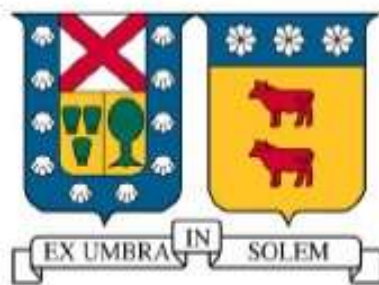


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**“PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA
ESTABLECER UNA POLITICA DE
SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA
METAL MECANICA CHILENA”**

MARTIN IGNACIO ELICEIRY LOYOLA

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO.**

PROFESOR GUÍA :	Ing. RAFAEL MENA YANSSEN
PROFESOR CORREFERENTE :	Dr. Ing. MARIO TOLEDO TORRES

Noviembre – 2016

*A mi Madre por su amor,
por enseñarme a perseverar y
mostrarme el valor de la amistad.*

*A mis profesores por su paciencia infinita,
por creer en mí y por sus enseñanzas de vida.*

*A mis amigos por su ayuda y apoyo incondicional
y por hacerme ver que no importa lo que pase,
siempre sale el sol, siempre.*

Resumen

Para comprender el estado actual de la sostenibilidad, es necesario comenzar con el estudio de la evolución del concepto a lo largo de la historia, en la actualidad se habla de desarrollo sostenible, que es aquel desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. El desarrollo sostenible, es el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo por lo que hoy es no es posible ejecutar la ingeniería si no es de la mano del desarrollo sostenible. Es fundamental alinear la ingeniería mecánica con los objetivos del desarrollo sostenible, la sostenibilidad cumple un rol importante en la mecánica y es el de minimizar el impacto de los procesos en la sociedad, medio ambiente y economía de la empresa y su contexto. A nivel mundial, Suecia es el país más sostenible del mundo, Chile por otra parte figura en un lugar destacado dentro del grupo de los países en vías de desarrollo y es el más sostenible en el contexto latinoamericano.

Este trabajo busca encontrar y proponer alternativas sostenibles de producción para generar una política de sostenibilidad para la industria metal mecánica chilena, la metodología utilizada en la investigación se separa en dos etapas. La primera etapa es la de investigación en la literatura, con el fin de comprender el estado actual de las alternativas de producción y diseño sostenible e identificar las mejores propuestas tanto de publicaciones en revistas científicas, memorias de sostenibilidad, informes de sostenibilidad, manuales y acuerdos internacionales. La segunda etapa tiene que ver con llenar los vacíos generados por la investigación en la literatura, estas incertidumbres serán resueltas a través de entrevistas con expertos en tres áreas importantes a nivel nacional: industrial, público y educación.

Se investigan y se proponen diferentes formas de medir la sostenibilidad tanto de procesos como de productos, en el capítulo 4 se presentan las diferentes metodologías para la producción sostenible seleccionadas desde la investigación en la literatura.

Finalmente se presenta una propuesta de política de sostenibilidad para la industria metal mecánica nacional y una comparación que visualiza un futuro escenario de la industria metalmecánica con política de sostenibilidad y sin política de sostenibilidad, seguido de las conclusiones.

Abstract

To understand what sustainability is, it is necessary to start by studying the evolution of the concept from the very beginning. This thesis focuses on sustainable development defined as development that satisfies the needs of the present generation, without compromising the ability for future generations to satisfy their needs. Sustainable development is the guiding principle for long-term global development such that today it is not possible to implement engineering without sustainable development in mind. It is fundamental to align mechanical engineering with the objectives of sustainable development. Sustainability plays an important role in mechanical engineering, which is to minimize the impact of those processes on society, environment and the company's economy. At the world level, Sweden is the most sustainable country. Chile, for its part holds a high place among developing countries and is the most sustainable in Latin America.

This work aims to find and propose sustainable alternatives of production to generate a sustainable policy for the Chilean metal mechanical industry using two methodologies. The first is a literature review that aims to understand the current state of production alternatives and sustainable design; to identify the best proposals from scientific publications, sustainable memoirs and reports, and international guidelines and agreements. The second method aims to fill the knowledge gaps generated by the literature review with interviews with experts from three important national areas: industry, university, and the public.

Different ways to measure the sustainability of processes in products are investigated and proposed, and in chapter 4 the different methodologies for sustainable production from the literature search are presented.

Finally, a proposal for a sustainability policy for the metal mechanical industry is proposed and a comparison that visualizes future scenarios of the metal mechanic industry under the sustainability policy and without the sustainability policy is made.

Glosario

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

ODS: Objetivos del Desarrollo Sostenible.

GRI: *Global Reporting Initiative*.

FTSE KLD 400: Índice social de sostenibilidad.

BOVEPSA: Índice de sostenibilidad de la bolsa de valores de Sao Paulo.

DJSI Chile: Índice de sostenibilidad de Dow Jones Chile.

IPSA: Índice de precio selectivo de acciones.

ISP: Índice de sostenibilidad de producto.

ACV: Análisis del ciclo de vida.

LCA: ACV en inglés (*Life Cycle Assessment*).

ISO: Organización internacional de normalización.

IO: Input-Output.

AISI: Instituto Americano del Hierro y Acero.

OP Cost: Indicador económico de sostenibilidad.

IMNF: Indicador ambiental, ingreso de materiales de compuestos no volátiles.

ONSEC: Indicador ambiental de consumo de energía.

H2O: Indicador ambiental de consumo de agua.

H2O DIS: Indicador ambiental de efluente de agua de los procesos.

EM GHG: Indicador ambiental de emisión de gases de efecto invernadero.

EM POL: Indicador ambiental de emisiones contaminantes.

W2L: Indicador ambiental, desechos a vertedero.

W2R: Indicador ambiental, desechos a reciclaje.

WHAZ: Indicador ambiental, desechos peligrosos.

INJ: Indicador social, nivel de seguridad laboral.

ILL: Indicador social, enfermedades crónicas laborales.

SPIF: *Single Point Incremental Forming*.

Índice

Resumen.....	II
Abstract	IV
Glosario.....	VI
Índice.....	VIII
Introducción	XVII
1 Capítulo: Sobre la sostenibilidad	2
1.1 Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible.....	7
1.2 Sostenibilidad e ingeniería mecánica.	10
1.3 Sostenibilidad en el mundo	11
1.4 Sostenibilidad en Chile.....	13
2 Metodología de la investigación	15
2.1 Investigación en la literatura	15
2.2 Encuesta.....	17

2.3	Resultados de la encuesta	18
2.4	Análisis de la encuesta	19
2.5	Resumen de los resultados	20
2.5.1	Interpretación de los resultados y oportunidades	22
3	Capítulo: Medición de Sostenibilidad.....	24
3.1	Sistema Complejo.....	24
3.2	Indicadores	25
3.3	Índices de sostenibilidad empresarial.....	26
3.4	Matriz de Sostenibilidad.....	28
3.5	Análisis del Ciclo de vida (LCA)	31
4	Capítulo: Metodologías para la producción sostenible	35
4.1	Metodología basada en proceso unitario para asistir la evaluación de sostenibilidad durante el proceso de diseño.	35

4.1.1	Definir el objetivo y alcance de la evaluación	36
4.1.2	Elegir y cuantificar índice de medición de sostenibilidad.	36
4.1.3	Definir el proceso clave de manufactura.....	37
4.1.4	Construcción de modelos matemáticos.....	37
4.1.5	Aplicar los modelos y sumar los índices.....	38
4.1.6	Análisis y comparación de los resultados de la evaluación.	39
4.1.7	Paso a paso de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad aplicado al ejemplo.	39
4.2	Solid Works Sustainability	50
4.3	Tecnologías de mecanizado sostenibles	52
4.3.1	Mecanizado en seco.	54
4.3.2	Modelado numérico de operaciones rotativas.....	56
4.3.3	Modelo híbrido predictivo y automatización.	56
4.3.4	Mecanizado Semi-seco.....	57
4.3.5	Mecanizado criogénico	58
4.4	Sostenibilidad en soldadura.....	59
4.4.1	Eficiencia energética en soldadura.....	60
4.4.2	Eficiencia del procedimiento de soldadura	61
4.4.3	Eficiencia de la fuente de poder de soldadura.....	63
4.4.4	Conclusiones	65
4.5	Comparación energética de conformado de chapa por deformación v/s proceso de estampado.	65

4.5.1	Análisis de SPIF	67
4.5.2	Calculo energetico en el proceso SPIF.....	71
4.5.3	Resultados energéticos del SPIF	72
4.5.4	Análisis del proceso de estampado.	74
4.5.5	Cálculo energetico del proceso de estampado	74
4.5.6	Resultados energéticos del estampado	75
4.5.7	Análisis energético comparativo	77
4.5.8	Comparación de ahorro de material	80
4.5.9	Conclusiones.	81
4.6	Sostenibilidad en estructuras metálicas	82
4.6.1	Diseñar para reutilizar:	83
4.7	Sostenibilidad en Mecánica de banco	85
4.8	Sostenibilidad y cadena de distribución	85
4.8.1	Modelo de cadena de distribución circular	86
5	Propuesta de política de sostenibilidad	89
5.1	Confección de una política de sostenibilidad	89

5.2	Propuesta de política de sostenibilidad	90
5.2.1	Plan de educación de sostenibilidad para todo el personal de la empresa ..	90
5.2.2	Implementación de la Norma ISO 26000 de responsabilidad social empresarial.	91
5.2.3	Implementación de la norma ISO 14031 de evaluación de desempeño ambiental.	92
5.2.4	Plan de economía circular con proveedores y clientes.....	93
5.2.5	Informe de sostenibilidad.....	94
5.2.6	Implementar Alternativas de producción sostenibles para la industria metal mecánica.....	95
5.3	Inferir y proyectar el impacto y los resultados de la aplicación de una política de sostenibilidad a la industria nacional.....	95
6	Conclusiones	98
7	Referencias.....	100
8	Anexos	101
8.1	Metas de los ODS considerados.	101

Índice imágenes

Imagen 1.1 Ranking Top 20 países más sostenibles, 2016.	12
Imagen 1.2 Ranking Top 20 países emergentes más sostenibles, 2016.....	13
Imagen 3.1 Gráfico resumen resultado de la encuesta.	20
Imagen 4.1 Factores influyentes en los estados del ciclo de vida del producto....	30
Imagen 4.2 Cuadro resumen análisis de ciclo de vida.	32
Imagen 5.1 Metodología de la evaluación de sostenibilidad.	35
Imagen 5.2 Imagen de las tres alternativas a evaluar.	40
Imagen 5.3 Diagrama de flujo alternativa 1.	46
Imagen 5.4 Diagrama de flujo alternativa 2.	47
Imagen 5.5 Diagrama de flujo alternativa 3.	48
Imagen 5.6 Comparación de los valores normalizados para alternativas.	49
Imagen 5.7 Vista de SolidWorks sustainability.	51
Imagen 5.8 Modelo de fuerzas elementales en mecanizado	55

Imagen 5.9 Fuerza de corte para refrigerante y aceite NDM.....	58
Imagen 5.10 Comparación entre superficies mecanizadas	59
Imagen 5.11 Procedimiento soldadura al arco	61
Imagen 5.12 Simulación de adición de calor cuando varía el espesor del cordón de soldadura con velocidad de soldadura constante.	62
Imagen 5.13 Total de energía consumida cuando se realiza soldadura con diferentes procesos.....	63
Imagen 5.14 Aporte de calor para soldar acero de espesor 12 [mm].....	64
Imagen 5.15 Diferentes tipos de fuentes de poder disponibles para soldadura. ...	64
Imagen 5.16 Diagrama del arreglo experimental.....	68
Imagen 5.17 Componentes de la fuerza resultante.....	69
Imagen 5.18 Tendencia de las fuerzas para forma cónica	70
Imagen 5.19 Tendencia de las fuerzas para forma piramidal.....	70
Imagen 5.20 Componente de las fuerzas v/s largo de la aguja.	72
Imagen 5.21 Niveles de energía y ahorro para dos espesores diferentes.	73

Imagen 5.22 Modelos CAD para dos geometrías y operaciones de estampado investigadas.	74
Imagen 5.23 Curvas de carga en estampado para dos espesores	75
Imagen 5.24 Niveles de ahorro de energía para dos espesores en estampado	76
Imagen 5.25 Niveles de energía y ahorro para dos procesos diferentes con 1[mm] de espesor.	78
Imagen 5.26 Niveles de energía y ahorro para dos procesos diferentes con 1,5 [mm] de espesor.	79
Imagen 5.27 Vista general de los resultados energéticos para las condiciones investigadas.	79
Imagen 5.28 Estructura metálica con uniones no permanentes	84
Imagen 5.29 Opciones de cadena de suministros.....	87
Imagen 5.30 gráfico costo-utilidad de fabricar un producto nuevo v/s remanufacturar	88

Índice Tablas

Tabla 2.1 Tabla del formulario de la encuesta	17
Tabla 3.1 Resultados de la encuesta.....	18
Tabla 3.2 Resumen de resultados.....	19
Tabla 5.1 Índices de sostenibilidad seleccionados.....	36
Tabla 5.2 Parámetros.....	68
Tabla 5.3 Ahorro de material.	81

Introducción

En el contexto contemporáneo, en el que la disponibilidad futura de recursos naturales se ve incierta y donde la polución y contaminación afecta directamente la estabilidad del ecosistema, ha surgido una necesidad de orientarse hacia alcanzar la sostenibilidad en las actividades industriales, principalmente motivada por lograr una disminución del uso de recursos no renovables, cumplir regulaciones más estrictas relacionadas con el medio ambiente, seguridad y salud laboral, entre otras. El caso particular del sector productivo, que es el centro de la economía industrial, debe hacerse sostenible, para así mantener el nivel de vida alcanzado por la sociedad industrializada y permitir a las sociedades en vías de desarrollo lograr el mismo nivel de vida sostenible que tienen los países desarrollados.

Alcanzar la sostenibilidad en los procesos de manufactura, requiere una visión panorámica que fija el foco no solo en el producto, sino también en el proceso de fabricación, en la cadena de suministro y todos los sistemas de fabricación a través de los múltiples ciclos de vida del producto.

El siguiente trabajo de titulación busca reunir los conceptos actuales de sostenibilidad, homologar criterios y prácticas, y buscar métodos para realizar mediciones sobre el desempeño de la industria. Como producto final, se propone una política de desarrollo sostenible, aplicable a la industria metalmecánica nacional.

1 Capítulo: Sobre la sostenibilidad

Para lograr comprender la situación actual de la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, es necesario hacer referencia a la historia y descubrir cómo la humanidad ha llegado a ocuparse de sus problemas ambientales, sociales y económicos. Un método simple pero efectivo, es establecer una línea de tiempo (Ainger & Fenner, 2014) muy clara, que muestre la evolución del concepto de sostenibilidad desde el inicio con los primeros ambientalistas hasta el actual desarrollo sostenible.

1. Primeros ambientalistas

Siglo XIX: Henry David Thoreau, Ralph Waldo Emerson, John Muir. Se le otorga a la naturaleza un significado de espiritualidad llena de símbolos y misterio. Se le otorga importancia a proteger la naturaleza y se crean los primeros parques nacionales.

Siglo XX: Aldo Leopold. La supervivencia humana está ligada directamente a los ecosistemas. "Una cosa está bien, cuando tiende a preservar la integridad, belleza y estabilidad de la comunidad biótica. Está mal cuando tiende a otra cosa" (Leopold, 1949). Rachel Carson, en *La Primavera Silenciosa* (1962), Carson describe los peligros de los pesticidas industriales para humanos y animales, y frecuentemente se le otorga el crédito de fundador del movimiento ambientalista moderno y estableció la US Clean Air Acts, CleanWaterAct and the Environmental Protection Agency.

2. Ambientalismo Moderno.

1972: Límites del Crecimiento, Informe del Club de Roma. Sistemas de modelación se aplicaron a todo el mundo, mostrando altas tendencias en la disminución de recursos y acumulación de contaminación.

1974: Hipótesis Gaia de James Lovelock. La tierra se ve como un organismo auto-regulado, con condiciones para generar vida; el inicio de la ciencia para los sistemas de la tierra (Lovelock and Margulis, 1974).

3. Raíces de la sostenibilidad.

1972: Conferencia de las Naciones Unidas del Medio Ambiente Humano, Estocolmo, Suecia. Enfocada en la contaminación regional, como por ejemplo la lluvia ácida en el norte de Europa. Primer paso para encontrar relaciones positivas entre las preocupaciones ambientales y los problemas económicos como el desarrollo, crecimiento y empleabilidad.

4. Programa del Medioambiente ONU.

1972: El programa tenía como misión proveer ayuda y liderazgo para ayudar a las naciones a ocuparse del medio ambiente, inspirando, informando y permitiendo a las personas mejorar su calidad de vida sin comprometer la de las generaciones futuras.

1980s: Como salvar el mundo, de Robert Allen y Construyendo una sociedad sostenible de Lester Brown. El libro de Allen (1980) está basado en la estrategia de conservación mundial, preparada para el programa del medioambiente de Naciones Unidas y el fondo mundial de vida salvaje.

5. Inicio de la Sostenibilidad

1983: La Comisión Mundial del Desarrollo y Medio Ambiente, requiere formular la “Agenda global por el cambio”.

1984: El instituto World Watch publica el primer reporte mundial anual que entrega una relación y perspectiva global en relación a los recursos básicos mundiales y la dinámica del desarrollo económico. Ayuda a crear conciencia acerca de la intercomunicación entre la ecología, la economía y los problemas sociales.

1987: The Bruntland Report: Our Common Future (Bruntland, 1987) Ayudó a definir sostenibilidad, creando el primer marco para conectar la acción para sostener los sistemas de vida en la tierra, mientras se promovía simultáneamente los objetivos de justicia social y económica. Se identificaron siete acciones críticas.

6. Conferencia de las Naciones Unidas

1992: Conferencia Sobre el Medioambiente y Desarrollo, Rio, Brasil. Conocida como la cumbre de la tierra, se acuerdan 27 principios y se adopta un programa global por la acción para el desarrollo sostenible a través de Agenda 21. Se define un marco de trabajo en el cambio climático, la convención de diversidad biológica y los principios forestales.

7. Cumbre mundial del desarrollo sostenible

2002: Realizada en Johannesburgo, Sudáfrica. Trató sobre la erradicación de la pobreza, los problemas de la producción, consumo, y preocupaciones de salud.

8. Cumbre del Clima ONU.

2009: En Copenhague se acuerda reconocer la propuesta científica para mantener el aumento de la Temperatura bajo los 28 grados Celsius, pero no hay ninguna comisión que obligue la reducción de emisiones para alcanzar el objetivo.

9. Rio20

2012: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible, Brasil. Jefes de Gobierno y ministros de más de 190 naciones firmaron un plan para fortalecer el manejo global del medio ambiente, reforzando la protección de los océanos, mejorando el acceso y aseguramiento a la comida y promoviendo la “economía verde”. Se criticó mucho por parte de ambientalistas y campañas anti-pobreza por su falta de detalle y necesidad de ambición.

10. Conferencia Sobre el Cambio Climático ONU.

2012: Doha, Qatar. Extiende el protocolo de Kioto de 1997 que limita la emisión de gases de efecto invernadero hasta el año 2020. Se acuerda en generar un nuevo marco de trabajo global.

11. Conferencia sobre el cambio Climático ONU, Paris, Francia.

2015: Se plantean los 17 objetivos del Desarrollo Sostenible. Queda claro que la conciencia ambiental ha sido una preocupación en aumento durante el siglo XX, fomentada principalmente por los riesgos a la salud producidos por la contaminación ambiental.

