar un documento escrito que funcione como guía rápida y certera para poder seleccionar el material correcto para cada entorno, ya sea un ambiente químico corrosivo o no corrosivo.

Esta guía permitirá conocer cuales materiales son adecuados para cada entorno y tomará como referencia los materiales y entornos comúnmente cotizados, por lo que facilitará la selección de estos, haciendo uso de una menor cantidad de recursos y en un menor tiempo.

1.3. Impacto Socio-Ambiental

El cumplimiento ambiental forma parte de la base fundamental de los compromisos y estrategias de sustentabilidad de Emerson.

Con el desarrollo de este proyecto se busca contribuir con la empresa desde una perspectiva de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales con el fin de que la selección de materiales sea efectiva y logre minimizar la huella ambiental.

Además, es importante mencionar que Emerson se compromete a cumplir o superar las leyes y regulaciones ambientales aplicables y revisa periódicamente sus instalaciones y operaciones para garantizar el cumplimiento legal de las mismas. Para acelerar las acciones sobre sostenibilidad ambiental, Emerson ha desarrollado objetivos a largo plazo sobre la reducción de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), consumo de energía y generación de residuos (Global Environmental Management and Sustainability Policy, 2023).

Emerson ha establecido el objetivo de alcanzar cero emisiones netas de GEI en los Alcances 1, 2 y 3 para 2045 en comparación con el punto de referencia de 2021. Para el 2030 aspiran a alcanzar cero emisiones netas de GEI de alcance 1 y 2 en todas sus operaciones, y una reducción absoluta del 25 % en toda su cadena de valor (emisiones de GEI de alcance 3) a partir de 2021. Los objetivos a plazo han sido aprobados por la iniciativa Science Based Targets por estar en

línea con la trayectoria de temperatura de 1,5 °C, necesaria para cumplir los objetivos establecidos en el Acuerdo de París. Más específicamente, para 2030, según Global Environmental Management and Sustainability Policy (2023) Emerson persigue:

- Reducción del 90% de las emisiones de GEI de Alcance 1 y 2 de las operaciones
- Una reducción del 25% de la intensidad energética operativa (normalizada a las ventas)
- Obtener el 100% de la electricidad renovable en sus operaciones.
- Una reducción del 25% de las emisiones de GEI de Alcance 3 en toda su cadena de valor (100% de cobertura).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un manual que funcione como guía de fácil acceso para la selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada de acuerdo con las características y requerimientos de los ambientes en los que se desempeñarán.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica de los diferentes materiales de construcción del medidor disponibles en la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada con el fin de determinar sus propiedades físicas y químicas.
- Identificar los requerimientos de los fluidos corrosivos y no corrosivos a los que se encuentran expuestos los medidores con el fin de determinar que estos sean compatibles con el material de construcción de estos.
- Realizar un análisis de compatibilidad entre los materiales de construcción del medidor y los diferentes fluidos a los que son expuestos en la industria de acuerdo con las propiedades físicas y resistencia a la corrosión de cada material.
- Capacitar a los ingenieros a cargo con el fin de que tengan una referencia a la hora de realizar las revisiones técnicas de los modelos por cotizar y comprar de parte de sus clientes.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

Para el desarrollo de este proyecto se cuenta con información suministrada por la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada sobre los diferentes materiales de construcción de los medidores Micro Motion Coriolis, los cuales se encargan de medir productos químicos corrosivos y no corrosivos en la industria. Además, se cuenta con información sobre los entornos más comunes a los que estos medidores se ven expuestos una vez son adquiridos por los clientes de la empresa. De esta manera también se establecerán las consecuencias que conllevan el uso de materiales incompatibles con su entorno, además, se realizará un análisis comparativo de los diferentes materiales y entornos corrosivos y no corrosivos con el fin de determinar cuáles de estos pueden ser utilizados en conjunto. Esto permitirá que los ingenieros a cargo de realizar las revisiones técnicas de los medidores cuenten con una guía que facilitará la selección de materiales del medidor que sea solicitado.

1.5.2. Limitaciones

El proyecto se enfocará en los materiales mayormente cotizados y en los entornos comúnmente utilizados por los clientes de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada. El acceso a la información es complejo, debido a que los resultados varían de material a material y es específico para cada entorno, creando así una gran cantidad de posibles combinaciones; es por esto por lo que no se evaluarán todos los materiales de construcción de los medidores disponibles. De la misma manera, la evaluación de la compatibilidad entre los materiales y los distintos fluidos químicos se realizará en un entorno teórico-práctico basado en una revisión bibliográfica y diferentes posibles escenarios como, por ejemplo, estudios de resistencia a la corrosión en metales; por lo que los resultados podrían diferir de las condiciones reales a las que se enfrentan los medidores una vez puestos a prueba en la industria. Además, el estudio se basará en la revisión de la literatura existente y en bases de datos, lo que puede limitar la representatividad de los resultados en comparación con estudios realizados a gran escala.

2 Marco Teórico

El objetivo de esta sección consiste en describir conceptos teóricos y prácticos que sustentan el desarrollo de este proyecto. En este caso, se presenta la literatura de manera ordenada, la cual se divide en siete secciones principales. En la sección 2.1., se describe el tipo de instrumentos de medición en los cuales se basa este estudio y su funcionamiento. En la sección 2.2., se describen los materiales de construcción más comunes para estos instrumentos, en la sección 2.3., se enlistan los fluidos corrosivos y no corrosivos a los cuales están expuestos los medidores con mayor frecuencia en la industria, en la sección 2.4., se introducen los entornos o ambientes más comunes y sus características, en la sección 2.5., se describen materiales que mitigan la corrosión y su importancia, además, en la sección 2.6., se describen los diferentes factores que influyen en el deterioro y desgaste de los materiales. Por último, en la sección 2.7., se registran datos pertinentes al impacto ambiental de la industria siderúrgica.

2.1. Instrumentos de Medición Micro Motion Coriolis

El funcionamiento básico de los instrumentos de medición Micro Motion Coriolis se basa en los principios de la mecánica del movimiento. A medida que el líquido se mueve a través de un tubo que vibra, es obligado a acelerar mientras se mueve hacia el punto de vibración de amplitud pico. En cambio, el líquido que desacelera se mueve lejos del punto de la amplitud pico a medida que sale del tubo. El resultado es una reacción de giro del tubo de caudal durante las condiciones de flujo mientras atraviesa cada ciclo de vibración (Emerson ES., s. f.).



Figura 2.1. Medidor de flujo elite Micro Motion. Fuente: Emerson ES., s. f.

Los caudalímetros Coriolis son muy importantes en una multitud de aplicaciones de medición de caudal. Con una amplia variedad de tamaños de línea, exactitud de medición del caudal y relación de reducción, estos medidores son aptos para muchas industrias y pueden medir velocidades de caudal que van desde algunos gramos/hora hasta 120 000 lb/minuto (Emerson ES., s. f.). Los medidores Coriolis tienen un amplio rango dinámico debido a la naturaleza lineal de la señal creada mientras se mide el caudal.

Los caudalímetros Coriolis se usan en una amplia variedad de aplicaciones críticas y exigentes, en industrias como la del petróleo y el gas, agua y aguas residuales, energía, productos químicos, alimentos y bebidas, y ciencias de la vida. Dentro de las aplicaciones comunes para los caudalímetros Coriolis destacan: aplicaciones con caudal bajo a alto, transferencia de custodia fiscal y aplicaciones desafiantes con líquidos, gas y lodos (Emerson ES., s. f.).

Los materiales de construcción suministrados por la empresa, así como los entornos más comunes se enlistan a continuación:

2.2. Materiales:

En esta sección se enlistan los materiales de construcción de los medidores de flujo, presión y temperatura más vendidos por la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada.

- Acero inoxidable 316L
- Acero inoxidable 304L
- Aceros inoxidables súper dúplex
- Acero inoxidable 316L revestido con recubrimiento Tefzel
- Aleación de níquel C22
- Titanio
- Tantalio

2.2.1. Aceros Inoxidables

El acero inoxidable es una denominación utilizada comúnmente para indicar cualquiera de los aceros o aleaciones resistentes a la corrosión atmosférica, al ataque de los ácidos fríos o calientes y a la oxidación con formación de costras a elevadas temperaturas. El acero inoxidable

316L, es la versión de acero inoxidable austenítico de bajo carbón, el cual se obtiene de la aleación metálica de hierro (66-70%), enriquecido con cromo (16-18%), níquel (11-14%) y molibdeno (2-3%). Esta adición de molibdeno incrementa la resistencia a la corrosión y a soluciones clorhídricas. Su uso es popular en ambientes de corrosión severa debido a la inmunidad de los materiales a la precipitación de carburo límite o sensibilización (Sánchez Arcia, A. H., 2022).



Figura 2.2. Aceros inoxidables. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.

Los aceros serie 300 o aceros inoxidables austeníticos son los más utilizados en la industria por su amplia variedad de propiedades. Estos se obtienen agregando níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren su nombre. En este caso, el contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6% (Poveda et al., 2011).

Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Sus propiedades básicas son: excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Además, dentro de sus principales aplicaciones destacan: utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, entre otros (Poveda et al., 2011).

Los aceros inoxidables son particularmente susceptibles en las condiciones de saturación de oxígeno que se encuentran típicamente en las instalaciones de procesamiento químico. Los medidores construidos con acero inoxidable 316L son confiables en numerosas aplicaciones

donde las concentraciones de cloruro y oxígeno se pueden mantener a niveles suficientemente bajos o donde no hay cloruros libres. Además, el acero inoxidable también se puede utilizar en soluciones orgánicas que contengan un componente de cloruro, siempre que se evite la formación de iones (Jiménez, J. L. *et al*, 2016). Es importante mencionar que existen dos factores que influyen en la disociación, estos son la temperatura y la humedad.

2.2.2. Aceros Inoxidables Súper Dúplex

En el caso de los aceros súper dúplex, estos poseen una buena combinación de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, sin embargo, cuando se exponen a temperaturas entre (300 a 650) °C se forman precipitados y fases intermetálicas que perjudican la resistencia a la corrosión (Gil, L., & Aponte, C., 2013). Por lo que es necesario tomar esto en cuenta a la hora de seleccionar este material de construcción.



Figura 2.3. Aceros inoxidables súper dúplex. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.

2.2.3. Aleación Níquel C-22

Sucede de manera similar con la aleación de níquel C-22; esta aleación es reconocida por sus excelentes propiedades frente a la corrosión en una amplia variedad de condiciones ambientales. Sin embargo, en el rango de temperaturas de 300-650°C ocurre una transformación de ordenamiento de largo alcance y mayores temperaturas, ocurre la precipitación de intermetálicos en bordes de grano (Zadorozne, N. S., 2010).



Figura 2.4. Aleación de Níquel C-22. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.

2.2.4. Titanio y Tantalio

En cuanto al Titanio y Tantalio, se conoce que ambos metales presentan excelente resistencia a la corrosión por lo que serían una buena selección de material; sin embargo, esto va a depender de las características y compatibilidad con los diferentes fluidos.



Figura 2.5. Titanio. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.



Figura 2.6. Tantalio. Fuente: Imagen recuperada de Google Images.