Los ambientalistas fueron voces solitarias hasta la década de los 70, momento en el cual los científicos comenzaron a reconocer que el aumento gradual de la temperatura se convertiría en un problema global el cual podría perjudicar a la humanidad. Durante los años siguientes, los estudios científicos tomaron la atención de muchos gobiernos para iniciar conjuntamente dinámicas que mejoraran el medio ambiente, gran parte de este trabajo estaba dirigido a reducir la huella de carbono, aunque esto es solo una parte en el cuidado del medio ambiente. A fines de la década de los 80 quedó de manifiesto que la forma de explotar los recursos naturales llevaría a su agotamiento y convertiría el planeta en un lugar más vulnerable, que pondría en riesgo nuestra futura existencia.

El concepto de sostenibilidad nace desde la inquietud de la humanidad por el bienestar de las futuras generaciones. En el año 1992, en la Cumbre de Río organizada por la ONU, es donde se aclara el concepto de desarrollo sostenible. Es importante destacar algunos de los principios establecidos en la cumbre de Río de 1992:

→ *Principio 1 “Los seres Humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza”.*

→ *Principio 3 “El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras”.*

Principio 4 “Para alcanzar el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente debe ser parte del proceso de desarrollo y no puede ser considerado por separado”.

1.1 Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible.

La humanidad se ha comportado como un productor y consumidor despreocupado, lo que no solo genera “gases de efecto invernadero”, sino también el agotamiento de los recursos naturales no renovables. En el camino por satisfacer la demanda de bienes y servicios consumidos, no basta con reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: esto no es sostenibilidad. La verdadera sostenibilidad, apunta al desarrollo y uso de productos y servicios en donde cero recursos son tomados desde la tierra, las estrategias de sostenibilidad deben ayudar a reducir el impacto ambiental, social y económico. Dada la realidad actual se debe optar por el uso de estrategias adecuadas para estar cada vez más cerca del ideal de sostenibilidad.

Podemos decir que el objetivo de la sostenibilidad es alcanzar el desarrollo sostenible, así en este trabajo, se tratará de igual manera de sostenibilidad y de desarrollo sostenible. Aclarado lo anterior, se define «el desarrollo sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades». (Informe titulado «Nuestro futuro común» de 1987, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo). El desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. Consta de tres pilares que deben tratarse de forma equilibrada: el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas están definidos como parte de la nueva agenda de desarrollo sostenible. Esta agenda, presentada en la Cumbre sobre el Desarrollo Sostenible en septiembre de 2015, fue debatida actualmente en la Asamblea General de las Naciones Unidas, con contribuciones de

los Estados Miembros y la sociedad civil. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos son:

1. Erradicar la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos para todas las edades.
4. Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover las oportunidades de aprendizaje permanente para todos.
5. Alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.
6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
7. Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos.
8. Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.
9. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.
10. Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos.
11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.
13. Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (tomando nota de los acuerdos adoptados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).

14. Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

En el contexto de este trabajo de titulación, se han considerado sólo algunos de los objetivos del desarrollo sostenible propuestos en París 2015, cuyas metas serán incluidas en la creación de la Política de Sostenibilidad. Los objetivos son los siguientes:

Objetivo 8 Trabajo decente y crecimiento económico. Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.

Objetivo 9 Industria, innovación e infraestructura. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.

Objetivo 11 Ciudades y comunidades sostenibles. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Objetivo 12 Producción y consumo responsables. Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.

Objetivo 13, Acción por el clima Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

Se debe mencionar que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es la antesala del Foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial al cambio climático.

¿Por qué seguir el camino de la sostenibilidad y del desarrollo sostenible?

El calentamiento global, el aumento de la población, la rápida urbanización y las pérdidas ambientales fijan nuevos y grandes desafíos: proveer de servicios, productos e infraestructura de manera nueva e innovadora. Para enfrentar esos desafíos, en línea con el desarrollo sostenible, es fundamental vivir con los límites de la tierra, administrando los recursos para las nuevas generaciones, ayudando a todos a alcanzar una calidad de vida aceptable y lidiando con la complejidad de los proyectos entregando una interacción mutua entre humanos y medio ambiente.

1.2 Sostenibilidad e ingeniería mecánica.

La industria metal mecánica comienza su desarrollo después de la revolución industrial. Desde ese momento y hasta hace menos de medio siglo, las variables principales a considerar eran: el volumen y rapidez de producción, la calidad de los productos y el costo de producción. No es hasta hace algunas décadas cuando la humanidad comienza a observar cambios en los procesos naturales y en las condiciones de vida de la población producidas por el desarrollo. Es en este contexto

en que, en primera instancia, el cuidado por el medio ambiente se transforma en una de las variables importantes a considerar al momento de producir. Con el paso del tiempo se observa que no basta con cuidar el medio ambiente; es necesario incorporar dos aspectos más: el social y económico.

Los Profesionales de la ingeniería Mecánica utilizan la tecnología para transformar, controlar o crear sistemas físicos para el bienestar de la humanidad. Esta acción produce cambios en el medio ambiente, en la sociedad y genera flujo económico. Estos cambios pueden ser positivos o negativos, por lo que el ingeniero, como principal agente perturbador, debe actuar en línea con los objetivos del desarrollo sostenible. Hoy en día el rol de la sostenibilidad y del desarrollo sostenible en la industria metalmecánica es el de lograr que los procesos impacten lo menos posible al medio ambiente, la comunidad y la economía de la empresa y su contexto, asegurando los recursos para el desarrollo de las futuras generaciones.

El Desarrollo Sostenible, como un modelo de desarrollo a seguir en las prácticas de los profesionales de la ingeniería, resulta difícil de evaluar. Se requiere la participación multifuncional e interdisciplinaria para medirlo en todas sus magnitudes, abarcando las variables económicas, sociales y ambientales que afectan el desarrollo de un proyecto. Es por eso que en el siguiente capítulo se presentan diferentes enfoques y técnicas para medir la sostenibilidad.

1.3 Sostenibilidad en el mundo

Para introducir correctamente la sostenibilidad, se debe tener claro el contexto global de la misma, y lo que se está haciendo hoy a nivel mundial. En las pautas de evaluación de desempeño de las empresas, resulta vital realizar un benchmarking: o una comparación con las principales empresas del rubro.

La consultora RobecoSAM en abril 2016, ha declarado a Suecia como el país más sostenible del mundo. Este Ranking de países sostenibles está basado en 17 indicadores seleccionados por inversores que evalúan los riesgos y oportunidades de inversión asociados a cada país. Suecia alcanzó el primer lugar gracias a su desempeño en energías renovables y por su capacidad de responder a las amenazas ambientales. Además, calificó bien en indicadores de libertad, igualdad, e inversión en la educación. Es la segunda edición del ranking que está encabezado por Suecia.

Noruega se posicionó en el segundo lugar, Suiza en el tercero. Otros países que se posicionaron en el top 10 fueron Suiza, Gran Bretaña, Nueva Zelanda, Irlanda, Alemania, Dinamarca, Australia, Alemania y Luxemburgo.

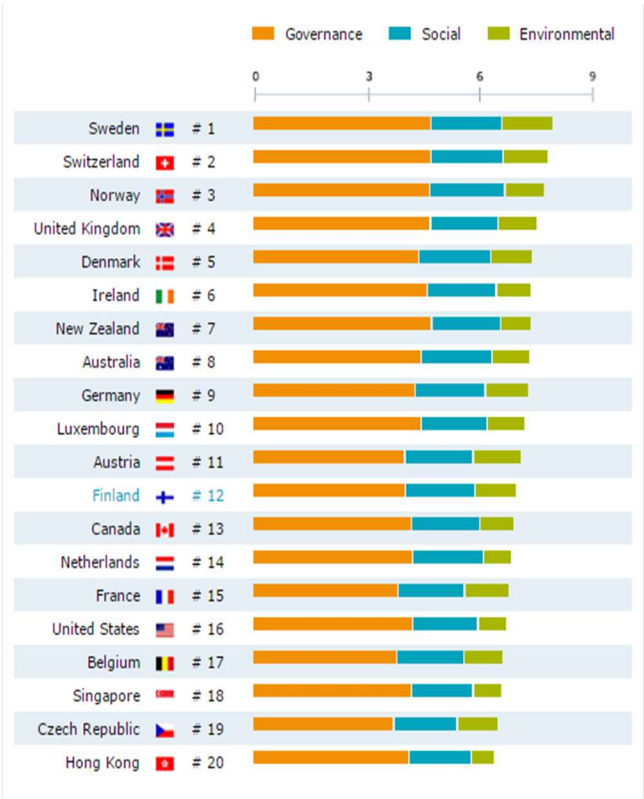


Imagen 1.1 Ranking Top 20 países más sostenibles según RobecoSAM. abril, 2016.

1.4 Sostenibilidad en Chile.

Según el Ranking de la consultora RobecoSAM, en el que se evalúa la sostenibilidad de los países, Chile aparece dentro de la lista de los países emergentes mejor evaluados y en primer lugar dentro de los países latinoamericanos.

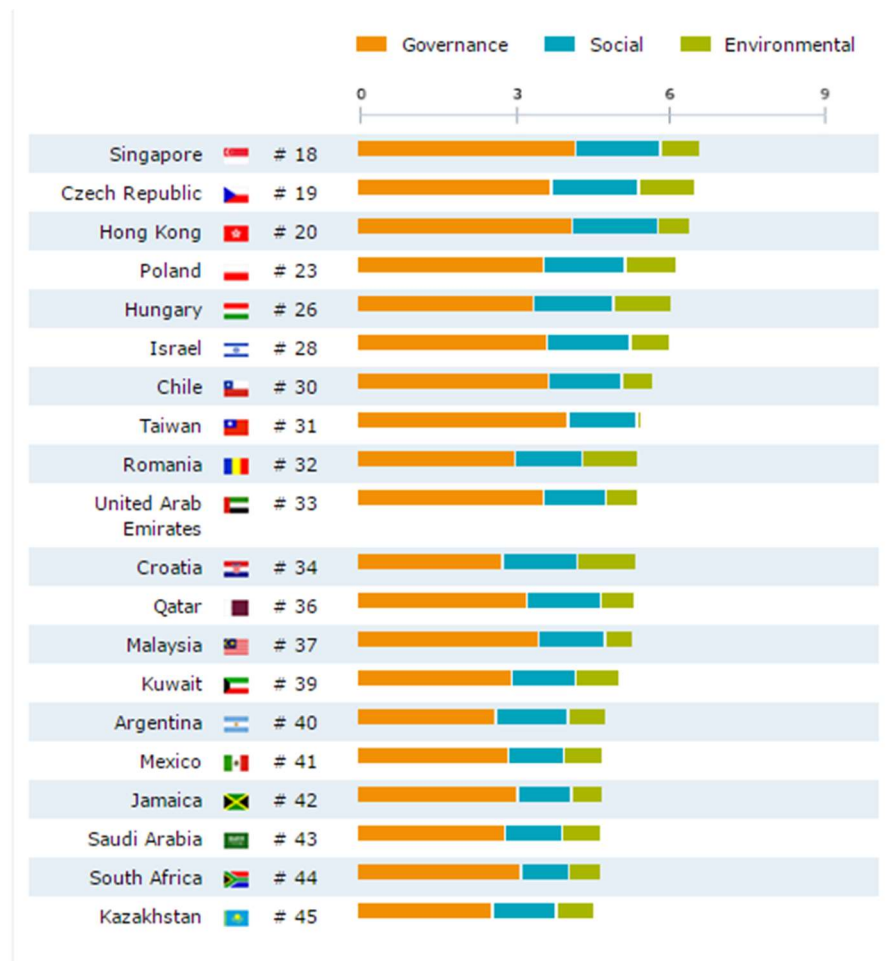


Imagen 1.2 Ranking Top 20 países emergentes más sostenibles según RobecoSAM. abril, 2016.

Chile se ha ocupado de incentivar el desarrollo sostenible, una muestra de esto es que en el año 2013 se crea un Consejo asesor del Ministro de Economía, Fomento y turismo denominado "Consejo de Responsabilidad Social para el Desarrollo Sostenible", que tiene por objeto asesorar en la elaboración de las políticas públicas relacionadas con el desarrollo sostenible del país. Para cumplir con su objetivo, le corresponde al Consejo funciones como: servir de instancia coordinadora entre los distintos órganos de la Administración del Estado, el sector privado y la sociedad civil en temas vinculados a la elaboración de políticas públicas de Responsabilidad social para el desarrollo sostenible de Chile, identificar e informar al Ministro de Economía, Fomento y Turismo acerca de las políticas, buenas prácticas e iniciativas en el campo de la Responsabilidad Social que se estén generando en el ámbito nacional o internacional y proponer al Ministro medidas y acciones de política pública en materia de Responsabilidad Social.

2 Metodología de la investigación

2.1 Investigación en la literatura

Para definir alternativas sostenibles con el fin de generar una política de sostenibilidad para la industria metalmecánica chilena se investigará en la literatura, tanto en libros, publicaciones en revistas científicas, software, artículos y la web. De la investigación se seleccionarán las mejores alternativas a los procedimientos tradicionales que hagan a la industria más sostenible.

Entrevistas con expertos

Desde la investigación en la literatura surgen ciertas dudas e incertezas. Debido a esto, es necesario realizar entrevistas para llenar esos vacíos de conocimiento no documentado. Estas entrevistas son claves para orientar la investigación e identificar las barreras de implementación de alternativas sostenibles en la industria metalmecánica nacional. Las entrevistas y encuestas han sido realizada a actores importantes en tres sectores de interés.

Descripción de la entrevista

Se realizarán 9 encuestas a diferentes actores de los sectores industrial, educación y gobierno. Si bien estas encuestas no representan el universo nacional, si darán una guía para determinar la visión que tienen algunos miembros de los sectores respecto de la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, las posibles dificultades de implementar planes de sostenibilidad en sus procesos y lo que hoy hace cada organización por alcanzar las metas de los objetivos del desarrollo sostenible.

•**Entrevistado A:** Subgerente del área de gestión del desempeño de una importante industria chilena de producción de madera y celulosa.

•**Entrevistado B:** Gerente General de una empresa de prefabricados de hormigón.

•**Entrevistado C:** Gerente de operaciones de una importante empresa de ventas del sector industrial y maquinaria agrícola nacional que además cuenta con un departamento de ingeniería y una unidad de manufactura.

•**Entrevistado D:** Gerente General (2) de una empresa de prefabricados de hormigón

•**Entrevistado E:** Profesor del departamento de Ingeniería Mecánica USM.

•**Entrevistado F:** Subgerente de estudios y planificación, asociación de empresas.

•**Entrevistado G:** Profesor (2) del departamento de Ingeniería Mecánica USM.

•**Entrevistado H:** Consejero Regional, región de Valparaíso.

•**Entrevistado I:** Consejero Regional, región de Valparaíso.

2.2 Encuesta

Tabla 2.1 Tabla del formulario de la encuesta

Pregunta	1. La frase que más se acerca o coincide con su visión de desarrollo sostenible es.	2. Interés de su empresa en hacer la producción de su industria más sostenible.	3. Mi industria colabora al desarrollo sostenible. (Si aplica)	4. Según su visión personal y empresarial, cuáles son los elementos a favor de orientar la estrategia de producción de la empresa con los objetivos del desarrollo sostenible.	5. Según su visión personal y empresarial, cuáles son los elementos en contra de orientar la estrategia de producción de la empresa con los objetivos del desarrollo sostenible.	6. En lo personal y empresarial, cual o cuales estima son las principales barreras a nivel de la industria productiva en Chile para cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible.
Respuestas	i) Desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. ii) Desarrollo que no genera impacto en el medio ambiente y los sistemas que lo rodean. iii) Desarrollo enfocado a satisfacer las necesidades, respetando el ambiente y a la sociedad que asegura un beneficio económico. iv) Otra (En caso de ser necesario)	i) No existe interés por ahora ii) Bajo iii) Moderado iv) Alto	i) Desarrollando un plan de información de sostenibilidad para los trabajadores y la comunidad. ii) Implementando medidas de producción sostenibles las cuales apunten a reducción de consumo de agua, eficiencia energética, disminución de emisión de carbono y menor consumo de materia prima. iii) Implementando políticas de condiciones laborales sostenibles. iv) Trabajando en conjunto con la comunidad. v) Otro, ¿Cuál?	i) Se agrega valor al producto ii) Disminuye el gasto de energía iii) Mejora la imagen y percepción de la empresa desde la sociedad iv) Mejores condiciones laborales. v) Otro, ¿Cuál?	i) Mayor costo de producción. ii) Se generan ineficiencias en el sistema. iii) Hay una menor oferta de proveedores. iv) El mercado no reconoce las ventajas de un producto sostenible v) Otro, ¿Cuál?	i) Falta de incentivos estatales a tener políticas de producción sostenible ii) Alto costo de implementación de alternativas de producción sostenibles iii) Falta de incentivos del mercado para hacer mi producto sostenible iv) Alto nivel de dificultad para establecer sistemas de trabajo con la comunidad. v) Otro, ¿Cuál?

2.3 Resultados de la encuesta

Tabla 2.2 Resultados de la encuesta

Pregunta	1. La frase que más se acerca o coincide con su visión de desarrollo sostenible es.	2. Interés de su empresa en hacer la producción de su industria más sostenible.	3. Mi industria colabora al desarrollo sostenible. (Si aplica)	4. Según su visión personal y empresarial, cuáles son los elementos a favor de orientar la estrategia de producción de la empresa con los objetivos del desarrollo sostenible.	5. Según su visión personal y empresarial, cuáles son los elementos en contra de orientar la estrategia de producción de la empresa con los objetivos del desarrollo sostenible.	6. En lo personal y empresarial, cual o cuales estima son las principales barreras a nivel de la industria productiva en Chile para cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible.
Respuesta Entrevista A	i	iv	i, ii, iii, iv	i, iii, iv	i	lii
Respuesta Entrevista B	i	ii	iii	ii, iii	i, iv	i, ii, iii
Respuesta Entrevista C	ii	iii	iii	i	i	li
Respuesta Entrevista D	iii	iii	ii	i	i	I
Respuesta Entrevista E	i	iii	i	Todas las alternativas, al exigir este sistema una planificación rigurosa y detallada.	v, requiere de mayores esfuerzos y capacidades.	v, falta de política

Respuesta Entrevista F	i	iv	v, difusión a través de las comisiones de la organización por medio de seminarios, ponencias, charlas, medios escritos y digitales	i, v acceso a nuevos mercados	i, visión general de las PYMES	I
Respuesta Entrevista G	i	ii	ii	i	iv	i,ii,iii,iv
Respuesta Entrevista H	ii	iii	vi	iii	i	I
Respuesta Entrevista I	iii	ii	vi	iii	i	Iii

2.4 Análisis de la encuesta

Tabla 2.3 Resumen de resultados

Pregunta	Respuestas					
	i	ii	iii	iv	v	vi
1	55,56	22,22	22,22	0,00	0,00	0,00
2	0,00	33,33	44,44	22,22	0,00	0,00
3	13,89	25,00	25,00	2,78	11,11	22,22
4	45,37	8,33	34,26	6,48	5,56	0,00
5	72,22	0,00	0,00	16,67	11,11	0,00
6	39,81	17,59	28,70	2,78	11,11	0,00

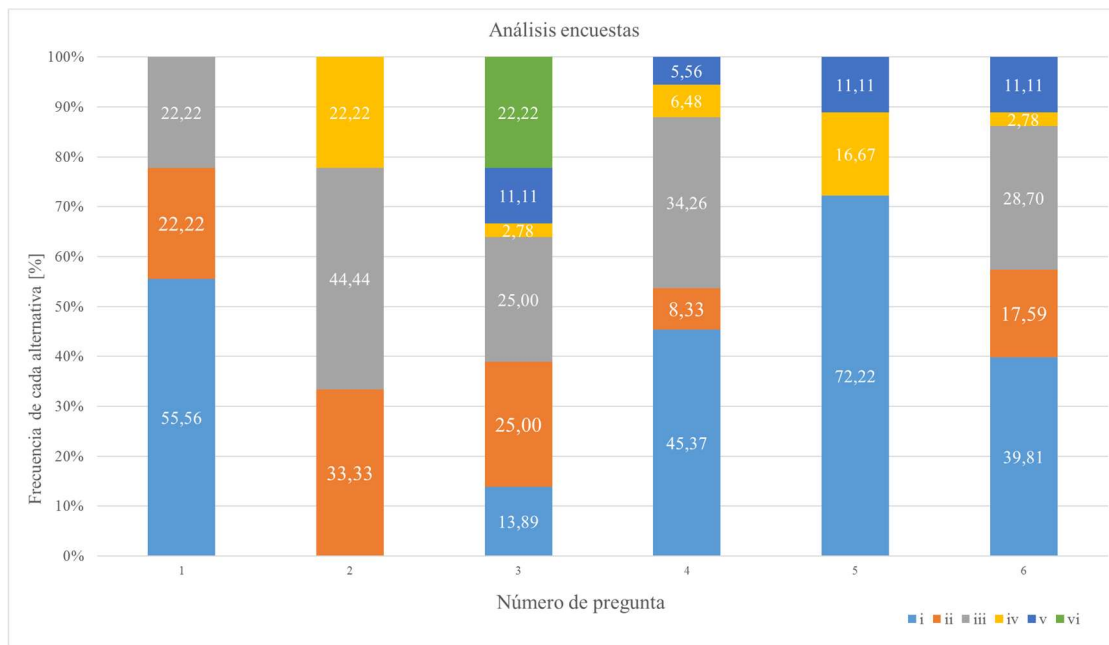


Imagen 2.1 Gráfico resumen resultado de la encuesta.

2.5 Resumen de los resultados

El 55,6% de los Encuestados define el desarrollo sostenible como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Respecto al interés de las organizaciones en hacer la producción sostenible se declara que:

- El 44,4% de los encuestados tiene interés moderado
- El 33,3% de los encuestados tiene interés bajo
- El 22,2% de los encuestados tiene interés alto

La industria u organización a la que pertenecen los entrevistados colabora con el desarrollo sostenible de la siguiente forma:

- 25% colabora implementando medidas de producción sostenibles las cuales apuntan a reducción de consumo de agua, eficiencia energética, disminución de emisión de carbono y menor consumo de materia prima.
- 25% colabora implementando políticas de condiciones laborales sostenible.
- 22% no aplica
- 13,89% Desarrollando un plan de información de sostenibilidad para los trabajadores y la comunidad.
- 11,11% difusión a través de comisiones en la organización y por medio de seminarios, ponencias, charlas, medios escritos y digitales
- 2,78% Trabajando en conjunto con la comunidad.

Según la visión de los encuestados, los elementos a favor de orientar la estrategia de producción de la empresa con los objetivos del desarrollo sostenible son.

- 45,37% se agrega valor al producto
- 34,26% mejora la imagen y percepción de la empresa desde la sociedad
- 8,33% disminuye el gasto de energía
- 6,48% mejores condiciones laborales

- 5,56% acceso a nuevos mercados

Según la visión de los encuestados, los elementos en contra de orientar la estrategia de producción de la empresa con los objetivos del desarrollo sostenible son:

- 72,22% opina que se incurrirá en un mayor costo de producción
- 16,67% declara que el mercado no reconoce las ventajas de un producto sostenible
- 11,11% manifestó que se requiere de mayores esfuerzos y capacidades.

Según los entrevistados, las principales barreras a nivel de la industria productiva en Chile para cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible son:

- 39,81% respondió que falta de incentivos estatales a tener políticas de producción sostenible
- 28,70% dice que falta de incentivos del mercado para hacer mi producto sostenible
- 17,59% manifestó que habría un alto costo de implementación de alternativas de producción sostenibles
- 11,11% opina que la falta de políticas es una gran barrera
- 2,78% alto nivel de dificultad para establecer sistemas de trabajo con la comunidad.

2.5.1 Interpretación de los resultados y oportunidades

Los resultados de la pregunta 2 de la encuesta muestran que el 22,2% de los encuestados tiene un interés alto en hacer su producción sostenible y un 44,4% de los encuestado tiene un interés medio en hacer la producción de su empresa sostenible.

Esto dice que el 66,6% de los encuestados tiene, al menos, interés medio en hacer la producción de su empresa u organización más sostenible. Esto indica que existe interés en la industria nacional en implementar sistemas más sostenibles a su producción, lo que genera un espacio a una posible política de sostenibilidad para la industria metal mecánica.

Respecto a cómo colabora la empresa u organización al desarrollo sostenible, los resultados muestran que sólo el 13,89% de los entrevistados colabora desarrollando un plan de información para los trabajadores y la comunidad y el 2,78% trabajando en conjunto con la comunidad. Estos resultados abren paso a una buena oportunidad de mejorar el aspecto social de la sostenibilidad de cada organización entrevistada, generando más y mejores canales de comunicación y trabajo cooperativo no solo con la comunidad externa a la organización sino también con los propios trabajadores.

Se han reconocidos algunas barreras a la implementación de políticas sostenibles, una de las interpretaciones de los resultados apunta a esto. El 72,22% de los entrevistados cree que el guiar los sistemas de producción con los objetivos del desarrollo sostenible implica un mayor costo de producción, además el 16,67% cree que el mercado no reconoce la ventaja de tener un producto sostenible. Para incentivar la implementación de políticas de sostenibilidad, será necesario considerar alternativas de producción que no impliquen aumentar el costo de producción y/o la inversión de cada industria.

En la misma línea el 39.81% de los encuestados considera que faltan incentivos estatales a tener políticas sostenibles, esto es razonable considerando que el consejo de responsabilidad social para el desarrollo sostenible se conformó el 2015 y aún están trabajando en los proyectos de políticas. Esto da un espacio a las propuestas que este trabajo de investigación pueda aportar a la realidad nacional.

3 Capítulo: Medición de Sostenibilidad

En este capítulo, se presentarán diferentes formas de medir la sostenibilidad de un producto, proceso y/o sistema. Se inicia el capítulo con la definición de un sistema complejo, dada la diversidad de campos en los que debe actuar la sostenibilidad el medirla representa un desafío importante, luego se entregan diferentes herramientas para medir la sostenibilidad dependiendo el foco de interés y el contexto de la medición.

3.1 Sistema Complejo

Un sistema complejo es una representación de un recorte de la realidad, conceptualizado como una totalidad organizada (de ahí la denominación de ‘sistema’), en la cual los elementos no son separables, y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente (García, 2006), este autor también ha definido los sistemas complejos como aquellos sistemas en los que los procesos que determinan su funcionamiento son el resultado de la confluencia de múltiples factores que interactúan de tal manera que el sistema no se puede separar. Por eso, ningún sistema complejo puede ser descrito por la simple adición de estudios independientes sobre cada uno de sus componentes y, por tanto, suponen frecuentemente estudios interdisciplinarios. Dada esta condición, es que, para determinar algún índice de sostenibilidad, se deben evaluar en conjunto los tres campos de la sostenibilidad: social, ambiental y económica.

3.2 Indicadores

Existen diversos indicadores que son útiles para determinar el nivel de sostenibilidad de una organización, a continuación, se detallan algunos.

Indicadores verificables.

Son aquellos que cuentan con una verificación por parte de una organización o agente externo a la empresa.

Global Reporting Initiative (GRI) GRI es una organización internacional pionera en crear estándares para informes de sostenibilidad. La primera versión de la guía fue publicada en el año 2000 y la versión más reciente, noviembre 2105, corresponde a G4 guía para la elaboración de memorias de sostenibilidad. Estas guías entregan una información sobre la incidencia de las organizaciones, sea positiva o negativa, en el medio ambiente, la sociedad y la economía. Las memorias de sostenibilidad convierten lo abstracto en tangible y concreto, y con esto, mejorar la calidad de la información para que los grupos de interés tomen las decisiones pertinentes.

Corporate Sustainability Assessment (CSA) de RobecoSam. Desde el año 1999 RobecoSAM realiza CSA, es una evaluación de sostenibilidad corporativa basada en un cuestionario, si bien en sus orígenes estaba pensado para seleccionar los componentes del *Dow Jones Sustainability Index (DJSI)*, hoy se transformó en el motor principal de RobecoSAM, abarcando desde la investigación y elaboración de índices hasta actividades de gestión de activos

Indicadores de autoevaluación.

Estos indicadores, representan una herramienta de carácter voluntario, incorporan una autoevaluación de la industria algunos de estos son: ISO 26000 de responsabilidad social empresarial, ISO 14031 de desempeño ambiental e indicadores ETHOS de responsabilidad social empresarial.

3.3 Índices de sostenibilidad empresarial

Los índices de sostenibilidad empresarial, son índices bursátiles que recogen los valores de las compañías líderes en sostenibilidad empresarial. Estas empresas han implementado políticas y estrategias sostenibles con lo que generan valor agregado a sus acciones en el mercado bursátil. Estos índices son útiles para identificar a las empresas que incorporan los principios del desarrollo sostenible en sus actividades, además entregan una herramienta para hacer una evaluación integral a nivel regional y global de sus políticas y prácticas sostenibles, y finalmente, entregan una guía objetiva que considera el desempeño sostenible de la empresa para los inversionistas y la comunidad.

Índice Social FTSE KLD 400. Este índice social, fue lanzado en 1990 por KLD *Research & Analytics* con el nombre de Domini 400 *social index*, convirtiéndose en el primer índice de sostenibilidad empresarial, a partir del 2009 comenzó a llamarse KLD400. Este índice recoge valores de empresas de Estados Unidos que alcanzan los estándares destacables en materia social y ambiental. KLD *Research & Analytics* evalúa a las empresas en el contexto de su sector industrial, así como en su relación con el mercado en general.

KLD *Research & Analytics* en conjunto con *Financial Times Stock Exchange*, agencia calificadora, seleccionan 400 empresas con la siguiente distribución: 250 empresas vienen del índice *FTSE All World USA companies*, 100 con mediana y alta capitalización y que representen a la industria, y 50 pequeñas compañías con desempeño ambiental y social ejemplar.

Índice de sostenibilidad Empresarial de la Bolsa de Valores de Sao Paulo (BOVEPSA). El Índice de Sostenibilidad Empresarial (ISE) de BM&FBovespa, que entró en vigor a partir del 1º de diciembre de 2009, está formado por acciones de empresas que presentan un alto grado de compromiso con prácticas de sostenibilidad y gobernanza corporativa, para seleccionarlas considera las acciones más transadas en por lo menos 50% de las sesiones de BOVEPSA y el cumplimiento de criterios de sostenibilidad.

Índice de sostenibilidad Dow Jones Sustainability Index Chile (DJSI chile Index). Es el primero de su tipo usando la metodología de cálculo de *Dow Jones Sustainability Index* y el primero en usar el IPSA como base, es un referente para dar cuenta del interés de las empresas por proyectar en el largo plazo la preocupación de la industria por los factores del desarrollo sostenible (social, ambiental y económico). Este índice establece criterios confiables y objetivos para el manejo de acciones de empresas sostenibles.

El índice DJSI Chile está compuesto por 12 empresas que cumplen ciertos criterios de sostenibilidad de mejor forma que sus pares de la industria. El factor clave en la forma de elegir las empresas – que se usa para cualquier índice de sostenibilidad de S&P - está dada por la puntuación TTS (Total Sustainability Score) calculada usando la evaluación anual de Sostenibilidad Corporativa de RobecoSAM.

De acuerdo con la metodología de cálculo, el índice está compuesto por 12 de las 40 empresas que actualmente participan en el índice IPSA. En 2016, el índice DJSI Chile tiene la intención de incorporar nuevas empresas una vez que el universo estudiado de los emisores de la Bolsa de Santiago amplíe de las 40 empresas que componen el índice IPSA a las 60 empresas más negociadas - permitiendo a más empresas tener la oportunidad de ser parte del índice de sostenibilidad del mercado chileno.

Actualmente las 12 empresas de DJSI Chile index son: AES Gener S.A., Aguas Andinas S.A., Banco de Crédito e Inversiones, Banco Santander Chile, Cencosud S.A., CorpBanca S.A., Empresas CMPC S.A., Inversiones Aguas Metropolitanas S.A., LATAM Airlines Group S.A., SACI Falabella, Sigdo Koppers S.A. y Viña Concha y Toro S.A.

Si bien, no todas las empresas podrán ingresar a ser parte de estos índices, es importante ver qué empresas forman parte de esta cartera para analizar sus políticas y criterios de sostenibilidad y así ponerlos como meta a alcanzar.

3.4 Matriz de Sostenibilidad

Índice de sostenibilidad de producto (ISP), Joofar presento un procedimiento simplificado y generalizado para obtener el ISP calculando la sumatoria ponderada de sub elementos en sub categorías de sostenibilidad para cada una de las 4 etapas del ciclo de vida (Jayal, Badurdeen, Dillon, & Jawahir, 2010)

1. Pre Manufactura
2. Manufactura
3. Uso
4. Post uso

Los ingenieros evalúan de forma cualitativa la influencia de los diferentes factores en cada cuadro de la matriz y evalúan el ISP avanzando a través de la matriz, sumando los puntos de los factores influyentes en cada categoría para calcular el valor porcentual.

$$PSI(en_m) = \left\{ \frac{\sum IF(en_pm)}{n \cdot 100} \right\} \cdot 100\%$$

IF(en_pm) : Factor de influencia Ambiental, se calcula evaluado en una escala (0-10) para componentes medio ambientales de la etapa de pre manufactura.

PSI(so_pm): Valor PSI para sociedad

PSI(ec_pm): Valor PSI económico

n: número total de factores influyentes considerados.

El Índice de Sostenibilidad de Producto total puede ser obtenido de la siguiente forma:

$$PSI(TLC) = \left\{ \frac{PSI(en_pm) + PSI(so_pm) + PSI(ec_pm)}{3} \right\}$$

3.5 Análisis del Ciclo de vida (LCA)

Análisis del Ciclo de Vida, ACV (LCA por sus siglas en inglés) se define como “un proceso objetivo que evalúa las cargas medioambientales asociadas con el proceso de un producto o una actividad a través de la identificación de las energías y los materiales utilizados, así como los residuos liberados al medio ambiente y que evalúa e implementa oportunidades para la introducción de mejoras medioambientales.” La implementación de una LCA completa precisa una experiencia y esfuerzos considerables. Se dispone de numerosos recursos que abordan con mucho más detalle el proceso.

El Análisis del Ciclo de Vida aborda todos los aspectos ambientales e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, lo cual comprende las actividades de extracción y adquisición de la materia prima, la producción, utilización, reciclado y por último la disposición final. Los impactos asociados con los productos, ya sean manufacturados o consumidos, son de gran relevancia, pues algunos contribuyen al cambio climático, a la contaminación de ecosistemas, a la sobre-explotación de recursos renovables y no renovables, y al mal uso de los recursos disponibles.

La sostenibilidad de los recursos naturales y un desarrollo económico ajustado a la realidad de nuestro país, dependen de las acciones que se tomen para disminuir el impacto de los procesos productivos y de la optimización de los mismos.

Por definición, el análisis del ciclo de vida (ACV) es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida. Las normas que permiten la certificación del estudio son la ISO 14040 y la ISO 14044.

En un ACV se evalúa el impacto potencial de cada proceso y etapa productiva realizando las siguientes actividades:

- Recopilar un inventario de las entradas y salidas más importantes del sistema de un producto.
- Evaluar el impacto ambiental potencial asociado a esas entradas y salidas,
- Interpretar los resultados del análisis del inventario y las etapas evaluadas en conformidad con los objetivos del estudio.



Imagen 3.2 Cuadro resumen análisis de ciclo de vida.

¿Cuáles son los impactos ambientales que se pueden considerar en un ACV?

Estos son algunos ejemplos de Categorías de Impactos Ambientales asociados al Ciclo de Vida de productos y servicios:

- Impactos sobre los recursos renovables
- Impactos sobre los recursos no-renovables
- Potencial de calentamiento global (Huella de carbono)
- Potencial de deterioro de la capa de ozono
- Potencial de acidificación
- Potencial de creación foto-química de ozono
- Uso de energía
- Uso de agua
- Toxicidad (humana, terrestre, acuática)

Objetivos Generales del ACV

- Obtención de información clave y específica asociada a la producción de bienes.
- Identificación de los puntos críticos en los procesos productivos.
- Optimización del sistema a corto plazo y reducción del impacto ambiental.
- Planeación estratégica a largo plazo.
- Ingresar a nichos de Mercado diferenciales.
- Ofrecer a los consumidores una información clara, pertinente y utilizable.

Ventajas y beneficios del ACV

- Desarrollo y mejoramiento de productos.
- Planeación estratégica: optimización de procesos y disminución de riesgos asociados a la competitividad con productos similares.
- Mercadeo y publicidad: mejora la imagen de la marca.
- Acceso a mercados internacionales y cumplimiento de regulaciones ambientales actuales y futuras.
- Ingreso a nichos de mercado diferenciales: posibilidad de ampliar el mercado.
- Selección de indicadores de desempeño ambiental específicos para cada producto. cuatro pasos principales del proceso de LCA estandarizado.

4 Capítulo: Metodologías para la producción sostenible

4.1 Metodología basada en proceso unitario para asistir la evaluación de sostenibilidad durante el proceso de diseño.

Metodología obtenida desde el trabajo de investigación “A unit process model based methodology to assist product sustainability assessment during design for manufacturing” (Eastwood & Haapala, 2015). Se propone una serie de pasos a seguir, para obtener una evaluación de sostenibilidad en la etapa de diseño de un producto, la cual permitirá no solo medir la sostenibilidad del producto, sino también comparar las diferentes alternativas de manera clara y objetiva.

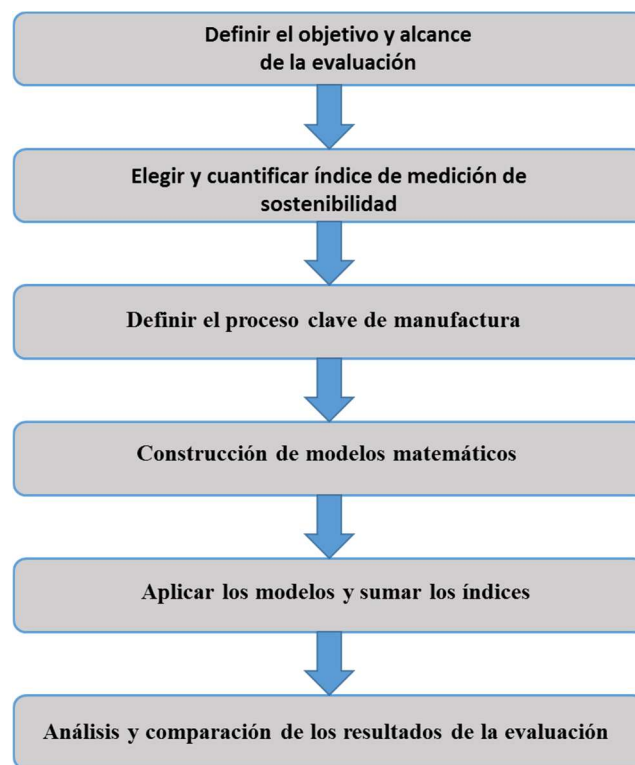


Imagen 4.1 Metodología de la evaluación de sostenibilidad.