2.3. Fluidos corrosivos y no corrosivos

En esta sección se enlistan los fluidos corrosivos más comunes a los que se encuentran expuestos los medidores de flujo, presión y temperatura una vez que son adquiridos por los clientes de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada.

- Ácido nítrico
- Cloruros de yacimientos petrolíferos y CO₂
- Flúor acuoso
- Fluidos de procesos corrosivos
- Cloruros
- Temperaturas extremadamente altas, bajo PH o altas concentraciones de cloruro

2.4. Entornos

Respecto a los diferentes entornos o ambientes, se puede determinar que los fluidos como ácido nítrico, cloruros, cloruros de yacimientos petrolíferos y CO₂ y el flúor acuoso corresponden a sustancias altamente corrosivas. Este tipo de fluidos pueden interferir de manera negativa con el funcionamiento de los medidores, ya que son capaces de disolver distintos materiales. Es por esto por lo que se debe tener especial cuidado a la hora de seleccionar un medidor de flujo, presión y temperatura.

2.5. Materiales que mitigan la corrosión

En esta sección se describen materiales que mitigan la corrosión, estos pueden ser utilizados como recubrimiento de un material en caso de que este no sea compatible con un ambiente determinado.

Tefzel

Algunas aplicaciones provocan una alta corrosión en todos los componentes metálicos. Los fluidos de proceso que contienen flúor corroen rápidamente los materiales, por ejemplo, el ácido fluorhídrico puede ser un contaminante en grados de baja calidad de los ácidos clorhídrico y fosfórico. Los medidores que utilizan materiales metálicos, incluido el acero inoxidable 316L, la aleación de níquel C-22 y el tantalio, tendrán una vida útil corta en aplicaciones con flúor acuoso. Puede evitar fallos prematuros del medidor comprobando la corriente del proceso en busca de flúor acuoso. Si son inevitables concentraciones bajas es posible utilizar un medidor Coriolis revestido con Tefzel (Emerson CR., s. f.).

El Tefzel es un copolímero modificado de etileno y tetrafluoroetileno, similar al Teflon tanto en propiedades físicas como en resistencia a la corrosión. El revestimiento de Tefzel actúa como una barrera que evita que el fluido del proceso entre en contacto con el metal subyacente y provoque grietas por corrosión. Sin embargo, este material no es inmune a la corrosión, los ácidos y las bases fuertes también pueden deteriorar el material. Ciertos productos químicos orgánicos pueden atravesar el revestimiento con el tiempo y las temperaturas pueden influir en la resistencia mecánica del mismo. Por esta razón, los instrumentos revestidos de Tefzel están limitados a aplicaciones donde la temperatura es inferior a 120 °C. Debido a que el revestimiento de Tefzel y los tubos de flujo de acero inoxidable 316L tienen diferentes coeficientes de expansión térmica, se aplican consideraciones especiales de temperatura. Los medidores revestidos de Tefzel tienen una tasa máxima permitida de cambio de temperatura igual a 17 °C/h y no deben exponerse a temperaturas inferiores a 0 °C (Emerson CR., s. f.).

Aceros inoxidables súper dúplex

Como se menciona anteriormente, para aplicaciones de alta capacidad, el acero inoxidable súper dúplex es una opción cuando un medidor de acero inoxidable 316L no es compatible. El súper dúplex combina mayor resistencia y mejor resistencia a la corrosión por cloruro que el

acero inoxidable 316L, lo que hace que los medidores grandes se puedan utilizar en condiciones más exigentes. Una mayor resistencia permite su uso a presiones operativas más altas y una mejor resistencia al cloruro permite su uso con mayores contenidos de cloruro a temperaturas de proceso más altas.

La industria del petróleo y el gas utilizan acero inoxidable súper dúplex en aplicaciones de temperatura moderada que contienen niveles de cloruros y CO₂ demasiado altos para el acero inoxidable 316L. Sin embargo, las condiciones ácidas o presiones determinadas podrían llegar a causar problemas de corrosión, además, debido al contenido de ferrita del súper dúplex es necesario evitar las aplicaciones criogénicas. Por esta razón, es importante considerar el entorno total del proceso al seleccionar los mejores materiales de construcción.

2.6. Factores que influyen en el deterioro y desgaste de los materiales

En esta sección se describen diferentes factores que pueden influir en el deterioro y desgaste de los materiales, es importante conocer los tipos de corrosión que pueden observarse comúnmente, los distintos factores que influyen al proceso de corrosión y su velocidad, así como los distintos métodos para el control de la corrosión y la protección de materiales ante este fenómeno.

El fenómeno de corrosión consiste en el proceso de deterioro de materiales metálicos mediante reacciones químicas y electroquímicas, debido a que estos materiales buscan alcanzar un estado de menor potencial energético. La corrosión tiene muchas repercusiones a nivel económico, de seguridad y de conservación de materiales, por lo que su estudio y mitigación es de suma importancia (Salazar-Jiménez, 2015).

En este caso en específico se estudiarán dos tipos de corrosión: la corrosión generalizada y la corrosión localizada, estos tipos de corrosión son comunes en la industria y es importante conocer sus consecuencias y cómo evitarlos. La corrosión generalizada, también conocida como corrosión uniforme, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea, deteriorándolo completamente. Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia (Revie, 2011). Se puede observar comúnmente en materiales,

sobre todo en la industria de la construcción, a base de hierro no aleado con metales inoxidables, como el níquel y el cromo (Salazar-Jiménez, 2015).

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).

En cuanto a la corrosión localizada, al contrario de la corrosión uniforme, representa un mayor riesgo potencial, debido a su difícil detectabilidad, ya que se manifiesta en zonas específicas en el material, determinadas tanto por la naturaleza del material, la geometría de este, y las condiciones del medio al que se somete. Los procesos de corrosión localizada de mayor ocurrencia son: galvánica, por fisura, por picaduras, por cavitación y microbiológica (Salazar-Jiménez, 2015).

La variedad de entornos posibles del medidor dificulta definir la compatibilidad de fluidos para cada combinación de materiales posible. No obstante, es posible elegir el mejor material comparando las limitaciones de la aleación según la composición química de sus fluidos. La composición química de la mayoría de los ambientes se puede caracterizar por las siguientes variables: concentración de halógenos, pH, potencial químico y temperatura.

El halógeno se refiere a un grupo de elementos que incluye cloro, flúor, bromo y yodo, siendo el cloro el halógeno más común. La presencia de la forma de cloruro iónico, Cl^- , incluso como contaminante, puede ser perjudicial para la resistencia a la corrosión (Jiménez, J. L. *et al*, 2016).

El pH de una solución también puede alterar la corrosión de cualquier aleación. En general, las soluciones que tienen un pH neutro (cerca de 7) tienen una velocidad de corrosión más lenta que las soluciones fuertemente ácidas ($\text{pH} < 3$) o fuertemente alcalinas ($\text{pH} > 11$). En este caso, el tantalio tiene una resistencia a la corrosión superior al acero inoxidable 316L y la aleación de níquel C22 en ambientes neutros y ácidos. Sin embargo, se producirán altas tasas de corrosión si se utiliza tantalio en aplicaciones cáusticas alcalinas como el hidróxido de sodio, incluso a temperatura ambiente. A temperaturas más altas, es posible el agrietamiento por corrosión bajo tensión y la fatiga por corrosión del acero inoxidable 316L (Fang, B. Y., *et al*, 2003).

En cuanto al potencial químico, este mide el poder oxidante o reductor de un fluido de proceso. El potencial químico, también conocido como potencial redox, se define en relación con la semirreacción $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$, a la que se le asigna un valor de cero voltios (Glasstone, S., 2011). Cualquier ambiente que tenga un potencial químico mayor que el de referencia se considera oxidante. Los potenciales químicos que son iguales o menores que la referencia se consideran reductores.

El potencial químico es importante porque se requiere una cantidad mínima de poder oxidante para permitir la formación de capas protectoras de óxido en la superficie. La vida óptima se realizará siempre que esta capa sea estable (Glasstone, S., 2011). Los ambientes que son demasiado oxidantes o reductores evitarán la formación estable de óxido; en tales condiciones, es posible que falle debido a fatiga por corrosión o erosión/corrosión. La resistencia a la fatiga por corrosión de un material de construcción está relacionada con el rango de potenciales químicos sobre los cuales se mantiene la estabilidad de la capa de óxido.

2.7. Impacto ambiental de la industria siderúrgica

A principios del siglo XIX, la producción anual mundial de acero era sólo de unos pocos millones de toneladas. Tras el avance de las nuevas tecnologías, los procesos convertidores y los hogares abiertos, la producción aumentó y superó las 30 Mt (millones de toneladas) en 1900. En 1927, la producción de acero alcanzó las 100 Mt y las 200 Mt en 1951. Los siguientes 30 años después de la Segunda Guerra Mundial fueron un período de “nueva revolución industrial” con procesos novedosos e innovadores, donde se realizaron grandes inversiones en la industria del acero, con Japón, la Unión Soviética, Estados Unidos y Corea del Sur a la vanguardia. La producción anual de acero alcanzó las 700 Mt en el decenio de 1970 (un récord de 749 Mt en 1979). Luego, el crecimiento se estancó debido a las crisis económicas y los cambios políticos hasta el cambio de milenio, cuando alcanzó 850 Mt en 2000. Esta fue la apertura al “boom” con China a la cabeza. Desde entonces, la producción mundial se ha duplicado y el récord hasta el momento es de 1869 Mt, alcanzado en 2019 con la participación de China superando el 50% (Holappa, 2020).

Es importante tener en cuenta que la producción de metales, como el acero, genera compuestos nocivos y contaminantes como monóxido de carbono, óxido nitroso, dióxido de azufre, entre otros; estos compuestos son considerados gases de efecto invernadero directos e indirectos, los cuales contribuyen al calentamiento global. En 2020, en promedio se produjeron 1860 Mt de acero, lo que provocó la emisión a la atmósfera de 1,89 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) por tonelada de acero producida (Worldsteel, 2023).

3 Metodología

Este Proyecto se llevó a cabo a partir de la información suministrada por la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada, acerca de los materiales de construcción de los medidores de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa, así como de los entornos más comunes en los que estos medidores se utilizan.

La metodología que se empleó en la realización del presente proyecto fue de orden investigativo, específicamente revisiones bibliográficas y de fichas técnicas de cada material, además del uso de programas de bases de datos, en este caso se utilizó el software Granta CES Edupack 2019 para realizar la selección de materiales con el fin de llevar a cabo este estudio.

3.1. Selección de los materiales

Esta investigación se centra en los instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura disponibles en la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada. El primer paso consistió en obtener datos sobre los materiales de construcción de los medidores más vendidos por la empresa, de esta manera se realizó un estudio bibliográfico de cada material de construcción y una revisión de fichas técnicas de los materiales con el fin de conocer sus propiedades físicas y mecánicas. Esto se realiza para poder entender cómo se comporta un material específico en un ambiente determinado.

Una vez realizado el estudio bibliográfico de los materiales suministrados por la empresa se realiza una selección de materiales de acuerdo con los distintos requerimientos, restricciones y características de desempeño con los que deben cumplir los medidores. Esta selección se realiza mediante el software Granta CES Edupack 2019, en donde primeramente se selecciona el nivel en el que se desea trabajar, en este caso, en el menú principal se presenta una serie de niveles y áreas de trabajo donde se presentan opciones de nivel básico y avanzado. Dentro del nivel avanzado se selecciona el nivel 3 y luego, dentro del “Universo de materiales” se selecciona la opción de “Todos los materiales”. Esta sección cuenta con 4026 materiales, ya que el nivel 3 es el más avanzado y completo de los niveles.