4.1.1 Definir el objetivo y alcance de la evaluación

El primer paso es definir el objetivo y alcance de la evaluación, es similar al primer paso de las cuatro fases iterativas del marco de trabajo de la evaluación del ciclo de vida (LCA) descrito por en la ISO 14040-2006. Definir los objetivos del estudio entrega una línea a seguir para los siguientes pasos. Al definir el objetivo de la evaluación se puede determinar el tipo de información que debe ser recolectada, la especificación de dicha información y se tendrá un tipo de resultado. Finalmente, para obtener el mejor resultado en la evaluación de sostenibilidad, es necesario definir las fronteras del sistema, esto ayudará a guiar la evaluación de varios ciclos de vida y actividades.

4.1.2 Elegir y cuantificar índice de medición de sostenibilidad.

Tabla 4.1 Índices de sostenibilidad seleccionados.

Performance area	Performance indicator	Performance measure	Abbreviation	Unit
Economic	Economic	Operating Cost	OP Cost	\$
Environmental	Materials	Input Material Non-Flyaway Content	IMNF	%
	Energy	On-site Energy Consumption	ONS EC	kWh
	Water	Water Use	H2O	L
	Liquid Effluents	Water Discharge	H2O Dis	L
	Emissions	GHG Emissions	EM GHG	kg CO ₂ eq.
		Pollutant Emissions	EM POL	kg
		Waste to Landfill	W2L	kg
	Waste	Waste to Recycle	W2R	kg
		Hazardous Waste	W Haz	kg
Social	Occupational Health & Safety	Acute Injuries	INJ	Injuries
		Lost Work Days	LWD	Days
		Chronic Illnesses	ILL	Illnesses

Una vez que el objetivo y alcance han sido definidos, se selecciona el indicador adecuado para cuantificar el desempeño de la evaluación de sostenibilidad. Hay diferentes factores claves a considerar cuando se elige un índice para la evaluación de sostenibilidad. Primero, el índice debe proveer una amplia cobertura en los tres dominios de la sostenibilidad. Además, debe entregar suficiente detalle entre cada

uno de los dominios para dar un indicador de medición preciso del desempeño. Finalmente, en la evaluación será utilizado para comparar alternativas.

4.1.3 Definir el proceso clave de manufactura.

El proceso de manufactura a considerar en la evaluación de sostenibilidad está determinado por el alcance del estudio. El objetivo debe definir el nivel de detalle utilizado para evaluar la cadena de suministros y los procesos y actividades en la manufactura como también los procesos de análisis de cada máquina involucrada, si el estudio es desde la cuna a la puerta (*cradle to gate*), esto quiere decir que solo se considerará una evaluación de sostenibilidad del proceso de diseño y manufactura y no de lo que pasa después de la venta del producto y su post uso, en este caso sería una evaluación de la cuna a la cuna (*cradle to cradle*).

Una tarea importante es identificar los procesos que impactan tanto en el factor económico como social y ambiental, así también los procesos que tienen bajo impacto relativo. Esto es muy útil para reducir el tiempo de recolección de datos y generar modelos de procesos que no contribuyen en gran medida al resultado del análisis. Los atributos que se deben considerar cuando se identifican procesos de impacto, son el “donde” y “cual”, el “donde” es muy importante, dado que las prioridades de la sostenibilidad cambian dependiendo de los escenarios en diferentes compañías y comunidades, y “cual” o “cuales” procesos son requeridos para generar un cambio en el producto.

4.1.4 Construcción de modelos matemáticos.

Después de definir los procesos claves en la manufactura, se puede iniciar la construcción de modelos para cada proceso. Esta etapa consume la mayor cantidad de

tiempo y recursos. Se debe reunir datos y modelar el proceso unitario. EL modelo matemático debe ser del tipo *input-output* (IO) generando un formato, en orden de disminuir la generación de resultados. Las ecuaciones deben ser una función de parámetros específicos del proceso y diseño, y los valores de salida para los correspondientes índices de sostenibilidad. Existen dos tipos de datos para recolectar, el primer tipo es información acerca del proceso a través de entrevistas con expertos e investigación en la literatura. Esto se hace para entender cómo el proceso impacta en los diferentes aspectos de la sostenibilidad, y ayuda a desarrollar los modelos matemáticos. El segundo tipo de información a recolectar, son los parámetros específicos del proceso. Los parámetros de este tipo de datos, se utilizan por los modelos matemáticos para cuantificar el desempeño de los índices de sostenibilidad de cada proceso específico del producto.

4.1.5 Aplicar los modelos y sumar los índices

Luego, aplicar los modelos matemáticos y sumar los valores de los índices de sostenibilidad es necesario para analizar el resultado de la evaluación. Los índices económico, ambiental y social deben ser cuantificados y compilados para procesos individuales. Entonces los índices de todos los procesos, deben ser agregados en una tabla sumatoria para analizar el desempeño de todo el flujo de procesos del producto (componente o ensamble). Muchos índices se pueden sumar, pero aquellos que se expresan en términos de porcentaje o promedio requieren de métodos especiales para ser incorporados a la tabla de la evaluación de sostenibilidad. La tabla resumen de la evaluación puede ser examinada para determinar qué proceso tiene una mayor contribución de los diferentes índices de sostenibilidad. Las unidades y áreas de procesos con mayor impacto podrán ser identificadas para su mejora.

4.1.6 Análisis y comparación de los resultados de la evaluación.

El paso final del método es analizar los resultados y comparar las diferentes alternativas. Una forma directa para comparar alternativas de productos es normalizar los resultados de la evaluación. Esto se hace seleccionando una alternativa como línea base de las demás alternativas para contrastar. Todos los índices de la alternativa de línea base, se le debe asignar el valor 1, y los valores obtenidos en las otras alternativas, deben ser divididos por el valor de cada índice de la alternativa de línea base. Finalmente, los índices normalizados pueden ser graficados, la representación gráfica hace que sea más fácil visualizar la mejor alternativa y la evaluación de cada uno de los índices. Esta es la principal ventaja de este método de evaluación de sostenibilidad para la etapa de diseño dado que al normalizar y graficar las alternativas se puede hacer un análisis rápido de cuál es la mejor alternativa.

4.1.7 Paso a paso de la metodología para la evaluación de la sostenibilidad aplicado al ejemplo.

Para demostrar la metodología explicada, se aplicará el método de evaluación de sostenibilidad para comparar tres opciones de diseño de engranajes cónicos. El propósito es ilustrar la habilidad de la metodología de asistir el diseño para la manufactura y ensamble de equipos y productos, para esto se requiere generar evaluaciones de sostenibilidad independientes para cada alternativa y con esto determinar su desempeño económico, social y ambiental relativo.

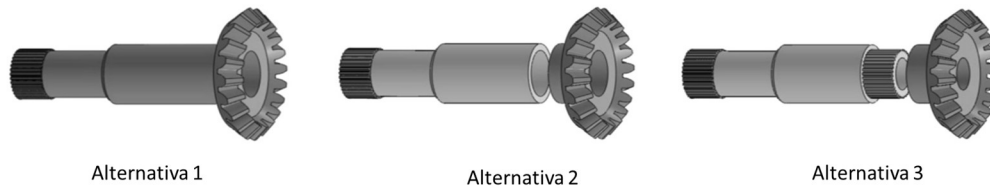


Imagen 4.2 Imagen de las tres alternativas a evaluar.

La primera alternativa a evaluar, será el diseño correspondiente a la generación original de engranajes cónicos, es un diseño de un solo componente fabricado de acero AISI 4340, la segunda alternativa de diseño es una posible nueva generación de engranajes cónicos, es un ensamble de dos componentes. El cabezal será fabricado de acero AISI 4340 y el eje de una aleación de titanio TI-6AL-4V, los cuales estarán ensamblados por una soldadura por fricción. Finalmente la tercera alternativa, esta posible configuración de la nueva generación de engranajes cónicos, al igual que la segunda alternativa, es un ensamble de dos piezas. El cabezal construido de acero AISI 4340 y el eje de TI-6AL-4V, esta alternativa difiere de la segunda en que la unión entre ambas componentes se realiza a través de interferencia.

4.1.7.1 Elegir y cuantificar indicadores

Los indicadores de sostenibilidad para componentes metálicas manufacturadas serán elegidos basados en las consideraciones descritas con anterioridad, en este caso se tiene información desde la industria familiarizada con el diseño y manufactura de piezas aeronáuticas, y de reportes de evaluación de sostenibilidad previos. Este subconjunto de indicadores de sostenibilidad se elige de forma que se ajusten de mejor forma a los objetivos y alcance del estudio. Los indicadores seleccionados cubren los aspectos económicos, sociales y ambientales. Son comúnmente

entendibles, pueden ser aplicados a una gran variedad de compañías dado que son muy fáciles de medir.

4.1.7.2 Indicadores Económicos

El indicador económico elegido es el costo de operación. El costo de operación (OP) es una estimación de los costos relativos a la producción. Esto incluye materiales y consumos utilizados, energía utilizada in situ y mano de obra. Cada uno de estos factores se multiplica por su costo unitario y se suma.

Algunos ejemplos de consumos incluyen el agua y refrigerante utilizado durante los procesos de mecanizado, o abrasivos utilizados durante el fresado. El consumo de energía en terreno es multiplicado por el costo promedio de energía eléctrica, el cual depende de la locación geográfica en donde la energía es producida además de las diferentes fuentes de generación de energía. El costo de mano de obra, es el costo promedio de cada operador y se multiplica por el tiempo de mecanizado o procesado.

$$OP\ Cost = \sum_{i=1}^n (mc * Cc)i + (ONSEC)Ce + tpCl$$

4.1.7.3 Indicadores Ambientales

Los indicadores ambientales seleccionados son input de materiales sin compuestos volátiles, consumo de energía in situ, uso de agua, agua desechada, emisión de gases de efecto invernadero, emisiones contaminantes, desechos hacia vertedero, desechos reciclados, y desechos peligrosos. Materiales de input de compuestos no volátiles (IMNF, en inglés), contiene todo lo relacionado con el uso de recursos naturales y producción de basura. Mide la proporción, en masa, del material inicial que no está contenido en el componente final. En la ecuación que se muestra más abajo, IMNF

está calculado como la diferencia entre el volumen inicial y final, durante un proceso, dividido por el stock de volumen inicial de material.

$$IMNF = \frac{(Vf - Vi)}{Vs}$$

Consumo de energía in situ (ONS EC) mide la cantidad de energía utilizada por los procesos interiores. Se determina multiplicando la potencia requerida de una máquina por su tiempo de funcionamiento. La ecuación para este índice es específica para cada proceso y puede variar bastante. La fórmula general para una máquina de desbaste de material se muestra más abajo. Una máquina de desbaste usualmente tiene tres niveles de potencia durante el mecanizado. Mecanizado, seteo, espera. La potencia del giro del motor durante el mecanizado se multiplica por el tiempo de mecanizado, la potencia de seteo se multiplica por el tiempo de seteo y la potencia de espera se multiplica por el tiempo de espera. Estos valores se suman para obtener el consumo total de energía. La potencia de espera, es la línea base de energía requerida por la máquina para estar encendida, incluye el tiempo total de proceso y el tiempo de *setup*. La potencia de seteo, es la energía requerida mientras la máquina está en movimiento, pero no está removiendo material de la pieza de trabajo esto incluye el tiempo de mecanizado y tiempo de espera.

$$ONS\ EC = Pm * tm + Pi * ti + Ps * ts$$

Uso de agua (H₂O) mide el volumen de agua requerido para la producción. Es el flujo total de agua en el proceso o sistema durante la operación. El uso de agua del proceso, se determina multiplicando el flujo de agua por el tiempo de proceso en el cual el agua es utilizada.

$$H_2O = rwd * tw$$

Agua desechada (H₂O Dis) mide el volumen de efluentes de agua resultantes de los procesos. Es el total de agua que existe en los procesos o equipos y que va a una planta de tratamiento. Esto no incluye pérdidas por evaporación o el agua llevada por las piezas producidas. El agua desechada es calculada como la multiplicación de la razón de agua desechada por el tiempo en el que el agua fue desechada por el proceso.

$$H_2O \text{ Dis} = rwd * tw$$

Emisión de gases de efecto invernadero (EM GHG) mide la masa de gases producida considerando aquellos que contribuyen más al calentamiento global (dióxido de carbono, metano y óxidos nitrosos). Las emisiones se producen primariamente por generación de energía eléctrica requerida para los procesos. El valor determinado, varía dependiendo de la locación en donde se produce la energía. Los valores de la masa de la producción de gases se multiplican por su respectivo factor de potencial de calentamiento global con el fin de convertirlo a CO₂ equivalente. El índice de masa de CO₂ equivalente producida por emisión de gases de efecto invernadero (GHG) por unidad de energía consumida se suma. Y luego se multiplica por la cantidad de energía consumida in situ respectivamente para calcular el total de emisiones de GHG en términos de masa de CO₂ equivalente.

$$EM \text{ GHG} = (ONS \text{ EC}) (rCO_2 + rCH_4 * GWP_{ch4} + rNO_2 * G_{no2})$$

Emisiones contaminantes (EM GHG) miden la masa producida de varias sustancias que afectan la calidad del aire como óxidos nitrosos, óxidos sulfúricos, material particulado bajo 10 micras y compuestos volátiles orgánicos. Las fuentes de estas

sustancias pueden ser la generación de energía eléctrica, procesos de combustión y evaporación de solventes.

$$EM\ POL = (ONSEC)(rNOx + rSO4)$$

Desechos al vertedero (W2L) mide los desechos del proceso que se envían al vertedero. Esto usualmente incluye desechos sólidos de las materias consumidas durante la producción tales como abrasivos de esmerilado, molido o fresado. La fracción de desechos enviada al vertedero se multiplica por su respectivo parámetro de proceso.

$$W2L = \sum_{i=1}^n (rland * mr)i$$

Desechos a reciclar (W2R) mide los desechos del proceso que se envían a reciclaje. En la mayoría de las operaciones de mecanizado las rebabas y restos de metal son reciclados. En este caso, la porción de desecho que se va a reciclaje se multiplica por el total de material removido.

$$W2R = \sum_{i=1}^n (rrec * mr)i$$

Desechos peligrosos (W Haz) mide el total de desechos que deben ser depositados de acuerdo a las regulaciones de manejo de materiales peligrosos. Este índice se obtiene multiplicando el volumen total de desechos peligrosos producidos entre el relleno de estanques por la densidad del desecho peligroso y la proporción del tiempo del proceso entre relleno de estanques.

$$W_{haz} = \sum_{i=1}^n (Vhaz * phaz(\frac{tp}{tref}))i$$

4.1.7.4 Indicadores Sociales

Los indicadores sociales son seleccionados para lesiones graves, días de trabajo perdidos y enfermedades crónicas. Lesiones graves (INJ) indica el nivel de seguridad en el ambiente laboral. La tasa de lesiones para una función, trabajo o proceso específico puede ser determinada con la información de la compañía o con datos estatales. La tasa de incidentes por lesiones en procesos debe ser multiplicada por el tiempo de proceso, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$INJ = r_{lwd} * INJ$$

Enfermedades crónicas (ILL) indica los efectos en la salud a largo plazo, y típicamente se deben a la sobre exposición a químicos nocivos o ambientes tóxicos. La tasa de enfermedades para un trabajo o proceso específico, puede ser calculada por los datos de la empresa o estadísticas estatales. El índice se determina multiplicando la tasa de enfermedad por el tiempo del proceso.

$$ILL = r_{ill} * t_p$$

4.1.7.5 Proceso unitario clave de manufactura

Dado el objetivo del estudio que es un análisis *gate-to-gate*, el proceso unitario considerado es el proceso de manufactura para convertir el material en stock en el eje estriado como producto final. Se presentan los diagramas de flujo del proceso unitario de manufactura de las tres alternativas a analizar.

4.1.7.6 Alternativa 1

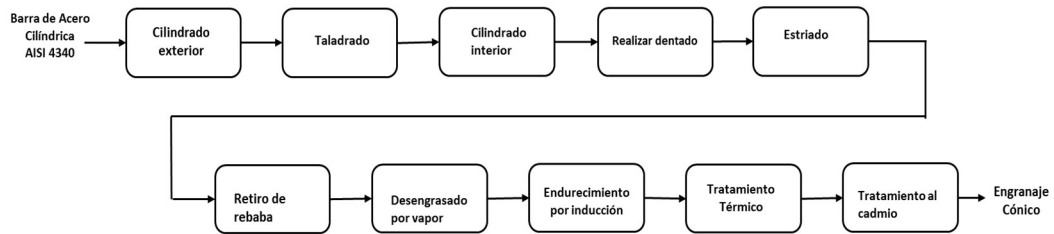


Imagen 4.3 Diagrama de flujo alternativa 1.

El acero AISI 4340 llega como barras cilíndricas de 5.25 [pulg] de diámetro, pre cortado a 10 [pulg] de largo. Primero es torneado, taladrado y cilindrado para crear el diámetro interior y exterior del cabezal en blanco. Los dientes son cortados posteriormente con una generadora de ruedas dentadas. Después de que se completa la etapa de remoción de material, la pieza se termina a mano. El cabezal se desengrasa utilizando vapor para sacar cualquier resto de aceite del mecanizado. Los dientes en la cabeza se endurecen por inducción, luego se somete a un tratamiento térmico en un horno de gas natural para aliviar los esfuerzos. Finalmente, el conjunto se somete a un tratamiento al cadmio para prevenir la corrosión.

4.1.7.7 Alternativa 2

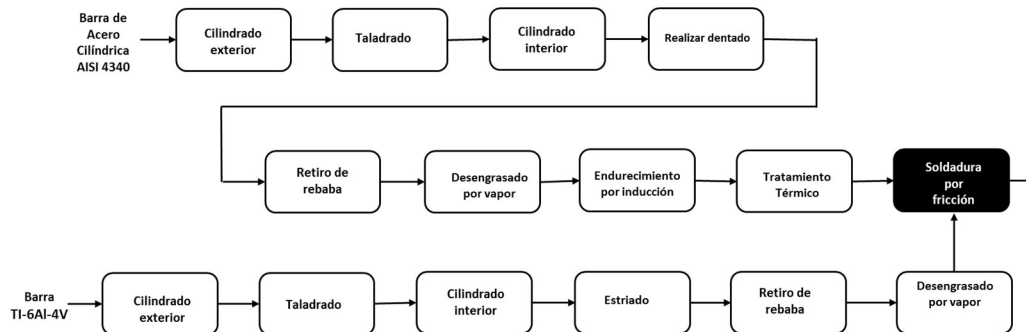


Imagen 4.4 Diagrama de flujo alternativa 2.

La materia prima, acero AISI 4340 llega a la planta como barras circulares de 5.25 pulgadas de diámetro y de 5 pulgadas de longitud. Primero es torneado, taladrado y cilindrado para crear los diámetros interiores y exteriores de la rueda dentada en blanco. Los dientes de la rueda se cortan utilizando una generadora. Después que los procesos de remoción de material terminen, la pieza es terminada a mano para remover las rebabas. Luego el engranaje de cabeza es desengrasado con vapor para remover cualquier resto de aceite proveniente de los procesos de mecanizado. Los dientes son endurecidos por inducción, y después son puestos en un horno de combustión de gas natural para hacerles un tratamiento térmico a fin de aliviar estrés. La rueda dentada, no requiere un baño de cadmio dado que no habrá corrosión en los puntos de contacto de los dientes.

El Material Ti-6Al-4V para el eje de la alternativa 2 llega a la planta como barras circulares de 2.5 [pulg] (63.5 [mm]) de diámetro, y pre cortadas a un largo de 8 [pulg] (203.2[mm]). Primero es torneado, taladrado y cilindrado para crear los diámetros interior y exterior del eje. Luego se hace el eje estriado utilizando una fresa madre. Después que todos los procesos con remoción de material estén completos, se finaliza

sacando las rebabas y suavizando los bordes del eje a mano. Se desengrasa el eje con vapor para eliminar cualquier resto de aceite. El titanio no tiene problemas de corrosión así que el baño de cadmio no es necesario. La rueda dentada y el eje son ensamblados utilizando el proceso de soldadura por fricción.

4.1.7.8 Alternativa 3

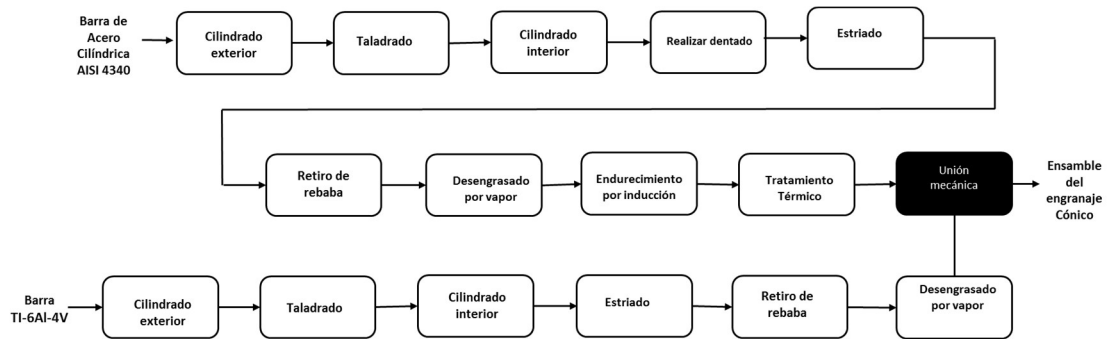


Imagen 4.5 Diagrama de flujo alternativa 3.

La materia prima, aleación de acero AISI 4340 para la cabeza dentada llega a la planta como barras circulares de 5.25 [pulg] de diámetro, pre cortadas a un largo de 5 [pulg], similar a la alternativa 2. Primero se hace un cilindrado exterior, taladrado y cilindrado para crear el diámetro interno y externo de la rueda sin dentar. Los dientes de la rueda y el estriado interno serán cortados utilizando un generador de ruedas dentadas y una herramienta de forma respectivamente. Después que los procesos con remoción de material han terminado, se le sacan las rebabas a mano. La rueda dentada es desengrasada con vapor para eliminar cualquier resto de aceite proveniente de los procesos de mecanizado. Los dientes son endurecidos con un proceso de inducción, luego se dispone en un horno de combustión de gas natural para aliviar esfuerzos. La materia prima Ti-6Al-4V llega a la planta como barras redondas de 2.5[pulg] de diámetro, pre cortadas a un largo de 8 [pulg], similar a la alternativa 2.

Primero es torneado, taladrado y cilindrado para crear los diámetros internos y externos del eje. Los dos estriados son creados utilizando una fresa madre. Después que se finalizan todos los procesos con remoción de material, el eje es terminado a mano para quitar las rebabas. El eje es desengrasado con vapor para eliminar los restos de aceite del mecanizado. La rueda dentada y el eje son ensamblados utilizando una unión mecánica. Los componentes de titanio y acero tienen una unión por interferencia.

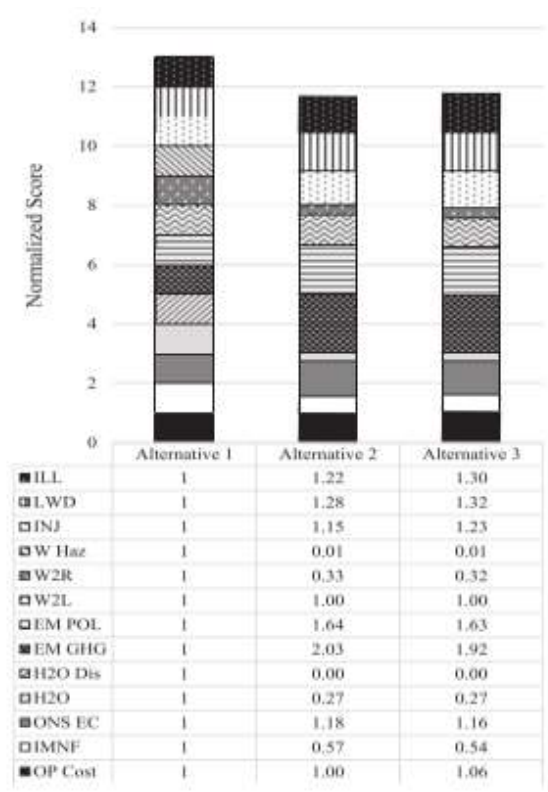


Imagen 4.6 Comparación de los valores normalizados para las alternativas de diseño.

Se puede observar en la imagen que la opción más sostenible es la propuesta de diseño número 2, una ventaja de este método de evaluación de sostenibilidad en la

etapa de diseño, es la facilidad con la que se puede identificar la opción más sostenible a través de este tipo de gráfico.

4.2 Solid Works Sustainability

Dentro de las herramientas de diseño mecánico Computacional, existe un Software ampliamente utilizado, llamado Solidworks. Es un programa de modelación 3D, que incluye módulos de Cálculo, simulación y accionamiento de mecanismos. Últimamente, se le agregó el módulo de sostenibilidad, llamado Solidworks Sustainability. Para incorporar sostenibilidad al diseño de los productos, Solidworks sustainability entrega un análisis del proceso del diseño de producto utilizando el criterio estándar de la industria de análisis de ciclo de vida, además entrega una retroalimentación instantánea, así se pueden hacer ajustes rápidamente en el diseño y convertir las metas de sostenibilidad en resultados.

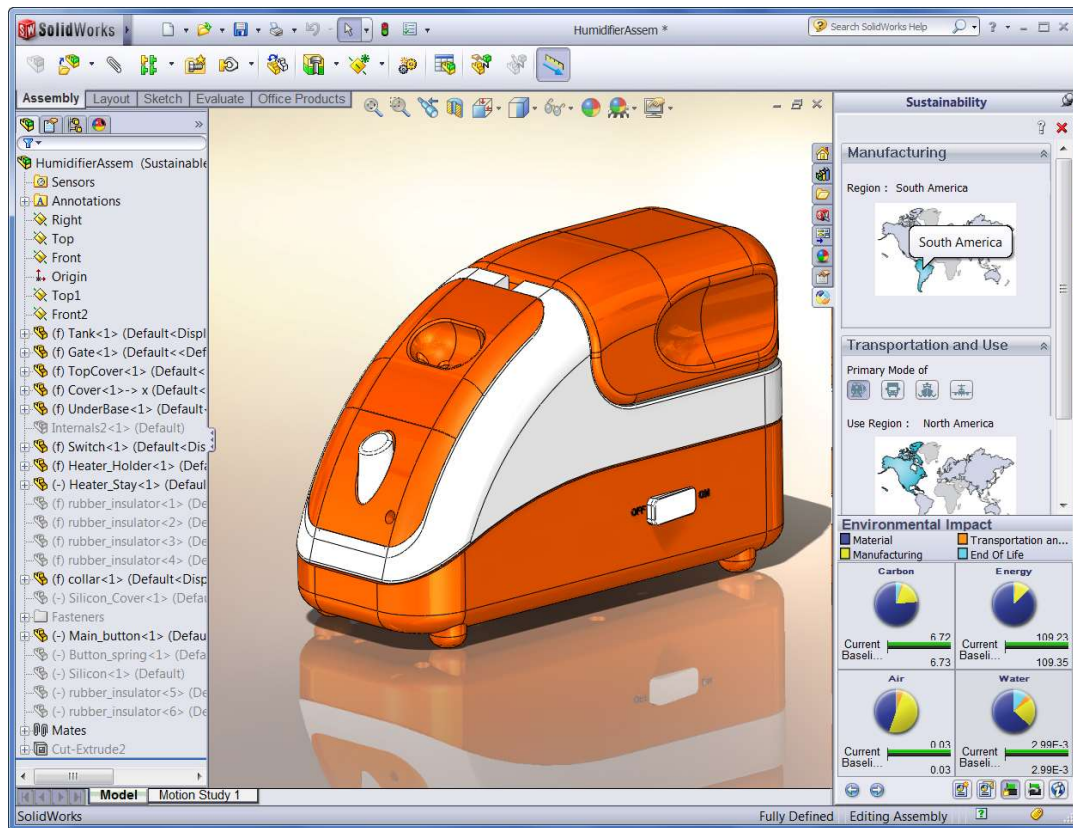


Imagen 4.7 Vista de SolidWorks sustainability.

Entrega un LCA de comprobación del impacto medioambiental global integrado al proceso de diseño. Incluye distintas herramientas con funciones para evaluar tanto piezas como ensamblajes mediante parámetros como la distancia y el medio de transporte, la energía del montaje y el consumo de energía de la fase de uso.

Los resultados de evaluación se guardan para la configuración de cada diseño, lo que ayuda a comparar versiones fácilmente. La herramienta de visualización de ensamblajes clasifica el impacto de las piezas de su ensamblaje para identificar y re evaluar la sostenibilidad del diseño. La perfecta integración y la generación de

informes automáticos permiten comunicar de forma rápida y sencilla la solución de diseño sostenible.

En cuanto a la base de datos de impacto ambiental, el software utiliza la base de datos GaBi LCA de PE International.

4.3 Tecnologías de mecanizado sostenibles

Propuesta tomada de la publicación desarrollada por los autores (Jayal et al., 2010). El mecanizado es uno de los procesos más importantes en la industria metalmecánica y manufacturera, y se estima que los procesos de mecanizado contribuyen con cerca del 5% del PIB en el mundo desarrollado. El impacto indirecto del mecanizado, produce un efecto en la integridad superficial y por lo tanto en la vida del producto. Adicionalmente, como los factores económicos inducen a tener ciclos de vida de los productos más cortos y sistemas de manufactura más flexibles, se espera que aumente aún más la importancia de los procesos de mecanizado.

Para el caso de diseño de productos, la mayor barrera para implementar el diseño de proceso sostenible es evaluar convenientemente el índice de sostenibilidad del proceso.

No existe una definición universal aceptada de mecanizado sostenible. Trabajos recientes lo describen como un proceso que conduce a: (i) mejorar la amabilidad ambiental, (ii) reducir costos, (iii) reducir el consumo de energía, (iv) reducir desechos, (v) promover la seguridad operacional, (vi) mejorar la salud del personal. Basado en estos seis elementos interactivos, se ha desarrollado un nuevo modelo para una evaluación amplia de la sostenibilidad de procesos de mecanizado, optimizando el desempeño de los procesos de mecanizado con un modelo híbrido. Mientras tres de

los elementos de la sostenibilidad pueden ser modelados utilizando técnicas analíticas por su naturaleza determinística, el modelado de los otros tres elementos, seguridad, salud y ambiente (SHE en inglés) requiere de medios no determinísticos como modelos de lógica confusa.

Así, como primera aproximación, el índice de sostenibilidad total, como función de los sub-elementos, se establece como:

$$S = C_{SHE} * S_{SHE} + C_{op} * S_{op}$$

Donde:

C_{SHE} , C_{op} : Factores de peso relevantes.

S_{SHE} : Índice de sostenibilidad para la seguridad, salud y ambiente, evaluado con lógica difusa.

S_{op} : Nivel de sostenibilidad operacional del proceso basado en el costo de la máquina, consumo de energía y manejo de desechos.

Dada la complejidad de los intercambios involucrados, la elección de las de las diferentes alternativas de proceso necesita estar basadas en la optimización comprehensiva. Así existe la necesidad de mejorar los modelos predictivos de procesos.

Desarrollar modelos predictivos para medir el desempeño de mecanizado, ha sido el área de mayor foco en la investigación durante las últimas décadas.

4.3.1 Mecanizado en seco.

La dificultad de extender los modelos simplificados tradicionales en 2D a operaciones de corte en 3D es el mayor desafío para el modelado analítico de mecanizado. El trabajo inicial para predecir condiciones de torneado 3D utilizando modelos integrados en 2D, incluye el desarrollo de un modelo para la predicción de las fuerzas primarias elementales (fuerzas principales y de empuje) en mecanizado con herramientas planas, se puede definir como:

$$dF_c = (C_{EC} + C_{AC} t_1) C_{\gamma c} C_{Vc} * db$$

$$dF_t = (C_{Et} + C_{At} t_1) C_{\gamma t} C_{Vt} * db$$

Donde F_c , F_t = Fuerza de corte y empuje en 2D

$C_{EC} C_{Et} C_{AC} C_{At}$ = Coeficientes para el borde y área de corte en la dirección de empuje y corte.

$C_{\gamma c} C_{\gamma t} C_{Vt} C_{Vc}$ = Factores de corrección para el ángulo de ataque y la velocidad de corte.

t_1 = espesor de la viruta completa.

db = elemento de espesor de la viruta.

Las fuerzas elementales secundarias se pueden expresar como:

$$dF_z = C_{EC}db + C_{AC}dA$$

$$dF_x = C_{Et}db\sin k + C_{At}dA\sin k - C_{Al}dA\cos k$$

$$dF_y = C_{Et}db\cos k + C_{At}dA\cos k + C_{Al}dA\sin k$$

Donde C_{Al} el coeficiente de fuerza lateral específico

$$C_{Al} = - \frac{C_{AC}(\tan \gamma - \sin \gamma \tan \eta_c) - C_{At}(\frac{\cos \gamma}{\cos \lambda})\tan \eta_c}{1 + \tan \eta_c \tan \lambda \sin \gamma}$$

k = Angulo de corte, λ = Angulo de inclinación, γ = ángulo de desprendimiento, dA = elemento de Area, η_c = ángulo elemental de flujo lateral de chip en referencia al flujo lateral del chip completo.

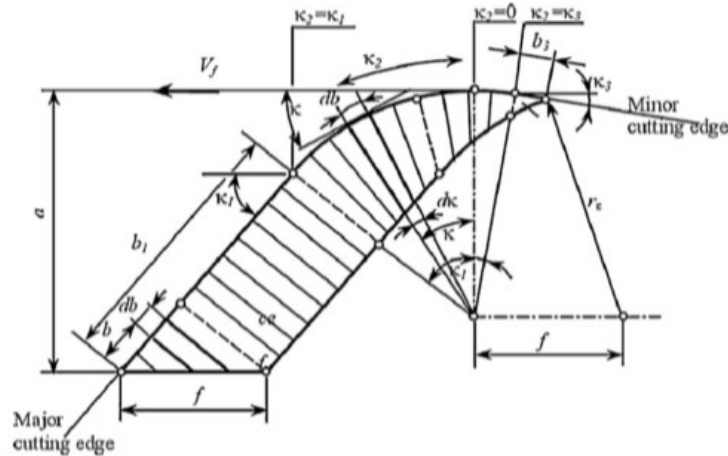


Imagen 4.8 Modelo de fuerzas elementales en mecanizado con herramienta de cara plana.

Finalmente, el total de las fuerzas en 3D (F_x , F_y , F_z) será dado por la integración de las fuerzas cortantes en el plano de corte y el área de corte sobre toda la dimensión de la viruta. Otros esfuerzos han desarrollado modelos prácticos de mecanizado aplicables, detallados en la literatura consultada.

4.3.2 Modelado numérico de operaciones rotativas

Métodos numéricos, como análisis de elementos finitos, prometen una buena opción para el modelado de operaciones de mecanizado dado su habilidad para manejar geometrías complejas, como el cortador de viruta de la herramienta, incorporando avanzados modelos del comportamiento de materiales, y predecir las características superficiales de la pieza mecanizada, como sus tensiones residuales. Trabajos recientes incorporan desarrollos más reales de modelos de estudio de esfuerzo residual en mecanizados 2D. Esto se hace con: (a) utilizando el modelo modificado de material de Johnson-Cook respaldado con una componente lineal elástica para describir el comportamiento del material como un fluido no-Newtoniano; (b) utilizando un esquema de enmallado para simular el flujo en la vecindad del borde de la herramienta sin el uso de un criterio de separación pre definido y (c) considerar el efecto termodinámico del acoplamiento en la deformación.

4.3.3 Modelo híbrido predictivo y automatización.

Los modelos predictivos de operaciones de mecanizado constan de dos grandes etapas, en la primera etapa teoría de la formación de la viruta básica, incorporando modelos numéricos y analíticos, son utilizados para predecir los parámetros fundamentales, como esfuerzos, temperaturas, etc. En la segunda etapa los índices de desempeño de mecanizado como desgaste de herramienta, vida útil del filo, forma de viruta, fragilidad de la viruta, rugosidad superficial, fuerzas de corte, potencia, torque

y precisión de las operaciones, son predichas utilizando técnicas de modelación analíticas, empíricas, basadas en inteligencia artificial de modelos híbridos, los cuales utilizan dos o más de estas técnicas para maximizar el beneficio. Trabajos previos en optimización de operaciones de mecanizado muestran el beneficio económico de optimizar el mecanizado. Investigaciones recientes destacan el uso de aplicaciones con algoritmos de genética y lógica difusa asistidos por computadora en diferentes operaciones de mecanizado.

4.3.4 Mecanizado Semi-seco

También el mecanizado en seco parece ser la alternativa más conveniente al fluido refrigerante convencional, NDM (siglas en inglés para cantidad mínima de lubricante) se muestra como una buena promesa cuando el mecanizado en seco no es posible y ayuda a reducir el uso de fluidos de corte significativamente, mientras que el desempeño y tiempo de vida de la herramienta se mantienen sin compromiso. Intentos de cuantificar las mejoras en el rendimiento al utilizar cantidades de extremadamente pequeñas de fluido de corte muestra un gran potencial en la reducción del coeficiente de fricción entre la herramienta y la viruta y mejora el desempeño de la máquina.

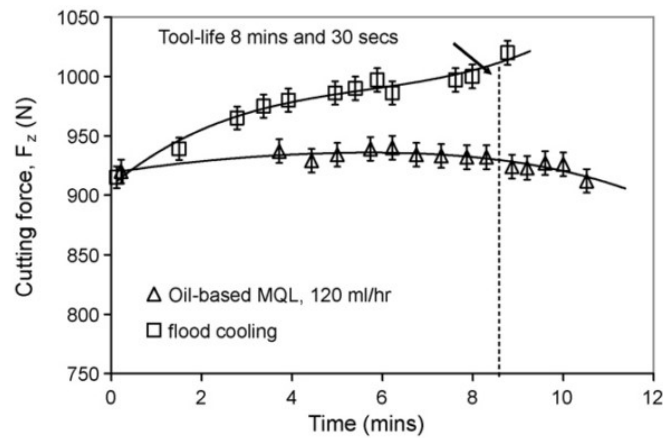


Imagen 4.9 Fuerza de corte para refrigerante y aceite NDM($v= 200\text{m/min}$, $d=1\text{ mm}$, $f= 0,2\text{ mm/rev}$)

4.3.5 Mecanizado criogénico

Actividades de desarrollo e investigación en mecanizado criogénico, las cuales utilizan un chorro de fluido criogénico –usualmente nitrógeno- es dirigido a la zona de corte para entregar mejor refrigerado, cubriendo grandes áreas, incluyendo: tratamiento criogénico de herramientas y materiales de trabajo.