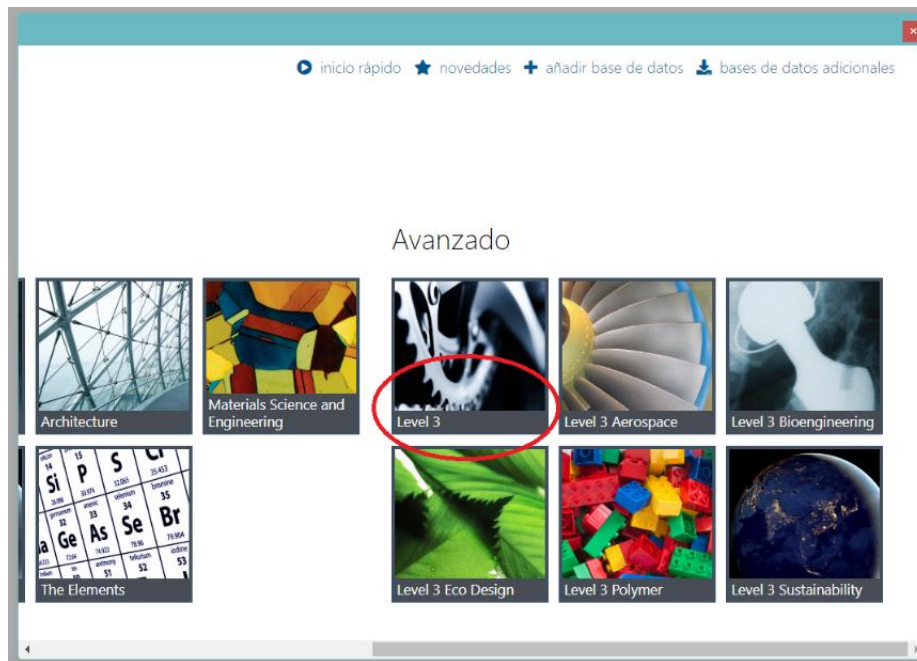


Figura 3.1. Selección del nivel 3. Fuente: Granta CES EduPack, 2019.

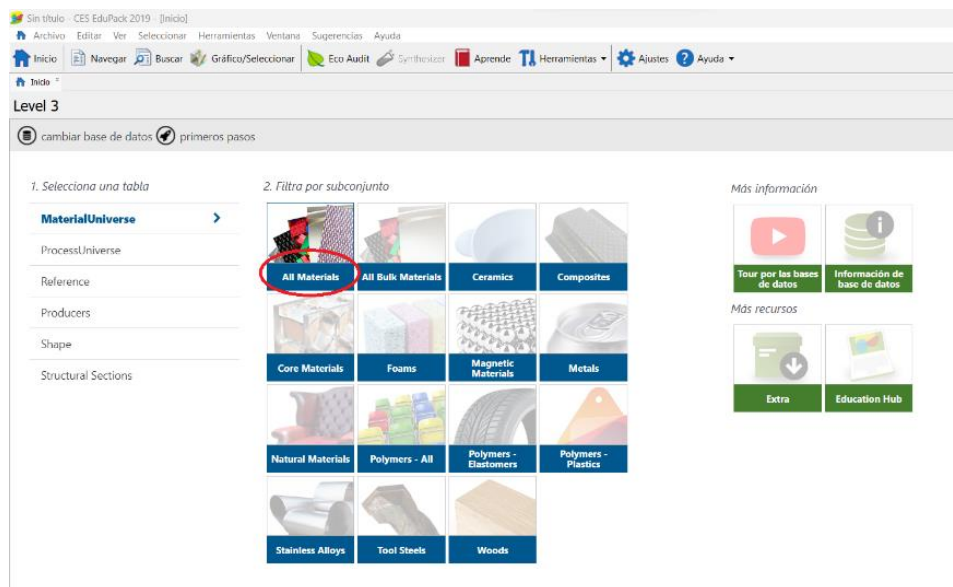


Figura 3.2. Selección de “Todos los materiales”. Fuente: Granta CES EduPack, 2019.

Con el fin de realizar la selección de los materiales, se selecciona la opción de “Gráfico/Seleccionar”, en donde se despliegan una serie de etapas como lo son: “Gráfico”, “Límite” y “Árbol”. En este caso, se hace uso de la opción de límites para poder proporcionar valores máximos y mínimos correspondientes a propiedades mecánicas y demás características necesarias correspondientes al diseño de los medidores de flujo. Una vez completos los datos

de las tres secciones anteriormente mencionadas se pueden observar los resultados de la selección de materiales que realiza el software.

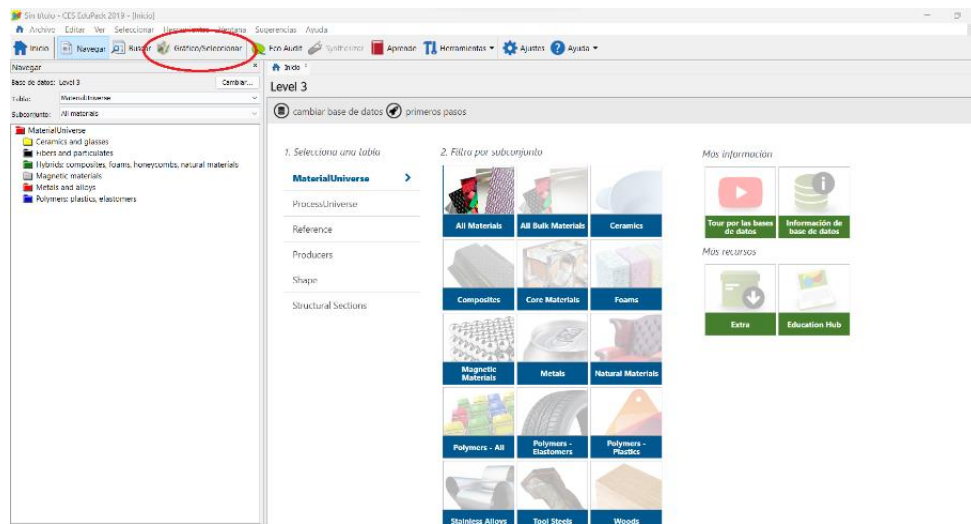


Figura 3.3. Selección de “Gráfico/Seleccionar”. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Una vez obtenida la selección de materiales en el software Granta CES Edupack 2019, se realiza una comparación con los materiales suministrados por la empresa. En este punto se tienen tres materiales en común: acero inoxidable 316L, acero inoxidable 304L y aleación de níquel C-22. De esta manera se informa al asesor industrial y demás ingenieros a cargo sobre los resultados obtenidos, los cuales aprueban la información arrojada por el software, por lo que se continúa con la investigación.

3.2. Revisión bibliográfica de los fluidos corrosivos y no corrosivos

En este punto, al igual que en el punto anterior, se solicitó un listado de los fluidos más utilizados en la industria según el registro de ventas de la empresa Emerson Electric CR Limitada. Una vez se obtuvo la lista de fluidos corrosivos y no corrosivos se procede nuevamente con una revisión bibliográfica individual, con el fin de determinar las características, propiedades y requerimientos de estos fluidos.

Asimismo, se realiza una comparación con los materiales filtrados de Granta CES Edupack 2019, esto con el fin de determinar los materiales que mejor se alinean con los requerimientos y características de cada fluido.

3.3. Análisis de compatibilidad de los materiales de construcción respecto a los fluidos estudiados

Una vez se obtuvo la información necesaria acerca de los materiales y sus respectivos entornos se procede a realizar un análisis de compatibilidad entre ambos factores. Este análisis se realiza gracias a la investigación bibliográfica de los materiales, las respectivas fichas técnicas de cada material, mediante los resultados obtenidos con el software Granta CES Edupack 2019 y el listado de los fluidos mencionado en el punto anterior. De esta manera, se comparan las propiedades físicas de los materiales y entornos y, luego de tomar en cuenta todos los factores y consideraciones pertinentes, se determina según las variables proporcionadas si estos son o no compatibles.

3.4. Análisis económico de los materiales

El análisis económico se basó en el costo de cada material, este se obtuvo mediante el software Granta CES Edupack 2019. Además, se realizó una cotización de los diferentes materiales en diferentes empresas costarricenses, esto con el fin de comparar ambos precios y determinar si la información obtenida mediante el software es verídica.

3.5. Análisis de impacto ambiental de los materiales

Con el fin de realizar un análisis de impacto ambiental de los materiales se realizó una investigación bibliográfica del impacto ambiental de la industria de los metales, además, se compararon los resultados con los obtenidos gracias a la herramienta Eco-Audit que ofrece el software Granta CES Edupack 2019, la cual permite conocer la huella de carbono de los materiales de acuerdo con diferentes factores como su fabricación, transporte, uso y final de vida.

4 Resultados y Análisis

4.1. Selección de materiales

Con el fin de realizar la selección de materiales se procede con la aplicación de los límites correspondientes dentro del software Granta CES Edupack. En este caso, se tomaron como referencia el acero inoxidable 316L, esto debido a que tanto las características físicas como la resistencia a la corrosión de este material se ajusta a los requerimientos solicitados, lo que lo convierte en un excelente candidato para ser utilizado como material base. Además, se filtró la opción de durabilidad, donde como requerimientos se solicitaron: resistencia al agua fresca y salada, a los ácidos fuertes, solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV.

En el primer filtro, se llevó a cabo la selección de materiales resistentes al agua fresca y salada, lo que dio como resultado un total de 1372 materiales de 4026. Luego, se procede a separar el gráfico de burbujas en familias, esto con el fin de poder identificar cada familia de materiales y seguidamente excluir a las familias de materiales que no son aptas para contruir los medidores.

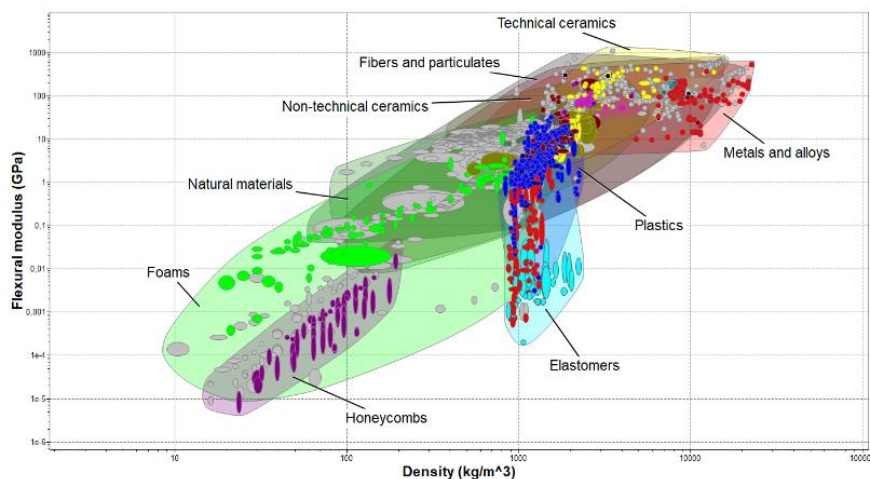


Figura 4.1. Resultados de la selección de materiales resistentes al agua fresca y salada.
Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Los materiales de construcción de los medidores de flujo, presión y temperatura se limitan a la familia de metales y aleaciones, por lo que se filtra de nuevo; dando como resultado una selección de 414 metales y aleaciones.