El mecanizado criogénico entrega grandes mejoras que se pueden categorizar como:

- (i) Amigable al medio ambiente y seguro: El nitrógeno no es un gas peligroso constituye el 79% de la composición del aire atmosférico.
- (ii) Aumenta la productividad: Tanto la dureza como la resistencia de la herramienta de corte aumentan bajo el enfriamiento criogénico, permitiendo que aumente la cantidad de material removido.
- (iii) Mejora la calidad superficial: El polvo metálico del mecanizado criogénico y partes de acero endurecido muestran una reducción en el daño superficial y subsuperficial, y aumenta la resistencia a la fatiga.
- (iv) Reducción de detenciones y cambio en el proceso: Enfriamiento criogénico da como resultado

un mecanizado más económico en la condición completa de tratamiento térmico para la mayoría de los aceros bonificados y pulvometalúrgicos (cerámicos), eliminando los pasos intermedios de tratamiento térmico. Para materiales duros, el enfriamiento criogénico permite cambiar de bajas revoluciones a proceso de revoluciones a mayor velocidad.

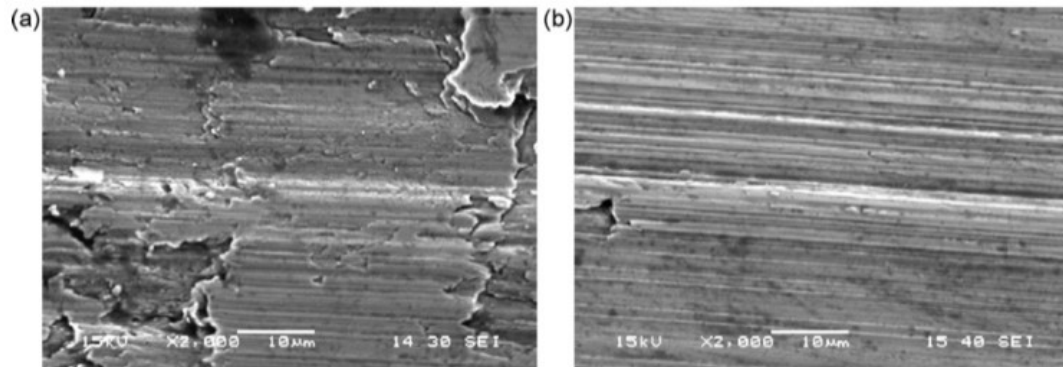


Imagen 4.10 Comparación entre superficies mecanizadas bajo (a) fluido refrigerante y (b) líquido refrigerado con nitrógeno.

4.4 Sostenibilidad en soldadura.

De la literatura revisada, se considera que el documento que mejor desarrolla este tópico es “Notes on power efficiency in welding” (On, Efficiency, & Welding, 2008). En los procesos de soldadura existen tres áreas a considerar en términos de sostenibilidad, la primera tiene relación con la eficiencia energética en la soldadura, la segunda tiene que ver con la eficiencia del procedimiento de soldadura y la tercera y última es la eficiencia de la fuente de poder.

4.4.1 Eficiencia energética en soldadura

Como regla general, la eficiencia energética en soldadura puede ser calculada como la relación entre la energía consumida de la línea y la energía final del usuario. Consecuentemente, la eficiencia energética en soldadura η_w se puede considerar como el producto de los siguientes términos:

$$\eta_w = \eta_u * \eta_a * \eta_p$$

Donde:

η_u : Es la eficiencia energética de la unidad de soldadura, considerando las pérdidas mayormente por el calor generado al interior de la fuente.

η_a : Es la eficiencia del arco de soldadura, considerando la energía transferida no directamente por el electrodo, como la generación de gas, luz UV, etc. Para procesos de soldadura sin arco eléctrico, este factor puede ser reemplazado por término del medio de transferencia de calor, en general se puede referir a la eficiencia media de transmisión de energía.

η_p : Es la eficiencia del procedimiento de soldadura, tomando en cuenta las pérdidas de calor efectivas en la unión, dependiendo de los parámetros principales del procedimiento de soldadura. (Diseño de la unión, número de filetes, tasa de deposición del material de aporte, etc.). La Imagen 4.11 muestra un diagrama con todos los aspectos para un procedimiento de soldadura al arco.

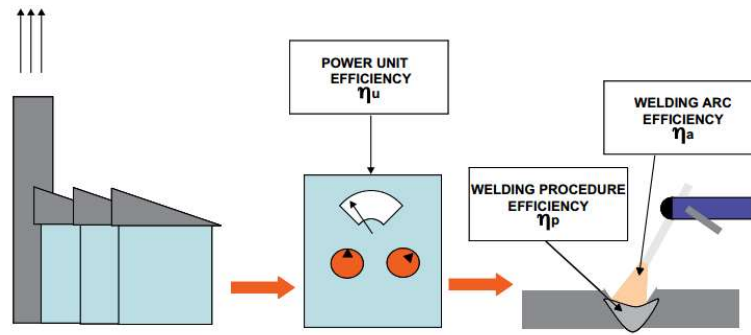


Imagen 4.11 Procedimiento soldadura al arco

Se considerarán dos factores principales que afectarán la eficiencia energética en soldadura:

La eficiencia del procedimiento de soldadura, depende del proceso, de los parámetros de soldadura, de la configuración de la unión, etc.

La eficiencia de la fuente de poder, para evaluarlo como una proporción entre la energía media transmitida (arco eléctrico, laser beam, electro beam) y el consumo de la línea.

4.4.2 Eficiencia del procedimiento de soldadura

La cantidad total de energía necesaria para desarrollar toda la soldadura depende de varios factores como el diseño, preparación y número de filetes necesarios para completar la unión.

Estos parámetros usualmente son de importancia para los ingenieros especializados en soldadura, diferentes factores operacionales y efectos metalúrgicos están

implicados para obtener la mejor opción. Como sea, el proceso de soldadura y su capacidad de soldar correctamente, afecta el procedimiento, principalmente por la razón de deposición y la máxima profundidad de penetración alcanzable. Los siguientes efectos, representan los principios de evaluación:

La eficiencia del procedimiento de soldadura aumenta a medida que la razón de deposición aumenta utilizando un filler metálico durante todo el proceso de soldadura. La potencia total requerida y el número de cordones disminuye al aumentar la razón de deposición.

La eficiencia del procedimiento de soldadura aumenta con el factor de forma del metal soldado (razón espesor-profundidad) en soldadura a tope. Como la profundidad de penetración es en general la única variable de entrada objetiva útil para representar soldadura en la base del espesor de la junta, a través de la simulación de la transferencia de calor desde el baño de soldadura.

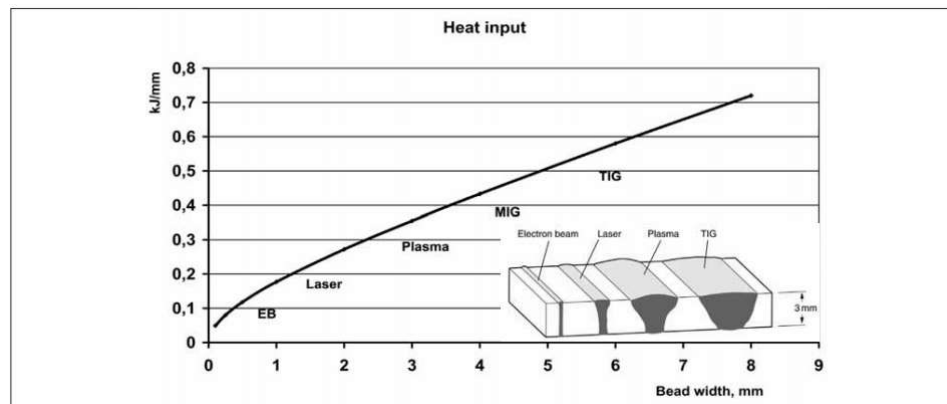


Imagen 4.12 Simulación de adición de calor cuando varía el espesor del cordón de soldadura con velocidad de soldadura constante.

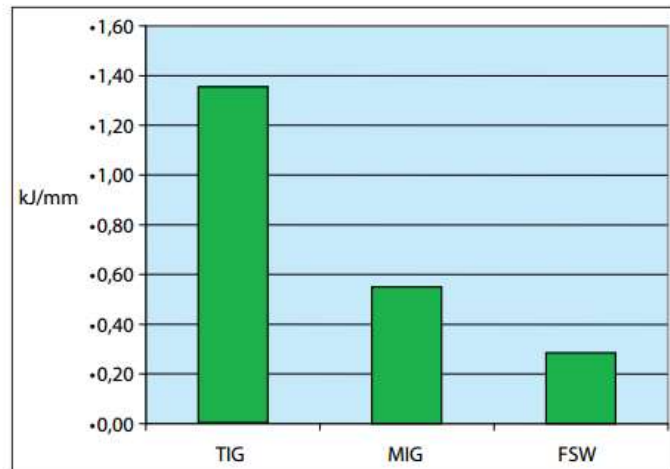


Imagen 4.13 Total de energía consumida cuando se realiza soldadura con diferentes procesos

4.4.3 Eficiencia de la fuente de poder de soldadura

Muchos tipos de fuentes de poder se utilizan en soldadura, la elección de cuál utilizar depende primero de qué procedimiento se utilizará.

El arco de soldadura se ve afectado en que la fuente de poder está diseñada para reducir el alto voltaje o línea de voltaje (120, 230, 240, 400 o 480 V, etc) a un rango de voltaje de salida apropiado (20 / 80 V), incluso si en algunos casos la energía se obtiene utilizando como fuente un motor de combustión interna. En este campo, las fuentes de potencia de alta frecuencia, siempre muestran bajas pérdidas y por lo tanto mejor eficiencia, mientras los generadores basados en motores de combustión interna muestran grandes pérdidas. Para aplicaciones de soldadura donde no se utiliza un arco eléctrico, la eficiencia de la fuente de poder en general viene dada por el fabricante.

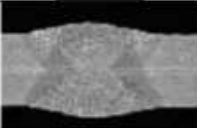
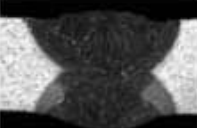
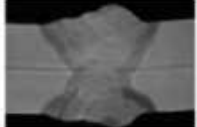
Welding procedure			Macrographic appearance
Process	Total heat input [kJ/mm]	Average maximum hardness [HV ₁₀]	
LBW CO ₂ Continued	0,5	320 (WM)	
SAW Welded form both sides	4,7	228 (HAZ)	
FCAW Metal cored	4,0	242 (HAZ)	
SMAW Basic electrode	10,93	311 (HAZ)	

Imagen 4.14 Aporte de calor para soldar acero de espesor 12 [mm].



The Engine Driven Welder has an efficiency of 35%.



The thyristor rectifier has a 75% electrical efficiency at full load, to be compared with that of the inverter.



The inverter has a 85% electrical efficiency.

Imagen 4.15 Diferentes tipos de fuentes de poder disponibles para soldadura.

La imagen muestra tres máquinas de soldar diferentes. De izquierda a derecha: primero, maquina soldadora con motor a combustión tiene una eficiencia de 35%, el

tiristor con rectificador tiene un 75% de eficiencia eléctrica a carga completa y finalmente el inversor presenta 85% de eficiencia.

4.4.4 Conclusiones

La eficiencia energética en el desempeño de una unión soldada depende del procedimiento de soldadura y del equipo utilizado; se puede evaluar considerando los siguientes factores claves:

- Calor de entrada, ya que la reducción puede significar el aumento de la eficiencia.
- Eficiencia de la fuente de poder, evaluada según los valores entregados por el fabricante o indirectamente en las pérdidas de circuito abierto (solo en aplicaciones de soldadura al arco)
- Los dos factores mencionados siempre deben ser considerados.

4.5 Comparación energética de conformado de chapa por deformación v/s proceso de estampado.

La comparación siguiente, es parte del trabajo propuesto por los autores (Ingarao, Ambrogio, Gagliardi, & Di Lorenzo, 2012).

En la actualidad, diferentes sectores industriales utilizan procesos de conformado para producir componentes a partir de chapas metálicas. Tradicionalmente, los componentes que se obtienen a partir de chapa metálica se producen mediante técnicas de estampación o embutición, que utilizan prensas y matrices.

El conformado incremental se caracteriza dentro de los procesos de conformado como una tecnología capaz de elaborar geometrías de pieza de elevada complejidad. Con su utilización se logra la obtención de todo tipo de geometrías típicas de embutición, aunque el proceso difiere del de la embutición. La fabricación de piezas de chapa metálica se consigue a través de la generación de sucesivas y pequeñas deformaciones sobre la chapa, hasta que la suma de las pequeñas deformaciones configure la forma final deseada, de la pieza. El conformado incremental de láminas metálicas es un proceso derivado de las tecnologías existentes en el área de fabricación rápida (“Rapid Manufacturing”) y en comparación con procesos de conformado tradicionales, esta técnica permite reducir drásticamente el coste de herramientas específicas (matrices en el caso de la estampación) así como costes asociados a la propia fabricación de las piezas metálicas.

El proceso de deformación incremental consiste en deformar la chapa mediante una herramienta con forma esférica. Esta, sigue las trayectorias programadas previamente por un sistema CAM. El conformado se realiza de manera local con una cabeza semiesférica que está en contacto con la chapa, con lo cual que la chapa es deformada plásticamente solo alrededor del área de contacto. La geometría del producto se logra incrementalmente cuando la herramienta sigue una trayectoria sobre la chapa; por esta razón la trayectoria de la herramienta es una operación crítica en la exactitud de la pieza final. Dicho proceso se inicia a partir de un fichero CAD 3D con la geometría de la pieza. El proceso está basado en el principio de conformado por capas, donde el modelo está dividido en secciones horizontales. La trayectoria de la herramienta CNC se prepara utilizando los contornos de estas secciones. Estas trayectorias se repiten a diferentes profundidades, siendo la suma total de trayectorias la que permite obtener la geometría deseada.

En la literatura consultada (G. Ingarao 2012) se propone un análisis sensitivo basado en modelos e información experimental, en el cual un proceso de conformado tradicional (estampado) es analizado a través de un modelo numérico para determinar la energía del proceso y también la cantidad de material utilizado desde la chapa metálica hasta la pieza. Se ha desarrollado un análisis experimental para obtener una medición de la energía total utilizada en un proceso de conformación de chapa por deformación incremental.

Los dos procesos analizados utilizan como variables dos aleaciones diferentes de aluminio y dos valores de espesores de chapa, finalmente se investigaron dos geometrías de conformado para ambos procesos. El análisis tiene como objetivo la investigación de estos procesos, muy diferentes entre ellos, para determinar su impacto ambiental enfocado en la cantidad de energía requerida por cada uno y un posible ahorro en el material utilizado.

4.5.1 Análisis de SPIF

El ángulo de inclinación se dejó fijo para eliminar una variable extra en la comparación de resultados, en particular, se elige una condición conservadora correspondiente a un ángulo de 45 grados para todos los casos.

La energía del proceso fue monitoreada guardando las fuerzas del proceso con un dinamómetro emplazado debajo del marco utilizado para bloquear la chapa mientras se conforma. La señal es transferida desde el área de trabajo a amplificadores específicos utilizando cables eléctricos aguas abajo, se conecta un adquisidor de datos a un computador en donde la información es grabada como se muestra en el siguiente diagrama.

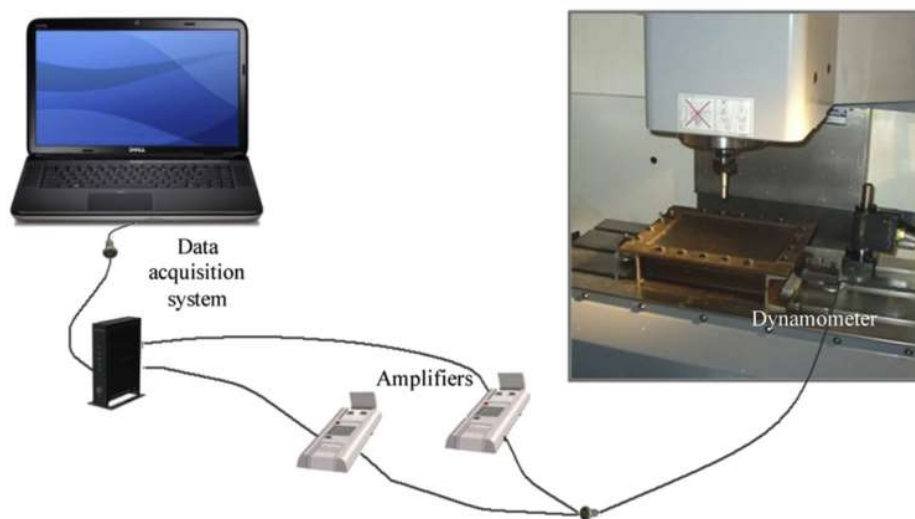


Imagen 4.16 Diagrama del arreglo experimental

En la Tabla 4.2, se muestran los parámetros del proceso que se mantienen constantes a lo largo del experimento.

Tabla 4.2 Parámetros.

SPIF process parameters along the experimental campaign.

Punch Diameter (mm)	Punch depth step (mm)	Punch feed (mm/min)	Punch speed (r.p.m.)
15	1	2000	200

La simetría de las dos geometrías elegidas permite obtener las componentes de la fuerza a lo largo del plano de formado. Dos fuerzas han sido monitoreadas: sólo una componente a lo largo del plano deformado F_x y la componente perpendicular al plano de formado F_z , como se muestra en la siguiente figura.

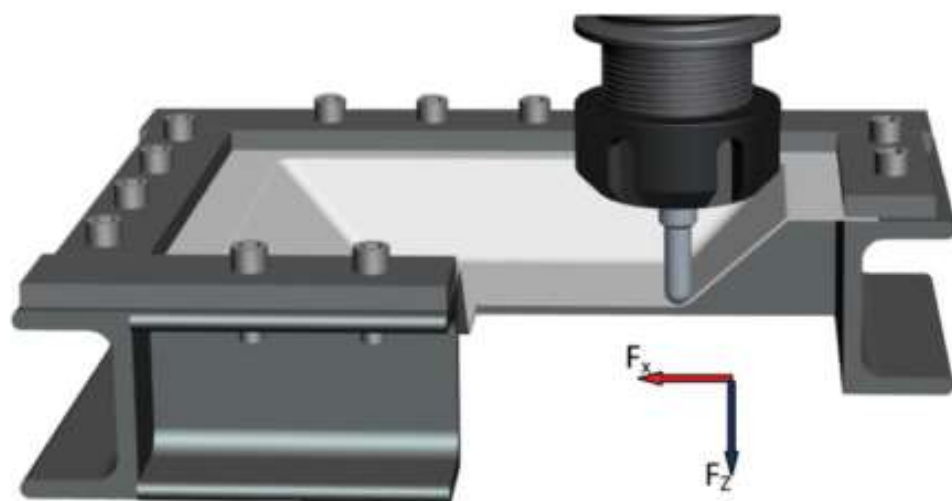


Imagen 4.17 Componentes de la fuerza resultante

La tendencia de las fuerzas medidas experimentalmente, se muestran en los siguientes graficos.

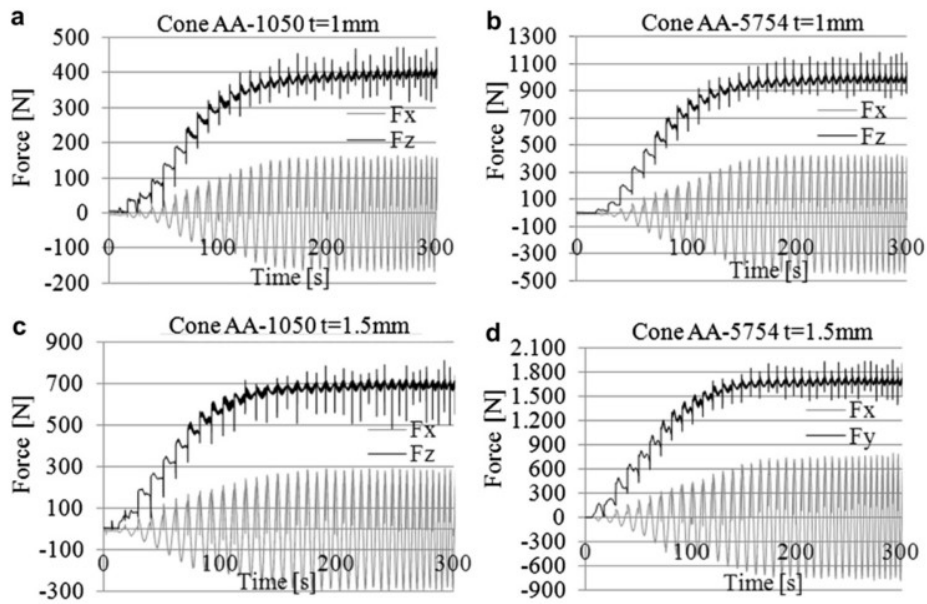


Imagen 4.18 Tendencia de las fuerzas para forma cónica

G. Ingarraro et al. / Journal of Cleaner Production 29-30 (2012) 255–268

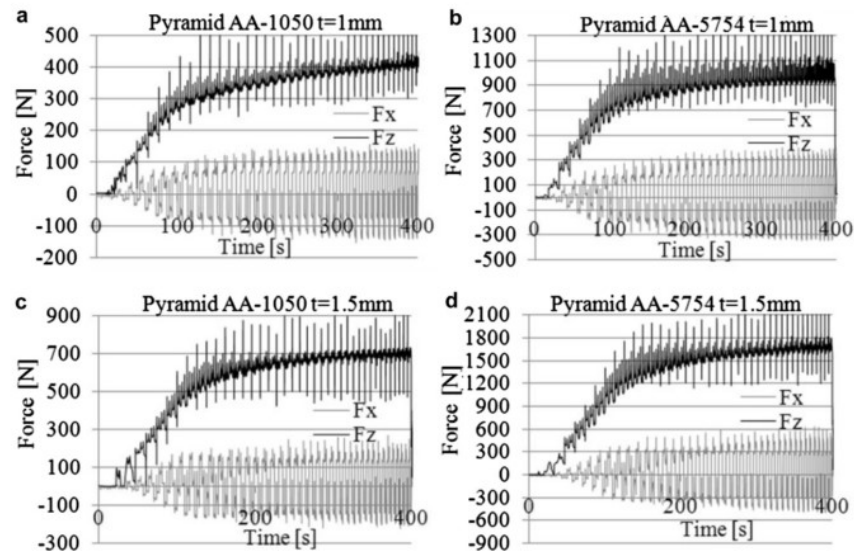


Imagen 4.19 Tendencia de las fuerzas para forma piramidal.

El ángulo de inclinación de la pared (45°) está relativamente lejos de la pendiente crítica de ambos materiales. Por lo tanto, las fuerzas, después de la fase transitoria, alcanzan una condición estable constante.

4.5.2 Cálculo energético en el proceso SPIF

La energía requerida para el proceso de SPIF, puede ser calculada, comenzando por la fuerza superior. En particular, el total de energía fue considerado siguiendo las componentes de las fuerzas a lo largo del movimiento correspondiente de la herramienta, pasada tras pasada. En la figura adjunta, se puede apreciar un zoom del extracto de un test aplicado a una pieza con geometría de cono truncado en una pasada. Al inicio de la pasada, la herramienta se mueve a lo largo de la dirección Z y la energía E_z puede ser calculada, sabiendo el valor de la fuerza F_z y la magnitud del desplazamiento en el eje Z. Así también la energía E_x (similar para E_y) es absorbida, mientras se ejerce presión y hay desplazamiento en las direcciones X e Y.

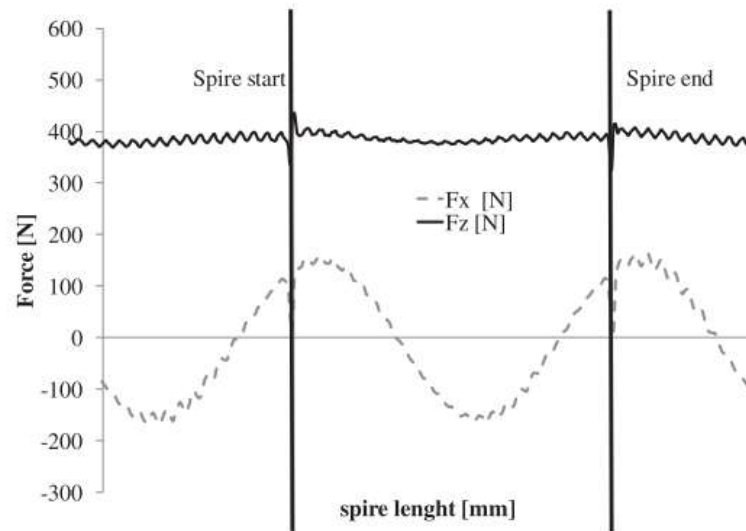


Fig. 5. Forces components vs. spire length (zoom for a single spire) for test 1.

Imagen 4.20 Componente de las fuerzas v/s largo de la aguja.

4.5.3 Resultados energéticos del SPIF

El análisis de los resultados energéticos para SPIF está dado, tomando en cuenta las influencias más relevantes de los parámetros de proceso y material. En particular, se muestran los mayores efectos, en post de destacar la tendencia o influencia determinada por cada parámetro en el ahorro energético. Desde este punto de vista, la siguiente figura evidencia la influencia de la reducción de espesor en el ahorro energético.

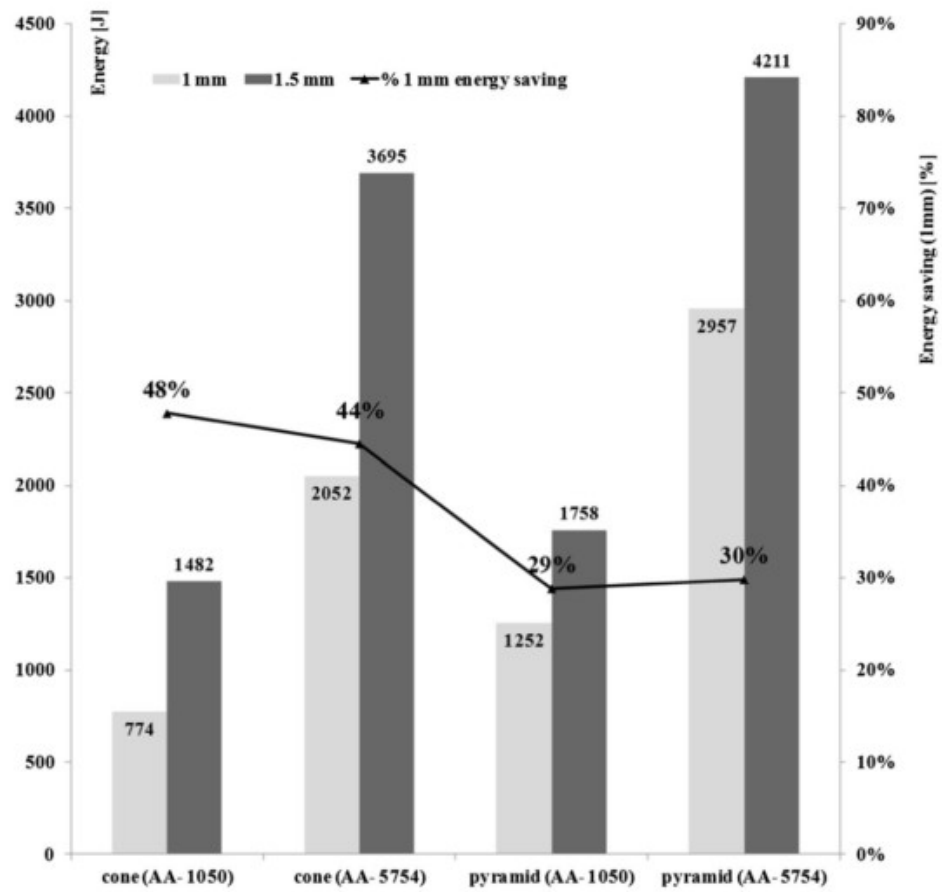


Imagen 4.21 Niveles de energía y ahorro para dos espesores diferentes.

El ahorro energetico es calculado como porcentaje de la reduccion de energia obtenida reduciendo el espesor desde 1.5 [mm] a 1.0[mm].

4.5.4 Análisis del proceso de estampado.

Para hacer la evaluación energética del proceso de estampado, es necesario utilizar una simulación numérica. Se utilizó el código comercial Dynaform para reducir el proceso y comenzar desde el modelo CAD. En la figura adjunta se muestran todos los detalles del modelo.

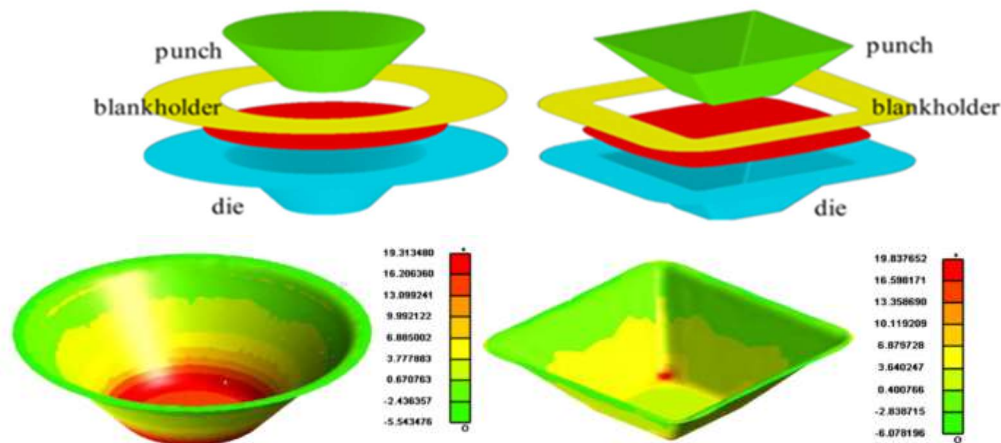


Imagen 4.22 Modelos CAD para dos geometrías y operaciones de estampado investigadas.

4.5.5 Cálculo energético del proceso de estampado

Al final de cada simulación numérica la curva de carga de empuje vs. Impulso de empuje fue generado, el área bajo la curva fue calculada para obtener la energía de deformación. Como se esperaba, la tendencia de las curvas es diferente variando el material, mientras la geometría a generar no afectó significativamente los resultados. Esta tendencia es la misma considerando una plancha de 1.5 [mm] de espesor, por supuesto que todas las curvas se incrementan al aumentar el espesor de la plancha. Al

traducir estas curvas en términos de consumo energético, se puede observar que la cantidad de energía requerida es sensible a la variación del material y del espesor.

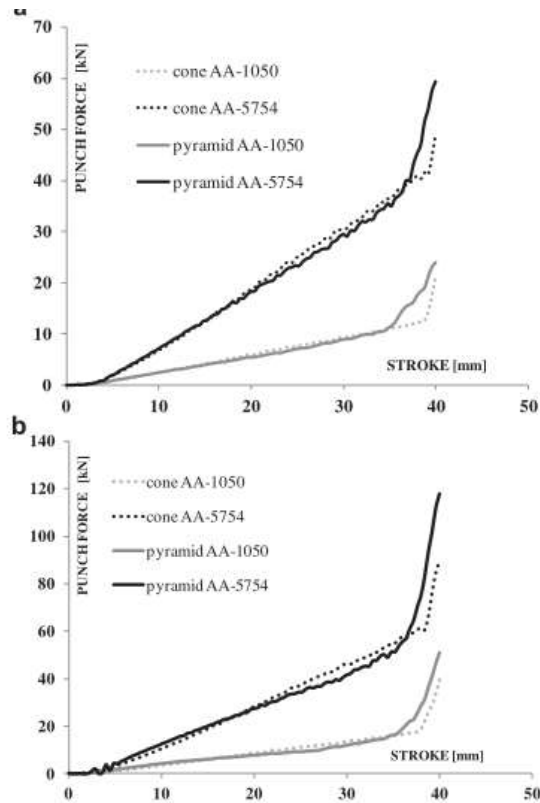


Imagen 4.23 Curvas de carga en estampado para dos espesores (a) 1 mm y (b) 1.5 mm.

4.5.6 Resultados energéticos del estampado

Se aplica el mismo análisis para ahorro energético que en el caso de SPIF. Las tendencias obtenidas son más regulares que las discutidas en el caso SPIF. Este resultado tiene relación con que el empuje de impacto es siempre el mismo en las diferentes formas y, consecuentemente, sólo la carga de empuje influencia en la

cantidad de energía consumida. La cantidad de energía ahorrada en diferentes espesores se muestra en la siguiente figura.

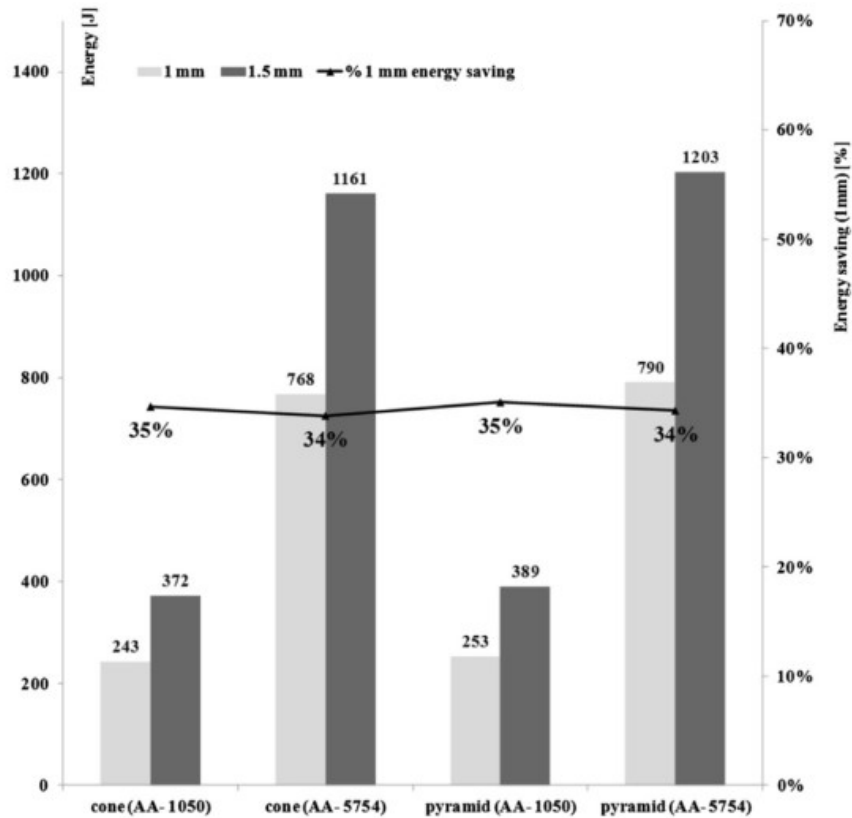


Imagen 4.24 Niveles de ahorro de energía para dos espesores en estampado

Es posible notar que al deformar una plancha metálica más espesa siempre requiere la mayor energía, y que el ahorro de energía durante la variación de espesor entre 1.5 [mm] y 1.0 [mm] es siempre de alrededor del 35% para cada configuración considerada. Sobre todo, el consumo de energía es insensible al cambio de formas; de hecho, no se observaron cambios significativos en los valores de las fuerzas al variar las formas.

Incluso para el estampado, y como se observó para SPIF, el cambio de material implica la mayor variación en el consumo energético. El ahorro energético es siempre de alrededor del 70% y se mantiene para todas las configuraciones. Como se observó en la curva de carga de empuje vs. Impacto, no se pueden observar cambios significativos en términos de la energía requerida al variar la forma.

4.5.7 Análisis energético comparativo

El análisis más relevante se ha desarrollado para comparar los resultados energéticos de las dos operaciones investigadas. Algunas evaluaciones que se extraen de dicho análisis son:

En todos los casos, el consumo energético en SPIF es significativamente mayor que en las operaciones de estampado. Dicho resultado viene considerando que aunque se utilice mayor fuerza durante el estampado respecto al SPIF, el desplazamiento durante SPIF es mucho mayor que en el caso de estampado. La proporción entre los dos factores (energía y desplazamiento) contribuye y determina la diferencia de la energía total requerida. Siguiendo la idea anterior, y como se observa en las figuras adjuntas, se puede concluir que es preferible utilizar el proceso de estampado.

El ahorro energético disminuye levemente utilizando un material caracterizado con mayor resistencia.

Por el contrario, el ahorro energético aumenta si se deforma una forma piramidal con respecto a un cono. Al comparar las figuras adjuntas, se puede observar que con un espesor de 1.5 [mm] se alcanza mayor ahorro energético estampando, cuando una forma cónica es deformada. Cuando se debe construir una forma piramidal el ahorro energético es similar que en el estampado.

La conclusión más relevante a la que se llega con este análisis, deriva desde las consideraciones mostradas anteriormente, la diferencia en consumo energético es tan grande que SPIF siempre es mayor que en el proceso de estampado. En orden de ofrecer una visión global de los valores energéticos es que se adjunta el siguiente gráfico.

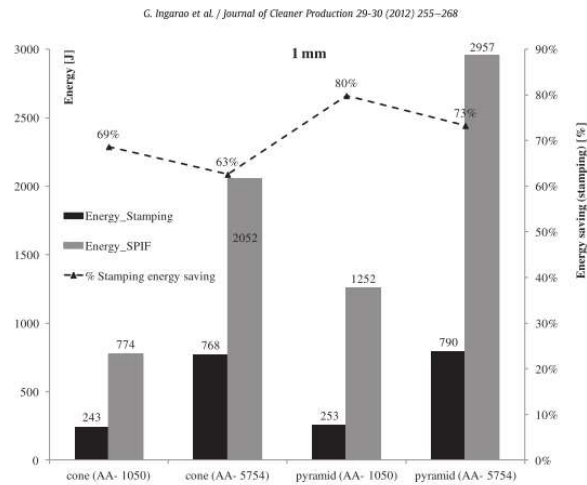


Imagen 4.25 Niveles de energía y ahorro para dos procesos diferentes con 1[mm] de espesor.