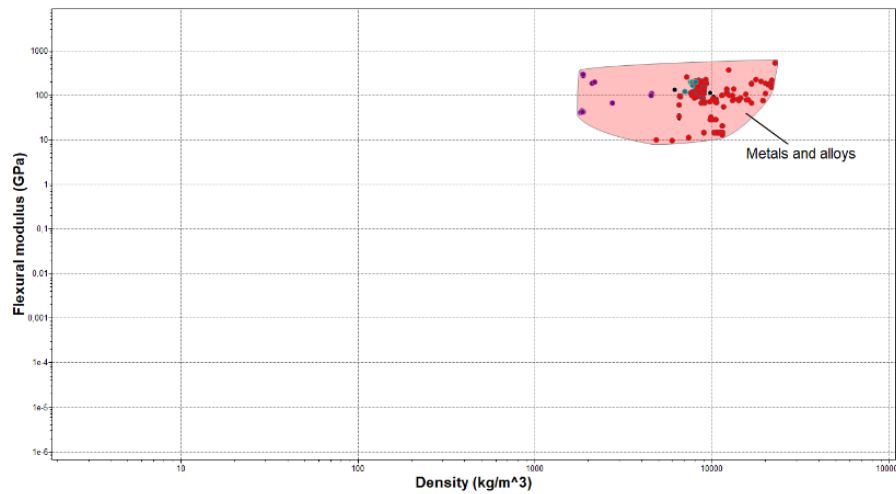


Figura 4.2. Resultados de la selección de metales y aleaciones resistentes al agua fresca y salada. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Una vez seleccionada la familia de los metales y aleaciones resistentes al agua fresca y salada, se filtran las demás características y requerimientos necesarios para la fabricación de los medidores. En este caso se agregan los filtros correspondientes a resistencia a los ácidos fuertes, esto debido a que uno de los entornos principales corresponde al ácido nítrico (HNO_3), el cual entra dentro de esta categoría. Esta nueva selección da como resultado un total de 59 metales y aleaciones.

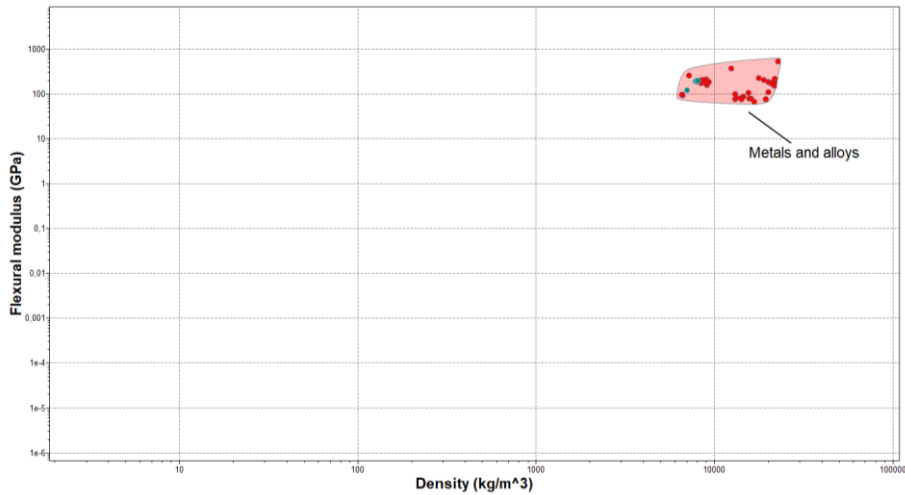


Figura 4.3. Resultados de la selección de metales y aleaciones resistentes al agua fresca y salada y ácidos fuertes. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Por último, se adiciona a los filtros la resistencia a los solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV. Dando como resultado un total de 58 metales y aleaciones, en los que se encuentran 3 de los materiales disponibles para la construcción de los medidores de flujo presión y temperatura: acero inoxidable 316L, acero inoxidable 304L y aleación de níquel C-22.

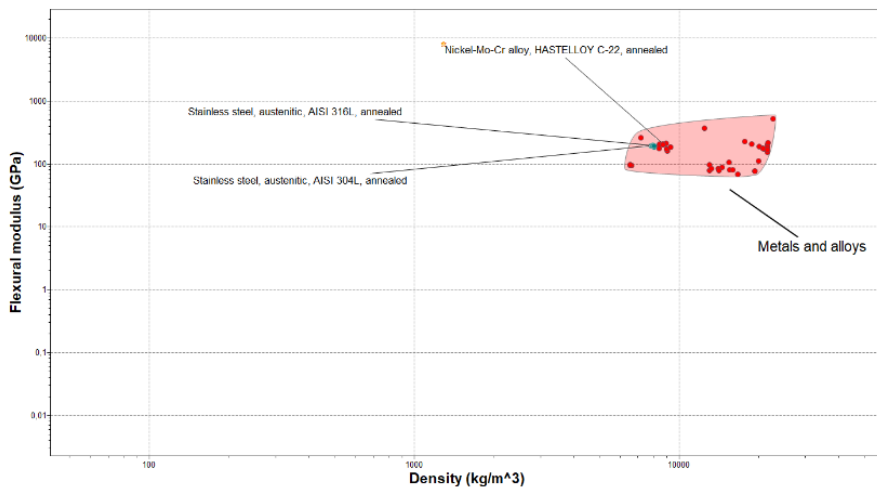


Figura 4.4. Resultados de la selección de metales y aleaciones resistentes al agua fresca y salada, ácidos fuertes, solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Esta selección de materiales permite confirmar que los materiales de construcción de los medidores que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada cumplen con los requerimientos y características necesarias para poder desempeñarse en los diferentes tipos de fluidos corrosivos y no corrosivos a los que se ven expuestos en la industria, además, concuerda con los resultados de las revisiones bibliográficas realizados previamente.

4.2. Comparación de los materiales de construcción de los medidores de flujo, presión y temperatura vs los diferentes fluidos corrosivos y no corrosivos

Una vez seleccionados los materiales a utilizar, se procede a comparar cada uno con los entornos proporcionados por la empresa, para esto se cuenta con una tabla de durabilidad y resistencia a la corrosión en metales.

Acero inoxidable 316L

Para el acero inoxidable 316L se presenta una durabilidad excelente en entornos como agua fresca y salada, ácidos débiles y fuertes, alcalinos débiles y fuertes, solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV, sin embargo, su desempeño en ambientes propensos al desgaste adhesivo, el cual implica el contacto y la interacción de asperezas en dos superficies con una fuerte fuerza adhesiva, es aceptable.

En cuanto a la resistencia a la corrosión, el acero 316L presenta una leve susceptibilidad a la corrosión bajo tensión en ambientes clorados o en presencia de sulfuro de hidrógeno. Además, presenta una resistencia moderada ante ambientes ácidos inorgánicos, alcalinos, aceites pesados y petróleo, una buena resistencia a la corrosión intergranular y en ambientes ácidos orgánicos y agua salada, así como una excelente resistencia a la corrosión en ambientes húmedos.

Durability		
Water (fresh)	(i)	Excellent
Water (salt)	(i)	Excellent
Weak acids	(i)	Excellent
Strong acids	(i)	Excellent
Weak alkalis	(i)	Excellent
Strong alkalis	(i)	Excellent
Organic solvents	(i)	Excellent
Oxidation at 500C	(i)	Excellent
UV radiation (sunlight)	(i)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	(i)	Acceptable
Notes		
Aluminum bronze is the most suitable mating material to minimize galling.		
Flammability	(i)	Non-flammable
Corrosion resistance of metals		
Pitting resistance equivalent number (PREN)	(i)	22,6 - 27,9
Pitting and crevice corrosion resistance	(i)	Medium (20-30)
Stress corrosion cracking	(i)	Slightly susceptible
Notes		Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydrogen sulfide
Intergranular (weld line) corrosion resistance	(i)	Good
Inorganic acids	(i)	Moderate
Organic acids	(i)	Good
Alkalis	(i)	Moderate
Humidity / water	(i)	Excellent
Sea water	(i)	Good
Sour oil and gas	(i)	Moderate

Figura 4.5. Acero inoxidable 316L - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión.
Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Acero inoxidable 304L

Para el acero inoxidable 304L se presenta una durabilidad excelente en entornos como agua fresca y salada, ácidos débiles y fuertes, alcalinos débiles y fuertes, solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV, sin embargo, su desempeño en ambientes propensos al desgaste adhesivo es limitado.

En cuanto a la resistencia a la corrosión, el acero 304L presenta susceptibilidad a la corrosión bajo tensión en ambientes clorados o en presencia de sulfuro de hidrógeno. Además, presenta resistencia moderada ante ambientes ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos, alcalinos, agua salada, aceites pesados y petróleo, una buena resistencia a la corrosión intergranular, y una excelente resistencia a la corrosión en ambientes húmedos.

Durability		
Water (fresh)	ⓘ	Excellent
Water (salt)	ⓘ	Excellent
Weak acids	ⓘ	Excellent
Strong acids	ⓘ	Excellent
Weak alkalis	ⓘ	Excellent
Strong alkalis	ⓘ	Excellent
Organic solvents	ⓘ	Excellent
Oxidation at 500C	ⓘ	Excellent
UV radiation (sunlight)	ⓘ	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	ⓘ	Limited use
Notes		
Aluminum bronze is the most suitable mating material to minimize galling.		
Flammability	ⓘ	Non-flammable
Corrosion resistance of metals		
Pitting resistance equivalent number (PREN)	ⓘ	18 - 20
Pitting and crevice corrosion resistance	ⓘ	Low (<20)
Stress corrosion cracking	ⓘ	Susceptible
Notes		
Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydrogen sulfide		
Intergranular (weld line) corrosion resistance	ⓘ	Good
Inorganic acids	ⓘ	Moderate
Organic acids	ⓘ	Moderate
Alkalis	ⓘ	Moderate
Humidity / water	ⓘ	Excellent
Sea water	ⓘ	Moderate
Sour oil and gas	ⓘ	Moderate

Figura 4.6. Acero inoxidable 304L - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión.
Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Acero inoxidable súper dúplex

Para el acero inoxidable súper dúplex se presenta una durabilidad excelente en entornos como agua fresca y salada, ácidos débiles, alcalinos débiles y fuertes, solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV y una resistencia a la corrosión aceptable ante ambientes ácidos fuertes. Además, su desempeño en ambientes propensos al desgaste adhesivo es limitado.

En cuanto a la resistencia a la corrosión, el acero inoxidable súper dúplex no presenta susceptibilidad a la corrosión bajo tensión en ambientes con presencia de agua salada.

Durability		
Water (fresh)	(i)	Excellent
Water (salt)	(i)	Excellent
Weak acids	(i)	Excellent
Strong acids	(i)	Acceptable
Weak alkalis	(i)	Excellent
Strong alkalis	(i)	Excellent
Organic solvents	(i)	Excellent
Oxidation at 500C	(i)	Excellent
UV radiation (sunlight)	(i)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	(i)	Limited use
Notes Aluminum bronze is the most suitable mating material to minimize galling.		
Flammability	(i)	Non-flammable
Corrosion resistance of metals		
Pitting resistance equivalent number (PREN)	(i)	* 39,5 - 46,1
Pitting and crevice corrosion resistance	(i)	Very high (>40)
Stress corrosion cracking	(i)	Not susceptible
Notes Rated in seawater. Other susceptible environments include hydrogen sulfide		

Figura 4.7. Acero inoxidable súper dúplex - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Aleación de níquel C-22

Para la aleación de níquel C-22 se presenta una durabilidad excelente en entornos como agua fresca y salada, ácidos débiles y fuertes, alcalinos débiles y fuertes, solventes orgánicos, oxidación a 500 °C y radiación UV, sin embargo, su desempeño en ambientes propensos al desgaste adhesivo es aceptable.

En cuanto a la resistencia a la corrosión, la aleación de níquel C-22 no presenta susceptibilidad a la corrosión bajo tensión en ambientes clorados o en presencia de hidróxidos. Además, presenta una buena resistencia ante ambientes ácidos orgánicos y una excelente resistencia a la corrosión intergranular y en ambientes ácidos inorgánicos, alcalinos, húmedos, con agua salada, aceites pesados y petróleo.

Durability		
Water (fresh)	ⓘ	Excellent
Water (salt)	ⓘ	Excellent
Weak acids	ⓘ	Excellent
Strong acids	ⓘ	Excellent
Weak alkalis	ⓘ	Excellent
Strong alkalis	ⓘ	Excellent
Organic solvents	ⓘ	Excellent
Oxidation at 500C	ⓘ	Excellent
UV radiation (sunlight)	ⓘ	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	ⓘ	Acceptable
Notes Bronze or zinc alloy dies should be used to minimize galling.		
Flammability	ⓘ	Non-flammable
Corrosion resistance of metals		
Stress corrosion cracking	ⓘ	Not susceptible
Notes Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydroxide		
Intergranular (weld line) corrosion resistance	ⓘ	Excellent
Inorganic acids	ⓘ	Excellent
Organic acids	ⓘ	Good
Alkalis	ⓘ	Excellent
Humidity / water	ⓘ	Excellent
Sea water	ⓘ	Excellent
Sour oil and gas	ⓘ	Excellent

Figura 4.8. Aleación de níquel C-22 - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión.
Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Titanio

Para el titanio se presenta una durabilidad excelente en entornos como agua fresca y salada, ácidos débiles, alcalinos débiles, solventes orgánicos y radiación UV, una resistencia aceptable en ambientes ácidos fuertes, alcalinos fuertes y oxidantes a 500 °C. Además, su desempeño en ambientes propensos al desgaste adhesivo es limitado.

En cuanto a la resistencia a la corrosión, el titanio presenta una leve susceptibilidad a la corrosión bajo tensión en ambientes clorados, en presencia de haluro, líquidos orgánicos o tetróxido de dinitrógeno.

Durability		
Water (fresh)	ⓘ	Excellent
Water (salt)	ⓘ	Excellent
Weak acids	ⓘ	Excellent
Strong acids	ⓘ	Acceptable
Weak alkalis	ⓘ	Excellent
Strong alkalis	ⓘ	Acceptable
Organic solvents	ⓘ	Excellent
Oxidation at 500C	ⓘ	Acceptable
UV radiation (sunlight)	ⓘ	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	ⓘ	Limited use
Notes High tendency to gall can be overcome by anodizing.		
Flammability	ⓘ	Non-flammable
Corrosion resistance of metals		
Stress corrosion cracking	ⓘ	Slightly susceptible
Notes Rated in chloride; Other susceptible environments: Halide, organic liquids, dinitrogen tetroxide		

Figura 4.9. Titanio - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Tantalio

Para el tantalio se presenta una durabilidad excelente en entornos como agua fresca y salada, ácidos débiles, alcalinos débiles y fuertes, solventes orgánicos y radiación UV, una resistencia aceptable en ambientes ácidos fuertes y oxidantes a 500 °C. Además, su desempeño en ambientes propensos al desgaste adhesivo es inaceptable.

En cuanto a la resistencia a la corrosión, el tantalio presenta susceptibilidad a la corrosión bajo tensión en ambientes clorados o en presencia de sulfuro de hidrógeno.

Durability		
Water (fresh)	ⓘ	Excellent
Water (salt)	ⓘ	Excellent
Weak acids	ⓘ	Excellent
Strong acids	ⓘ	Acceptable
Weak alkalis	ⓘ	Excellent
Strong alkalis	ⓘ	Excellent
Organic solvents	ⓘ	Excellent
Oxidation at 500C	ⓘ	Acceptable
UV radiation (sunlight)	ⓘ	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	ⓘ	Unacceptable
Notes Bronze dies with beeswax are used to overcome severe galling when using steel dies.		
Flammability	ⓘ	Non-flammable
Corrosion resistance of metals		
Stress corrosion cracking	ⓘ	Susceptible
Notes Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydrogen sulfide		

Figura 4.10. Tantalio - resumen de durabilidad y resistencia a la corrosión. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

4.3. Selección del material de construcción para cada fluido corrosivo y no corrosivo

Para este paso, con el fin de realizar un análisis práctico de los materiales en presencia de los distintos compuestos antes mencionados, la idea principal fue realizar un estudio de velocidad de corrosión con una muestra real de cada material y ambientes determinados en un ambiente controlado como, por ejemplo, un laboratorio. Sin embargo, este análisis no se pudo llevar a cabo debido a que el tiempo fue una limitante. Un estudio como el pensado se caracteriza por su larga duración, este puede durar meses o incluso años para obtener los resultados deseados, es por esto por lo que se recurre a las investigaciones bibliográficas y el uso softwares de bases de datos para poder obtener los resultados de este proyecto.

Una vez realizada la comparación de cada material de acuerdo con sus características, durabilidad y resistencia a la corrosión, se analiza cada caso y con base en las revisiones bibliográficas realizadas, el estudio de fichas técnicas de cada material, los datos suministrados por el software Granta CES Edupack y las sugerencias y aprobación del equipo de ingeniería de la empresa y el asesor industrial, se realiza la tabla 4.1., en la cual se determinan los materiales compatibles con relación a cada ambiente y sus requerimientos.

Tabla 4.1. Selección de materiales y sus respectivos ambientes. Fuente: Elaboración propia.

Material de construcción del medidor	Ambiente
Acero inoxidable 316L	Típico
Acero inoxidable 304L	Ácido nítrico
Acero inoxidable súper dúplex	Cloruros de yacimientos petrolíferos y CO ₂
Acero inoxidable 316L con recubrimiento de Tefzel	Flúor acuoso
Aleación de níquel C-22	Fluidos de procesos corrosivos
Titanio	Cloruros
Tantalio	Altas temperaturas extremas, niveles muy bajos de pH o altas concentraciones de cloruro

4.4. Diseño del manual de selección de materiales

Para el diseño del manual de selección de materiales se tomaron en cuenta los resultados obtenidos y análisis realizados a lo largo de este proyecto. El objetivo principal del diseño de este manual fue sintetizar la información obtenida de manera que los ingenieros puedan acceder a ella de una forma sencilla y eficiente, es por esta razón que el formato escogido para presentar este manual fue el de folleto informativo, el cual puede verse de forma completa en el anexo 1.

Como información relevante para incluir en el folleto se seleccionó la lista de materiales y ambientes estudiados, así como la tabla 4.1. de selección de materiales y su compatibilidad con los respectivos ambientes. Además, como sugerencia del asesor industrial se incluyó una sección “acerca de este folleto” en donde se indica que el folleto puede ser utilizado como un documento de preventa que puede ayudar a seleccionar el material correcto para los medidores Micro Motion que miden productos químicos corrosivos, sin embargo, la información contenida en el documento asume que los usuarios comprenden todos los estándares y requisitos de seguridad corporativos y gubernamentales que protegen contra lesiones y muerte. Asimismo, se indica que las pautas contenidas son solo para información y los cambios menores en las propiedades del fluido, por ejemplo: temperatura, concentración y niveles de impurezas, pueden afectar la compatibilidad de las piezas, por lo que las opciones de compatibilidad de los materiales son responsabilidad exclusiva del usuario final.

También se incluye el contacto tanto vía correo electrónico, así como los teléfonos correspondientes al departamento de servicio al cliente de los distintos países a los que Emerson Electric Costa Rica Limitada ofrece sus productos, esto con el fin de que, si este folleto llega a manos de un cliente y le surge alguna duda, este pueda contactar directamente a la empresa. Igualmente, en la parte trasera del folleto se menciona que fue confeccionado por la ingeniera Abril Chavarría Ledezma como parte del Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

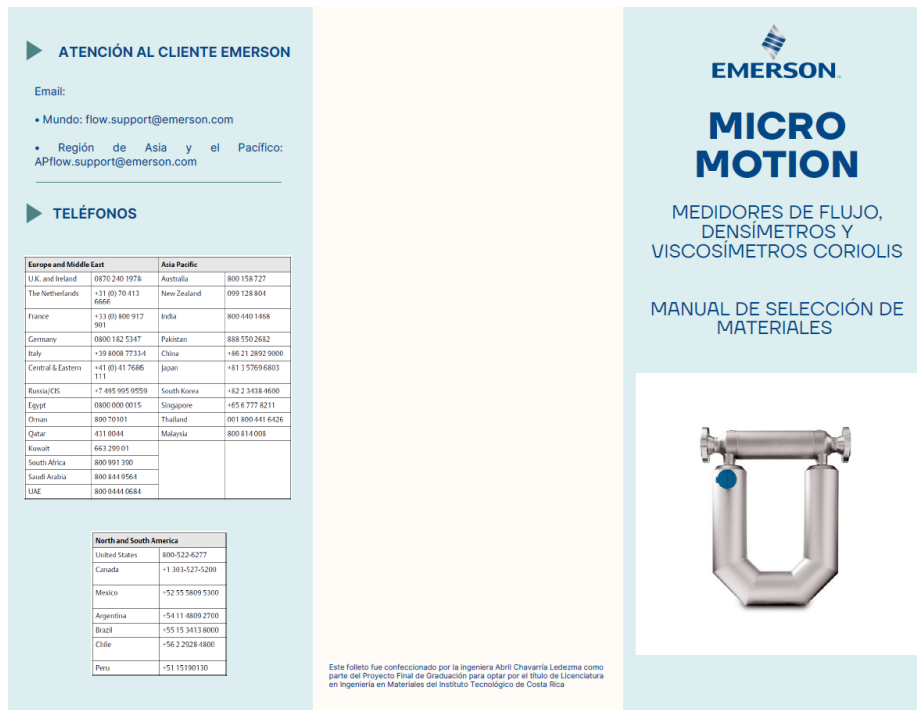


Figura 4.11. Folleto informativo, página 1. Manual de selección de materiales. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.12. Folleto informativo, página 2. Manual de selección de materiales. Fuente: Elaboración propia.

4.5. Capacitación de los ingenieros a cargo

Como parte final del proyecto se lleva a cabo el último objetivo específico, el cual consiste en capacitar a los ingenieros del departamento de Ingeniería de Ventas Internas a cargo de realizar las revisiones técnicas de las órdenes de compra de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada.

Para esta capacitación se agendó una reunión con el personal pertinente, la cual estuvo a cargo de la ingeniera Abril Chavarría Ledezma en donde se explicó detalladamente en qué consistió este proyecto, se capacitó al personal haciendo uso del folleto diseñado y tuvo una duración aproximada de 1 hora. Cabe mencionar que los participantes se mostraron entusiastas y externaron agradecimiento por la labor realizada.



Figura 4.13. Capacitación de los ingenieros a cargo del departamento de Ingeniería de Ventas Internas de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.14. Capacitación de los ingenieros a cargo del departamento de Ingeniería de Ventas Internas de la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada. Fuente: Elaboración propia.

4.6. Análisis económico

Los precios de cada material fueron suministrados por el software Granta CES Edupack 2019 y se ven reflejados en la tabla 4.2.

Es importante mencionar que estos precios pueden estar desactualizados debido a la versión del software utilizado, esto a causa de diferentes factores como la pandemia de COVID-19, la crisis de contenedores, así como conflictos armados internacionales, los cuales han tenido lugar desde el año 2019 hasta la actualidad. Es por esta razón por la que se solicita una cotización de los materiales a distintas empresas costarricenses comerciantes de metales, con el fin de realizar una comparación de precios y verificar la validez de la información suministrada por el software, no obstante, solo se obtuvo respuesta de parte de la empresa Aceros Especiales S.A.

La empresa Aceros Especiales S.A. confirmó la similitud de precios de los aceros 304L y 316L en comparación con la tabla 4.2. Sin embargo, la empresa indicó que el acero 316L con recubrimiento de tefzel, además del titanio y el tantalio, no corresponden a materiales que se comercialicen en Costa Rica, por lo que se debe recurrir a un distribuidor internacional para conocer el costo de estos.

Tabla 4.2. Materiales de construcción - Precio en colones por kg. Fuente: Elaboración propia.

Material de construcción (kg)	Precio (CRC)
Acero inoxidable 316L	2.300
Acero inoxidable 304L	1.700
Acero inoxidable súper dúplex	5.900
Aleación de níquel C-22	12.500
Tantalio	200.000

De acuerdo con estos resultados, se puede apreciar que el acero inoxidable 304L corresponde al material con el menor precio en el mercado, sin embargo, como se menciona anteriormente este material presenta una serie de restricciones dependiendo del ambiente en el que se desarrolle. Por otro lado, el tantalio es el material con mayor precio, debido a su alto costo se limita su uso a situaciones que presenten condiciones extremas de temperatura, niveles bajos de pH o concentraciones muy altas de cloruro, tal como se presenta en la tabla 4.1.

4.7. Análisis de impacto ambiental

En esta sección se hizo uso de la herramienta Eco Audit que facilita el software Granta CES Edupack 2019. Esta herramienta permite calcular la energía utilizada y el dióxido de carbono producido en las cinco etapas clave del ciclo de vida del producto, las cuales consisten en: materiales, fabricación, transporte, uso y fin de vida. El resultado obtenido se presenta en la figura 4.11.

Material:

[Re](#)

Componente	Material	% reciclado*	m (kg) pieza	Uds.	m total (kg)	Huella de CO2(kg)
Flow meter	Stainless steel, austenitic, AISI 316L, annealed	Virgen (0%)	0,3	100	30	1,7e+02
Flow meter	Stainless steel, austenitic, AISI 304L, annealed	Virgen (0%)	0,3	100	30	1,4e+02
Flow meter	Nickel-Mo-Cr alloy, HASTELLOY C-22, annealed	Virgen (0%)	0,3	100	30	4,2e+02
Flow meter	Tantalum, commercial purity, R05200, annealed, >99.7% Ta	Virgen (0%)	0,3	100	30	7,8e+03
Flow meter	Titanium, commercial purity, Grade 4, annealed	Virgen (0%)	0,3	100	30	9,9e+02

Figura 4.15. Resultado de análisis de impacto ambiental de los diferentes materiales de construcción. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

Para realizar este análisis se tomaron como datos iniciales los materiales de construcción seleccionados en los apartados anteriores, además se contempla que estos materiales se utilizarán nuevos, no son reciclados, con un peso aproximado de 300 gramos y un lote inicial de 100 piezas. Los resultados obtenidos son proporcionales a los del análisis económico, en donde el acero inoxidable 304L cuenta con la menor cantidad de huella de CO₂, mientras que el tantalio es el material de construcción con mayor cantidad de huella de CO₂.

5 Conclusiones

En este capítulo se presentan las principales conclusiones que se obtuvieron luego del análisis de resultados, datos obtenidos y comparaciones de materiales realizadas a lo largo de este proyecto.

Los materiales de construcción de medidores de flujo, presión y temperatura que ofrece la empresa Emerson Electric Costa Rica Limitada satisfacen las necesidades y requerimientos de los ambientes en que se pueden llegar a desarrollar en la industria.

El material base para la selección de materiales, tomando en cuenta sus propiedades físicas y mecánicas, fue el acero 316L, esto debido a que este acero satisface la mayoría de requerimientos de los ambientes de estudio.

El acero inoxidable 304L, a pesar de ser susceptible a la corrosión en la mayoría de ambientes disponibles, es el material que presenta menor costo y menor cantidad de huella de CO₂.

El titanio y el tantalio a pesar de presentar costos elevados y mayor porcentaje de huella de dióxido de carbono, son los materiales seleccionados con una mayor resistencia en ambientes con presencia de cloruros.

6 Recomendaciones

En este capítulo se enlistan las recomendaciones pertinentes luego de realizar este proyecto.

Hacer uso de las bases de datos del software Granta CES Edupack con el fin de ampliar la selección de materiales de construcción de los medidores de flujo, presión y temperatura conociendo de esta manera su durabilidad y resistencia a la corrosión. Este software es una herramienta completa para la resolución de problemas globales de selección de materiales, por lo tanto, realizar una inversión en la compra de esta base de datos e implementar su uso beneficiaría a la empresa logrando minimizar el tiempo de búsqueda y selección de los materiales, mejorando así la eficiencia en las tareas del proceso ingenieril.

Ampliar la investigación bibliográfica de los ambientes que no se abarcaron en este proyecto con el fin de adicionar estos al manual de selección de materiales.

Realizar un estudio de velocidad de corrosión con los materiales seleccionados, o bien, un ensayo de corrosión con potenciostato, esto con el fin de comprobar de forma práctica los resultados obtenidos en este proyecto.

Llevar a cabo ensayos de tracción y dureza que permitan evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los medidores de flujo, presión y temperatura en un ambiente controlado de laboratorio, esto con el objetivo de determinar la veracidad de los datos obtenidos mediante la investigación bibliográfica realizada en este proyecto.

Replicar el estudio utilizando variantes de temperatura dentro de un rango de (-18-200) °C y concentración dentro de un rango de (0-100) %wt, debido a que estos parámetros son utilizados con mayor frecuencia para los entornos estudiados, con el objetivo de determinar la veracidad de los datos obtenidos mediante la investigación bibliográfica realizada en este proyecto.

Bibliografía

Caudalímetros Coriolis Micro Motion | Emerson ES. (s. f.). <https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/coriolis-flow-meters>

Global Environmental Management and Sustainability Policy. (2023). Emerson Electric Co. Recuperado 1 de agosto de 2023, de <https://www.emerson.com/documents/corporate/emerson-environmental-management-sustainability-policy-2023-en-us-es-mx-9261704.pdf>

Fang, B. Y., Atrens, A., Wang, J. Q., Han, E. H., Zhu, Z. Y., & Ke, W. (2003). Review of stress corrosion cracking of pipeline steels in “low” and “high” pH solutions. *Journal of materials science*, 38, 127-132.

Gil, L., & Aponte, C. (2013). *Resistencia a la Corrosion de Aceros Inoxidables Super Duplex Tratados Termicamente*.

Glasstone, S. (2011). *An introduction to electrochemistry*. Read Books Ltd.

Historia de la empresa Emerson | Emerson CR. (s. f.). <https://www.emerson.com/es-cr/about-us/company-history>

Holappa, L. (2020). A general vision for reduction of energy consumption and CO2 emissions from the steel industry. *Metals*, 10(9), 1117. <https://doi.org/10.3390/met10091117>

Jimenez, J. L., Perez, L. C., Serrano, F. P., & Del Atlantico, Universidad. (2016). *Los Halogenos*.

Poveda, E. G., MARTINEZ, R. A., & PRIETO, I. O. (2011). *ACERO INOXIDABLE 316 y 316 L PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS*. Fundación Universitaria los Libertadores.

Revie, R.W. (2011). *Uhlig's Corrosion Handbook*. Wiley & Sons, Inc: USA.

Salazar-Jiménez, J. A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000300127

Sánchez Arcia, A. H. (2022). Acero inoxidable 316 L.

Worldsteel. (2023). Climate change and the production of iron and steel - Worldsteel.org. [worldsteel.org. https://worldsteel.org/climate-action/climate-change-and-the-production-of-iron-and-steel/](https://worldsteel.org/climate-action/climate-change-and-the-production-of-iron-and-steel/)

Zadorozne, N. S. (2010). Resistencia a la corrosión de aleaciones Ni-Cr-Mo en diferentes condiciones metalúrgicas.

Anexos

Anexo 1.

Folleto informativo. Manual de selección de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2.

Ejemplo de ficha técnica del acero 316L. Fuente: Granta CES Edupack, 2019.

▶ ATENCIÓN AL CLIENTE EMERSON

Email:

- Mundo: flow.support@emerson.com
- Región de Asia y el Pacífico: APflow.support@emerson.com

▶ TELÉFONOS

Europe and Middle East		Asia Pacific	
U.K. and Ireland	0870 240 1978	Australia	800 158 727
The Netherlands	+31 (0) 70 413 6666	New Zealand	099 128 804
France	+33 (0) 800 917 901	India	800 440 1468
Germany	0800 182 5347	Pakistan	888 550 2682
Italy	+39 8008 77334	China	+86 21 2892 9000
Central & Eastern	+41 (0) 41 7686 111	Japan	+81 3 5769 6803
Russia/CIS	+7 495 995 9559	South Korea	+82 2 3438 4600
Egypt	0800 000 0015	Singapore	+65 6 777 8211
Oman	800 70101	Thailand	001 800 441 6426
Qatar	431 0044	Malaysia	800 814 008
Kuwait	663 299 01		
South Africa	800 991 390		
Saudi Arabia	800 844 9564		
UAE	800 0444 0684		

North and South America	
United States	800-522-6277
Canada	+1 303-527-5200
Mexico	+52 55 5809 5300
Argentina	+54 11 4809 2700
Brazil	+55 15 3413 8000
Chile	+56 2 2928 4800
Peru	+51 15190130



MICRO MOTION

MEDIDORES DE FLUJO,
DENSÍMETROS Y
VISCOSÍMETROS CORIOLIS

MANUAL DE SELECCIÓN DE
MATERIALES



Este folleto fue confeccionado por la ingeniera Abril Chavarría Ledezma como parte del Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica

SOBRE ESTE FOLLETO

Este folleto consiste en un manual de selección de materiales de construcción de instrumentos de medición de flujo, presión y temperatura respecto a los ambientes en que puedan llegar a desempeñarse en la industria.

Este folleto puede ser utilizado como un documento de preventa para ayudarle a seleccionar el material correcto para los medidores Micro Motion que miden productos químicos corrosivos.

La información contenida en este documento asume que los usuarios comprenden todos los estándares y requisitos de seguridad corporativos y gubernamentales que protegen contra lesiones y muerte.

Las pautas contenidas en esta publicación son solo para información. Los cambios menores en las propiedades del fluido (por ejemplo, temperatura, concentración y niveles de impurezas) pueden afectar la compatibilidad de las piezas mojadas.

Las opciones de compatibilidad de materiales son responsabilidad exclusiva del usuario final.

Es posible elegir el mejor material comparando las limitaciones de la aleación según la composición química de sus fluidos.

La composición química de la mayoría de los ambientes puede ser caracterizada por las siguientes variables: concentración de halógenos, pH, potencial químico y temperatura.

MATERIALES MÁS UTILIZADOS

- Acero inoxidable 316L
- Acero inoxidable 304L
- Aceros inoxidables súper dúplex
- Acero inoxidable 316L revestido con recubrimiento Tefzel
- Aleación de níquel C-22
- Titanio
- Tantalio

AMBIENTES MÁS COMUNES

- Ácido nítrico
- Cloruros de yacimientos petrolíferos y CO₂
- Flúor acuoso
- Fluidos de procesos corrosivos
- Cloruros
- Temperaturas extremadamente altas, bajo PH o altas concentraciones de cloruro



GUÍA DE SELECCIÓN DE MATERIALES

Material de construcción	Ambiente
Acero inoxidable 316L	Típico
Acero inoxidable 304L	Ácido nítrico
Acero inoxidable súper dúplex	Cloruros de yacimientos petrolíferos y CO ₂
Aleación de níquel C-22	Fluidos de procesos corrosivos
Titanio	Cloruros
Tantalio	Altas temperaturas extremas, niveles muy bajos de pH o altas concentraciones de cloruro

General information

Designation

AISI 316, wrought	
Condition	Solution annealed
UNS number	S31600
US name	ASTM WP316, ASTM TP316, ASTM S31640, ASTM S31635, ASTM S31603, ASTM S31600, ASTM MT316, ASTM F316, ASTM CR316, ASTM Alloy Group A4, ASTM Alloy Group 2, AMS 5696, AMS 5690, AMS 5573, AMS 5524, ~ASTM S31653, ~ASME 316
EN name	~X5CrNiMo17-12-2, ~X3CrNiMo17-13-3, ~X2CrNiMoN17-13-3
EN number	1.4983, 1.4571, ~1.4919, ~1.4404, ~1.4401
ISO name	X6CrNiMoTi17-12, X5CrNiMo17-13, X5CrNiMo17-12-2E, X5CrNiMo17-12, ~X5CrNiMo17-12-2, ~X3CrNiMo17-12-3, ~20a
GB (Chinese) name	0Cr17Ni12Mo2(-R), 0Cr17Ni12Mo2(-Q), 0Cr17Ni12Mo2(-L), 0Cr17Ni12Mo2, ~H0Cr19Ni12Mo2, ~0Cr17Ni12Mo2N
JIS (Japanese) name	SUSF316, SUS316-WSB, SUS316-WSA, SUS316-WPA, SUS316TPY, SUS316TPD, SUS316TP, SUS316TKC, SUS316TKA, SUS316TTP, SUS316TiTB, SUS316Ti, SUS316TBS, SUS316TB, SUS316FB, SUS316F, SUS316 TF, SUS316, SDP5

Tradenames

TYPE 316, Allegheny Ludlum; 316, ATI Allvac; 316, Carpenter; 316, AK Steel

Typical uses

Architectural sections, catering equipment, filters, food-processing equipment, heat exchangers, process plant parts, pulp and paper equipment.

Composition overview

Compositional summary

Fe62-72 / Cr16-18 / Ni10-14 / Mo2-3 (impurities: Mn<2, Si<1, C<0.08, P<0.045, S<0.03)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0	-	0,08	%
Cr (chromium)	16	-	18	%
Fe (iron)	* 61,8	-	72	%
Mn (manganese)	0	-	2	%
Mo (molybdenum)	2	-	3	%
Ni (nickel)	10	-	14	%

P (phosphorus)	0	-	0,045	%
S (sulfur)	0	-	0,03	%
Si (silicon)	0	-	1	%

Price

Price	* 2,06e3	-	2,31e3	CRC/kg
Price per unit volume	* 1,62e7	-	1,86e7	CRC/m ³

Physical properties

Density	7,87e3	-	8,07e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	189	-	205	GPa
Specific stiffness	23,7	-	25,8	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	205	-	310	MPa
Tensile strength	515	-	620	MPa
Specific strength	25,7	-	38,9	kN.m/kg
Elongation	30	-	50	% strain
Compressive strength	* 205	-	310	MPa
Flexural modulus	* 189	-	205	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	205	-	310	MPa
Shear modulus	74	-	82	GPa
Bulk modulus	134	-	152	GPa
Poisson's ratio	0,265	-	0,275	
Shape factor	62			
Hardness - Vickers	190	-	220	HV
Hardness - Rockwell B	79	-	95	HRB
Hardness - Rockwell C	* 8	-	16	HRC
Hardness - Brinell	149	-	197	HB
Elastic stored energy (springs)	123	-	221	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	228	-	252	MPa
Fatigue strength model (stress range)	195	-	294	MPa

[Parámetros:](#) Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles

Impact & fracture properties

Fracture toughness	55	-	75	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	15,7	-	28	kJ/m ²

Thermal properties

Melting point	1,38e3	-	1,4e3	°C
Maximum service temperature	750	-	925	°C
Minimum service temperature	-200			°C
Thermal conductivity	13	-	17	W/m.°C
Specific heat capacity	490	-	530	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	15	-	18	µstrain/°C

Thermal shock resistance	62,2	-	97,6	°C
Thermal distortion resistance	* 0,772	-	1,06	MW/m
Latent heat of fusion	* 260	-	285	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	69	-	81	μohm.cm
Electrical conductivity	2,13	-	2,5	%IACS
Galvanic potential	* -0,18	-	-0,1	V

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque
Acoustic velocity	4,86e3 - 5,08e3 m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 9,5e-4 - 0,0013

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	Yes
-----------------------------------	-----

Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Excellent
Metal hot forming	Excellent
Metal press forming	Excellent
Metal deep drawing	Excellent
Machining speed	20,7 m/min
Weldability	Excellent
Notes	Preheating is not required, post weld heat treatment is required
Weldability - MIG	Excellent
Weldability - plasma	Excellent
Weldability - SAW	Excellent
Weldability - TIG	Excellent
Brazeability	Good
Carbon equivalency	0,833 - 1,21

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Acceptable
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	Excellent
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent

Galling resistance (adhesive wear)	Acceptable
Notes	
Aluminum bronze is the most suitable mating material to minimize galling.	

Flammability	Non-flammable
--------------	---------------

Corrosion resistance of metals

Pitting resistance equivalent number (PREN)	22,6 - 27,9
Pitting and crevice corrosion resistance	Medium (20-30)
Stress corrosion cracking	Slightly susceptible
Notes	Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydrogen sulfide
Intergranular (weld line) corrosion resistance	Restricted
Inorganic acids	Moderate
Organic acids	Good
Alkalis	Moderate
Humidity / water	Excellent
Sea water	Good
Sour oil and gas	Moderate

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 73 - 80,5	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 5,3 - 5,85	kg/kg
Water usage	* 144 - 159	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Roll forming, forging energy	* 2,29 - 2,53	MJ/kg
Roll forming, forging CO2	* 0,172 - 0,19	kg/kg
Roll forming, forging water	* 2,53 - 3,79	l/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 4,29 - 4,74	MJ/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 0,322 - 0,356	kg/kg
Extrusion, foil rolling water	* 3,39 - 5,08	l/kg
Wire drawing energy	* 15,3 - 16,9	MJ/kg
Wire drawing CO2	* 1,15 - 1,27	kg/kg
Wire drawing water	* 5,77 - 8,65	l/kg
Metal powder forming energy	* 37 - 40,6	MJ/kg
Metal powder forming CO2	* 2,96 - 3,25	kg/kg
Metal powder forming water	* 40,2 - 60,3	l/kg
Vaporization energy	* 1,09e4 - 1,2e4	MJ/kg
Vaporization CO2	* 815 - 900	kg/kg
Vaporization water	* 4,53e3 - 6,79e3	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0,776 - 0,857	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,0582 - 0,0643	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 3,48 - 3,85	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,261 - 0,288	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 6,49 - 7,17	MJ/kg

Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0,486	-	0,538	kg/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 109	-	120	MJ/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 8,15	-	9	kg/kg

Recycling and end of life

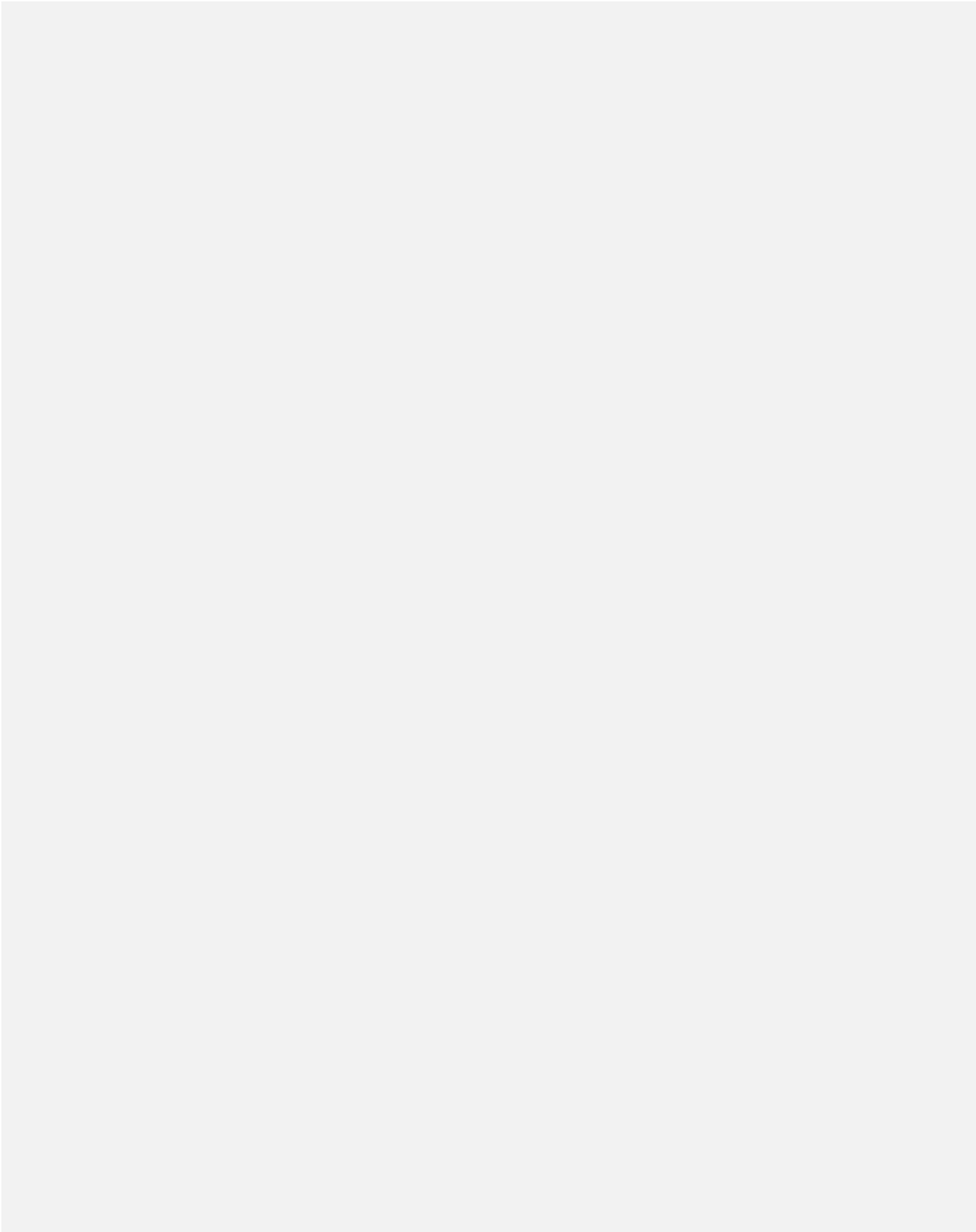
Recycle				✓
Embodied energy, recycling	* 15,6	-	17,3	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 1,23	-	1,36	kg/kg
Recycle fraction in current supply	35,5	-	39,3	%
Downcycle				✓
Combust for energy recovery				✗
Landfill				✓
Biodegrade				✗

Notes

Keywords

ARGESTE 4435 LA, Stahlwerk Ergste Westig GmbH (GERMANY); SPARTAN REDHEUGH 320S33, Spartan Redheugh Ltd (UK); SPARTAN REDHEUGH 316S13, Spartan Redheugh Ltd (UK); SPARTAN REDHEUGH 316S33, Spartan Redheugh Ltd (UK); ARGESTE 4436 PA, Stahlwerk Ergste Westig GmbH (GERMANY); ACX 300, Acerinox, S.A. (SPAIN); EASTERN STAINLESS TYPE 316, Eastern Stainless Corp. (USA); PROJECT 70 STAINLESS TYPE 316, Carpenter Technology Corp. (USA); SPARTAN REDHEUGH 320S31, Spartan Redheugh Ltd (UK); PROJECT 7000 STAINLESS TYPE 316, Carpenter Technology Corp. (USA); ALLEGHENY LUDLUM TYPE 316, Allegheny Ludlum Steel (USA); EASTERN STAINLESS TYPE 316L, Eastern Stainless Corp. (USA); PROJECT 70 STAINLESS TYPE 316L, Carpenter Technology Corp. (USA); ARGESTE 4404 LA/SB/VC, Stahlwerk Ergste Westig GmbH (GERMANY); SPARTAN REDHEUGH 316S11, Spartan Redheugh Ltd (UK); PROJECT 7000 STAINLESS TYPE 316L, Carpenter Technology Corp. (USA); ALLEGHENY LUDLUM TYPE 316L, Allegheny Ludlum Steel (USA); ARGESTE 4571 TB/SA/TA, Stahlwerk Ergste Westig GmbH (GERMANY); ARGESTE 4401 PA/LA/PC/SB/VC, Stahlwerk Ergste Westig GmbH (GERMANY); SPARTAN REDHEUGH 316S31, Spartan Redheugh Ltd (UK); ALLEGHENY LUDLUM TYPE 321, Allegheny Ludlum Steel (USA); EMPIRE TYPE 316EZ, Empire Specialty Steel Inc. (USA); ACX 290, Acerinox, S.A. (SPAIN); ACX 260, Acerinox, S.A. (SPAIN); RDN 280, Roldan S.A. (SPAIN); ACX 280, Acerinox, S.A. (SPAIN); RDN 255, Roldan S.A. (SPAIN); RDN 270, Roldan S.A. (SPAIN); ACX 250, Acerinox, S.A. (SPAIN); ALZ 316, TradeARBED Inc. (USA); ACX 270, Acerinox, S.A. (SPAIN); SANDVIK SANMAC 316L, Sandvik Steel Co. (USA); RDN 250, Roldan S.A. (SPAIN); APMZ, Acciaierie Valbruna SpA (ITALY);

Standards with similar compositions



- Australia:
316 to AS 1449, 316 to AS 2837
- Austria:
X5CrNiMo17122S to ONORM M3120
- Canada:
316 to CSA G110.3, 316 to CSA G110.6, 316 to CSA G110.9
- China:
0Cr17Ni12Mo2 to GB 1220, 0Cr17Ni12Mo2 to GB 1221, 0Cr17Ni12Mo2 to GB 13296, 0Cr17Ni12Mo2 to GB 4226, 0Cr17Ni12Mo2 to GB 4237, 0Cr17Ni12Mo2 to GB 4238, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 12770, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 12771, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 14975, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 14976, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 3090, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 3280, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 4239, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 4356, 0Cr17Ni12Mo2 to GB/T 6725, 0Cr17Ni12Mo2(-L) to GB/T 4240, 0Cr17Ni12Mo2(-Q) to GB/T 4240, 0Cr17Ni12Mo2(-R) to GB/T 4240, 0Cr17Ni12Mo2N to GB 1220, 0Cr17Ni12Mo2N to GB 4237, 0Cr17Ni12Mo2N to GB/T 14975, 0Cr17Ni12Mo2N to GB/T 14976, 0Cr17Ni12Mo2N to GB/T 3280, 0Cr17Ni12Mo2N to GB/T 4239, 0Cr17Ni12Mo2N to GB/T 6725
- Czech Republic:
17346 to CSN 417346
- India:
04Cr17Ni12Mo2 to IS 6529, 04Cr17Ni12Mo2 to IS 6603, 04Cr17Ni12Mo2 to IS 6911, 04Cr17Ni12Mo2Ti20 to IS 6529, 07Cr19Ni9Mo2 to IS 11714/4, 07Cr19Ni9Mo2 to IS 11714/5, 6Cr17Ni12Mo2H to IS 1570/7, Grade D to IS 6913, X02Cr17Ni12Mo2 to IS 6911, X04Cr17Ni12Mo2 to IS 1570/5, X04Cr17Ni12Mo2 to IS 4454/4, X04Cr17Ni12Mo2 to IS 6527, X04Cr17Ni12Mo2 to IS 6528, X04Cr17Ni12Mo2B to IS 6528, X04Cr17Ni12Mo2Ti to IS 1570/5
- International:
20 to ISO 683-13, F62 to ISO 2604-1, P60 to ISO 2604-4, X5CrNiMo17-12 to ISO 9327-5, X5CrNiMo17-12 to ISO 9329-4, X5CrNiMo17-12 to ISO 9330-6, X5CrNiMo17-12-2 to ISO 6931-1, X5CrNiMo17-12-2E to ISO 4954, X6CrNiMoNb17-12-2 to ISO 9328-7, X6CrNiMoTi17-12-2 to ISO 16143-1, X6CrNiMoTi17-12-2 to ISO 16143-2, X6CrNiMoTi17-12-2 to ISO 16143-3, X6CrNiMoTi17-12-2 to ISO 9328-7
- Italy:
X5CrNiMo1712 to UNI 6901, X5CrNiMo1712 to UNI 7500, X5CrNiMo1712 to UNI 8317
- Japan:
SDP5 to JIS G3352, SUS 316 TF to JIS G3467, SUS316 to JIS G4303, SUS316 to JIS G4304, SUS316 to JIS G4305, SUS316 to JIS G4306, SUS316 to JIS G4307, SUS316 to JIS G4308, SUS316 to JIS G4309, SUS316 to JIS G4317, SUS316A to JIS G4321, SUS316F to JIS G4303, SUS316F to JIS G4308, SUS316F to JIS G4309, SUS316FB to JIS G4319, SUS316TB to JIS G3463, SUS316TBS to JIS G3447, SUS316Ti to JIS G4303, SUS316Ti to JIS G4304, SUS316Ti to JIS G4305, SUS316TiTB to JIS G3463, SUS316TiTP to JIS G3459, SUS316TKA to JIS G3446, SUS316TKC to JIS G3446, SUS316TP to JIS G3459, SUS316TPD to JIS G3448, SUS316TPY to JIS G3468, SUS316-WSA to JIS G4315, SUS316-WSB to JIS G4315, SUSF316 to JIS G3214
- Mexico:
316 to NMX-B-83, MT316 to NMX-B-171, TP316 to NMX-B-176, TP316 to NMX-B-186-SCFI, TP316L to NMX-B-176
- Pan America:
TP316 to COPANT 513
- Russia:
P to GOST 30208
- South Korea:
STS 316 TKA to KS D 3536, STS 316 TKC to KS D 3536, STS 316 to KS D 3535, STS 316 to KS D 3706, STS 316F to KS D 3706, STS 316F-W1 to KS D 3703, STS 316Ti to KS D 3706, STS 316-W1 to KS D 3703, STS 316-WSA to KS D 3697, STS F 316 to KS D 4115, STS316 to KS D 3692, STS316 to KS D 3698, STS316 to KS D 3702, STS316 to KS D 3705, STS316F to KS D 3692, STS316F to KS D 3702, STS316FB to KS D 3691, STS316Ti to KS D 3698, STS316Ti to KS D 3705, STS316TPY to KS D 3588
- Spain:
F.3534 to UNE 36016, X6CrNiMo17-12-03 to UNE 36016, XCrNiMo17-12-03 to UNE 36016, XCrNiMo17-12-03 to UNE 36087
- UK:
316S19 to BS 1554, 316S31 to BS 1449/2, 316S31 to BS 1502, 316S31 to BS 1506, 316S31 to BS 3605/1, 316S31 to BS 3606, 316S31 to BS 6258, 316S31 to BS 970/1, 316S33 to BS 1554, X6CrNiMoNb17-12-2 to BS EN 10088-1, X6CrNiMoNb17-12-2 to BS EN 10088-2, X6CrNiMoNb17-12-2 to BS EN 10088-3, X6CrNiMoNb17-12-2 to BS EN 10216-5, X6CrNiMoNb17-12-2 to BS EN 10272, X6CrNiMoNb17-12-2 to BS EN 10297-2, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10088-1, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10088-2, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10088-3, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10216-5, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10222-5, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10250-4, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10272, X6CrNiMoTi17-12-2 to BS EN 10296-2
- USA:
316 to ASTM A368-95a, 316 to ASTM A473, 316 to ASTM A478-97, 316 to ASTM A793-96, 316 to FED QQ-S-763F, 316 to FED QQ-S-766D, 316 to MIL-P-1144D, 316 to MIL-S-5059D, 316 to MIL-S-7720A, 316 to MIL-S-862B, 316Cb to ASTM A368-95a, 316Cb to ASTM A478-97, 316Ti to ASTM A368-95a, 316Ti to ASTM A478-97, 5524 to AMS 5524, 5573 to AMS

Enlaces

ProcessUniverse

Producers

Reference

Shape