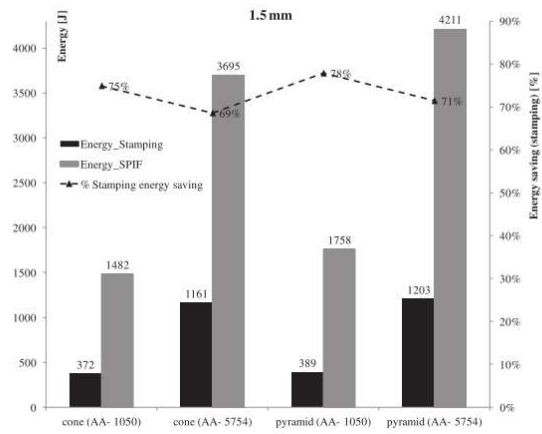


Imagen 4.26 Niveles de energía y ahorro para dos procesos diferentes con 1,5 [mm] de espesor.

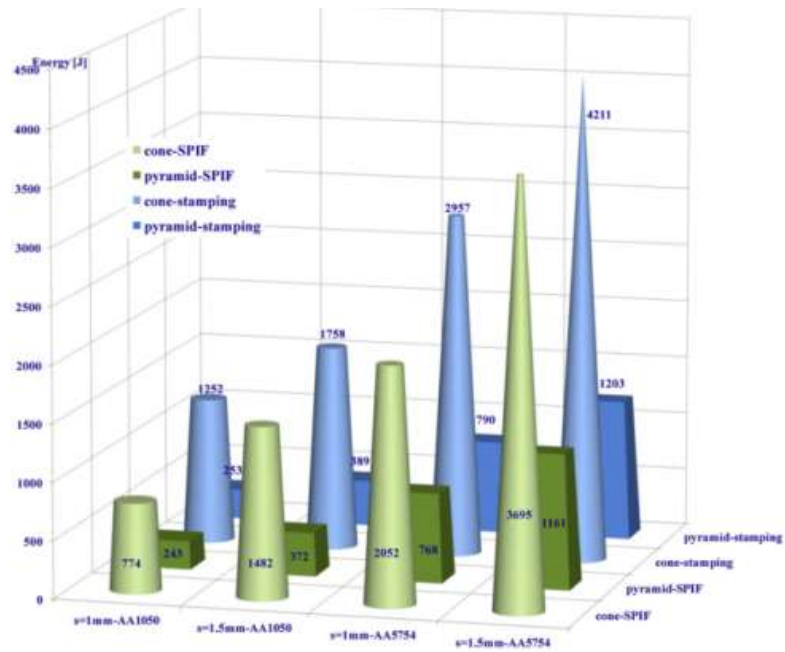


Imagen 4.27 Vista general de los resultados energéticos para las condiciones investigadas.

4.5.8 Comparación de ahorro de material

La comparación de los dos procesos se completa con una estimación del posible ahorro de material. Actualmente el uso de material base implica un impacto en términos de emisiones de CO₂, y el impacto del posible reciclaje del material.

En la presente aplicación se investigan dos aleaciones de aluminio, cada una con su respectiva huella medioambiental.

La comparación de la forma inicial en blanco se presenta en la figura adjunta. Las fuertes diferencias en deformación mecánica entre los procesos considerados guían a diferentes usos del material. Es importante recordar, que las cantidades de material implican diferente peso, pero también diferente energía necesaria para conformar la chapa. Actualmente en el proceso convencional de estampado, el material fluye a través de las cavidades durante todo el proceso y ocurre un fenómeno de adelgazamiento localizado. Por otro lado, el proceso SPIF se caracteriza por el estiramiento mecánico y se obtiene la deformación reduciendo el espesor de la chapa. Se pueden ver los resultados en la tabla siguiente.

Tabla 4.3 Ahorro de material.

Shape	Process	Area [mm ²]	Material saving [%]
Truncated Cone	Stamping	21124	—
Truncated Cone	SPIF	18870	10.67%
Truncated Pyramid	Stamping	26336	—
Truncated Pyramid	SPIF	24025	8.78%

4.5.9 Conclusiones.

En el trabajo de investigación estudiado, se ha desarrollado un análisis para evaluar las diferencias entre el proceso clásico de estampado y SPIF en términos de la energía necesaria para la deformación y el material utilizado.

En particular se variaron diferentes parámetros: la aleación de aluminio utilizada, el espesor de la chapa y la geometría final de la pieza. Para ambos procesos una estimación de la energía de deformación fue representada para todas las configuraciones de los parámetros presentados. La evaluación energética presentada en el documento es solo una parte de la energía requerida por cada proceso. La energía total del proceso incluye también los componentes relacionados al mismo tiempo y las operaciones auxiliares que pudieran ser relevantes. Sin embargo, la comparación entre los dos procesos, los cuales son muy distintos uno de otro en su mecanismo, nos da una primera visión amplia de las diferencias significativas entre ellos y sus respectivos consumos energéticos. Estos resultados son un punto de inicio para comparar y elegir la operación de manufactura más eficiente energéticamente. Además, una investigación en las posibilidades de reducir la utilización de recursos fue útil. Actualmente el mayor aspecto está relacionado con el ahorro de material, por lo tanto, un análisis en la cantidad de material utilizado también fue desarrollado.

Los resultados reportados en las secciones previas permiten llegar a una evaluación completa de las conclusiones:

- En todas las condiciones, el proceso SPIF siempre implicó una energía de deformación que es significativamente mayor que la requerida en el estampado. Por otra parte, SPIF permite un ahorro de material incuestionable.
- Estampado permite un menor ahorro energético cuando se considera un material categorizado con un alto esfuerzo mientras se alcanza un alto ahorro energético al estampar una forma piramidal deformada. (con respecto al ahorro obtenido por la forma de cono)
- Como SPIF tiende a preocuparse por obtener un ahorro energético variando el material, la forma y espesor de las partes. Actualmente el material tiene una gran influencia en el ahorro energético en las condiciones analizadas, dichas consideraciones también son válidas para el proceso de estampado.
- Respecto al estampado, no hay variaciones significativas observadas en ahorro energético al variar la forma de las partes mientras la influencia del espesor es significativa.

4.6 Sostenibilidad en estructuras metálicas

El acero es uno de los principales materiales utilizados en la construcción y manufactura en todo el planeta, por esto, es fundamental que su producción, uso y manejo post uso sea sostenible. La mejor forma de hacer sostenible la utilización del acero en la fabricación de estructuras metálicas es el potenciar el concepto de las 3R, reducir, reutilizar y reciclar. Hoy en el Reino Unido el 99% del acero estructural es recuperado de los sitios de demolición y el 96% del acero proveniente de todos los productos de construcción (steelconstruction.info, 2016).

Reducir: Disminuir al máximo la cantidad de acero que se utiliza en las estructuras para esto es fundamental contar con la base de un diseño inteligente, en el que no solo se lleve al mínimo la cantidad de material a utilizar sino que además se consideran otras variables que permitan su fácil dimensionamiento, montaje y reutilización, dentro de estas se puede considerar el utilizar piezas de forma y tamaño de acuerdo a estándares comerciales, uniones no permanentes que permitan un fácil desmontaje.

Reutilizar: La reutilización es hoy la mejor alternativa para hacer más sostenibles las estructuras metálicas, para poder reutilizar las estructuras de forma directa sin tener que re manufacturar o reciclar, es fundamental tener ciertas consideraciones funcionales en las etapas de diseño.

Reciclar: Si bien es mejor alternativa que fabricar acero desde la materia prima, es menos sostenible que la reutilización, al reciclar se debe re fundir el acero para convertirlo en una pieza nueva.

4.6.1 Diseñar para reutilizar:

Para facilitar e incentivar la reutilización, no solo es importante que los diseñadores utilicen acero, sino que puedan optimizar para facilitar la futura reutilización. Pasos que los diseñadores podrían tomar para facilitar la reutilización son:

- Utilizar uniones no permanentes con pernos en lugar de soldadura, para facilitar el desarme de las estructuras.
- Utilizar detalles estándar de conexión incluyendo el tamaño de los pernos y el espaciamiento de las perforaciones.
- Asegurar un fácil y continuo acceso a las conexiones

- Hacerlo factible, asegurarse de que el acero esté libre de capas de recubrimiento, para permitir una fácil inspección de su estado.
- Minimizar la utilización de fijaciones estructurales como soldadura, anclajes tipo hilti, de preferencia utilizar sujeciones de tipo abrazaderas.
- Identificar el origen y propiedades de cada pieza, por ejemplo, etiquetándolas con códigos de barras y mantener un inventario actualizado de los productos.
- Utilizar vigas de sección larga, son mejores y más flexibles para su futura reutilización, en el sentido que pueden cortarse para generar nuevas medidas.

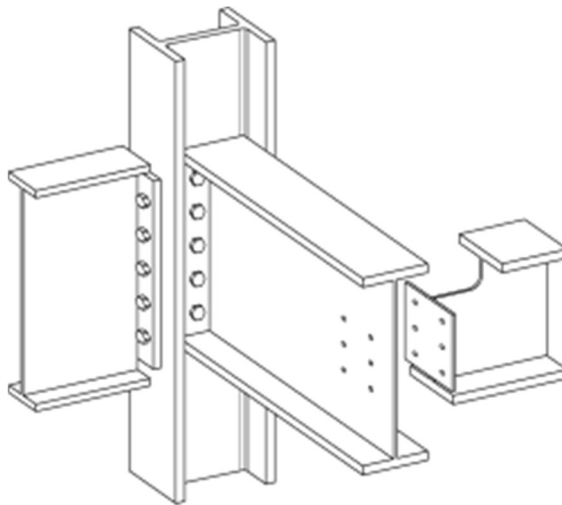


Imagen 4.28 Estructura metálica con uniones no permanentes

4.7 Sostenibilidad en Mecánica de banco

Al hacer un análisis de los procesos y procedimientos involucrados en mecánica de banco, se pueden observar ciertos puntos importantes a mejorar:

- Material de remoción y limpieza
- Lay out de piezas a fabricar
- Nivel de experiencia de los operarios

La utilización y manejo del material de limpieza está relacionado con disminuir el uso de telas como medio de remoción y limpieza y reemplazarlo por una fibra de fácil reciclaje y recuperación de base celulosa. Respecto a la utilización de material, es importante considerar el lay out eficiente de las piezas en las planchas y materias primas a utilizar, velando siempre por la optimización del material para disminuyendo los retazos. El nivel de capacitación y experiencia de los operarios también es importante para minimizar las pérdidas de material por piezas mal mecanizadas.

4.8 Sostenibilidad y cadena de distribución

En este caso, se abordará la problemática desde el punto de vista de los suministros, para mejorar la sostenibilidad se han investigados dos vías principales. La primera opción habla de potenciar la economía local, preferir proveedores locales para con esto no solo disminuir las emisiones de carbono asociadas al producto a manufacturar, sino también potenciar la cooperación con la comunidad cercana al negocio y con esto potenciar mejoras en el ámbito social. Por otra parte, como segunda medida, se propone un cambio desde un sistema de uso de recursos lineal a

circular, en el cual se potencia la re-manufactura y reutilización en que los productos desechados ingresan como materias primas.

4.8.1 Modelo de cadena de distribución circular

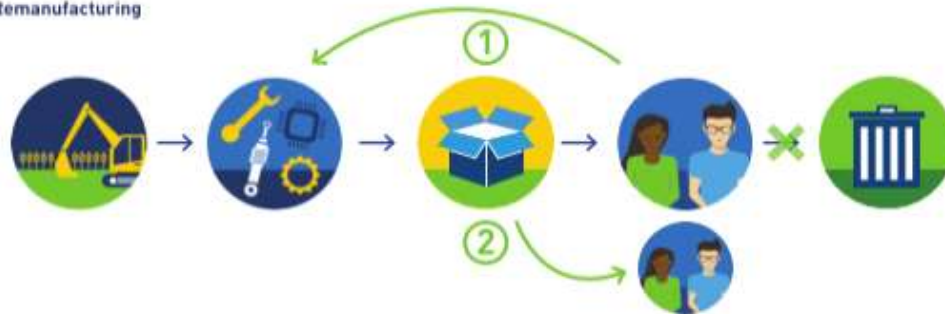
Propuesta “Supply Chain Transformation and Enablement 2012.pdf,” n.d.). La mayoría de las cadenas de valor en manufactura son lineales, comenzando aguas arriba con la extracción de materias primas y terminando con disposición de desechos. Por otra parte, los modelos circulares, buscan preservar al máximo el valor de los productos o materiales hasta el fin de su ciclo de vida y re introducirlos en la cadena de valor. Esto permite importantes ahorros en costos, emisión de carbono y recursos.

Por ejemplo, la re-manufactura - tomar un producto o parte al fin de su ciclo de vida y retornarlo como nuevo o mejorado con garantía- puede ser una opción comercial viable para las compañías que producen ítem de alto valor, se puede ver un diagrama del proceso circular en la imagen adjunta.

Linear supply chain (take-make-waste)



Remanufacturing



Closed loop

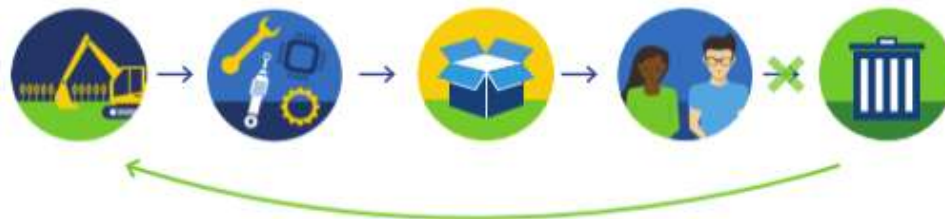


Imagen 4.29 Opciones de cadena de suministros.

El costo de re-manufacturar un producto es generalmente de 40% a 65% más barato que fabricar un producto nuevo. Esto permite que el mercado venda los productos a un menor precio, que típicamente es de un 30% o 40% menor que un producto nuevo. Los beneficios ambientales son igualmente buenos: la re-manufactura, utiliza

usualmente, un 85% menos de energía que la manufactura con los correspondientes ahorros en emisión de carbono.

El modelo de re manufactura, permite a las compañías tener mayores márgenes cuando los productos re manufacturados son vendidos al mismo precio que los productos nuevos, o tener beneficios en segmentos de mercado más sensibles.

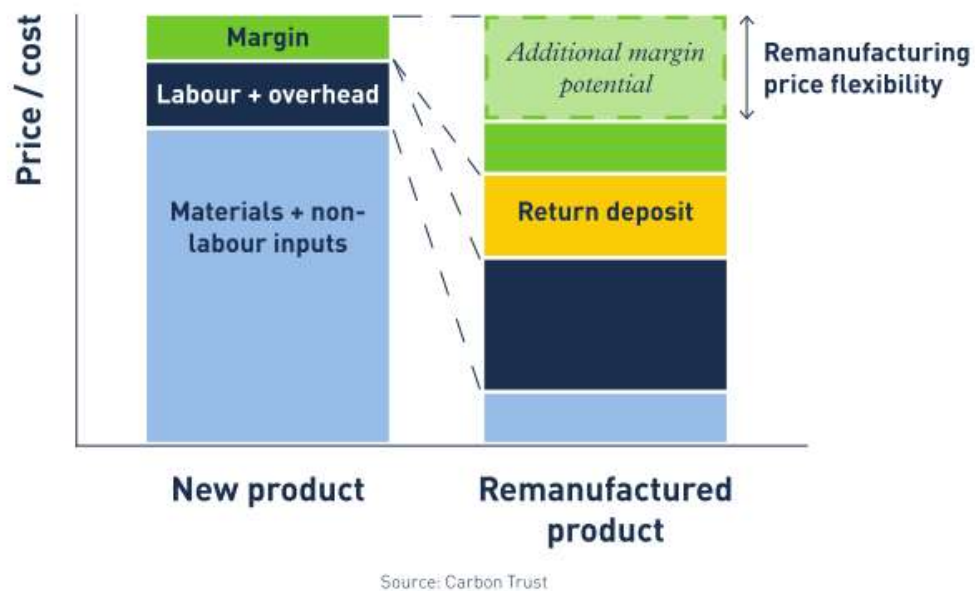


Imagen 4.30 gráfico costo-utilidad de fabricar un producto nuevo v/s re manufactura

5 Propuesta de política de sostenibilidad

5.1 Confección de una política de sostenibilidad

Misión de la Empresa:

Antes de poder implementar una política de sostenibilidad, la empresa debe definir su misión. Esta se refiere a la razón de ser de la empresa y debe describir el rol que la empresa asuma en la sociedad. Esta etapa debe incorporar a todo el conjunto de colaboradores y empleados involucrados de alguna manera con la empresa.

Declaración de principios y situación actual:

En esta etapa, la industria debe determinar cuáles son los principios que muestran el quehacer y gestión sostenible de la empresa. Con esto la organización declara su compromiso en torno a la temática de sostenibilidad (3 pilares) que considere relevante desarrollar en su negocio.

La propuesta de política, debe cumplir con la normativa social, ambiental y económica vigente, fomentar iniciativas de capacitación y trabajo justo al personal y equipo laboral, asegurar una cadena de abastecimiento y proveedores sostenible, incluir un sistema de información y trabajo en conjunto con la comunidad y asegurar la reducción y gestión de desechos, así como el ahorro de agua y energía.

Compromisos y plazos:

Se debe considerar que la siguiente guía propuesta es solo una referencia y por esto, su implementación es opcional, los compromisos que se decidan adquirir y sus plazos quedarán sujetos al criterio de la organización en línea con su misión, visión y principios.

5.2 Propuesta de política de sostenibilidad

5.2.1 Plan de educación de sostenibilidad para todo el personal de la empresa

Integrar el concepto de sostenibilidad desde el principio, se debe capacitar a cada empleado para que tenga una visión completa de los planes de sostenibilidad de la organización, conozca el lenguaje y entienda la misión y visión de la empresa.

Recordatorios constantes, inculcar a los trabajadores las medidas sostenibles que los afecta directamente, por ejemplo, aquellas competentes con el ahorro de agua, energía y papel, esto mediante recordatorios en los espacios comunes como salas de reuniones, casino y baños.

Mostrar el progreso, mantener informados a los miembros de la organización respecto a los resultados de la empresa e involucrarlos en las discusiones sobre sostenibilidad.

Alinear la imagen interna y externa, un buen ejercicio de confianza y transparencia es inculcar a los trabajadores los mismos valores que proyectan hacia el exterior.

Generar incentivos, se puede premiar a los trabajadores para inducir el ahorro de agua y energía y motivarlos a crear nuevas formas de reciclaje y ahorro, además de promover la retroalimentación y la creatividad en términos de sostenibilidad. Los premios pueden ser por ejemplo una comida para un grupo destacado o un día extra de vacaciones, se prefieren incentivos de tipo no monetario.

Hacer que la sostenibilidad sea agradable, si bien la sostenibilidad puede ser un deber en la organización, esto no implica que no sean reconocidos quienes lo practican. Lo más importante es que los miembros de la organización se sientan bien cada vez que aportan con una acción sostenible.

5.2.2 Implementación de la Norma ISO 26000 de responsabilidad social empresarial.

La norma ISO 26000, es una herramienta de Responsabilidad Social (RS) poderosa para ayudar a las organizaciones a pasar de las buenas intenciones a las buenas acciones. La implementación de ISO 26000 puede convertirse en una ventaja competitiva, aumentar la reputación, atraer y retener a trabajadores, clientes y usuarios, mantener la motivación compromiso y productividad de los trabajadores. Mejorar la percepción de los inversionistas propietarios donantes patrocinadores y comunidad financiera. Mejorar la relación con empresas gobiernos, medios de comunicación proveedores, organizaciones pares, clientes y la comunidad donde opera.

Los principios de la RS que una organización debería respetar son: rendición de cuentas, transparencia, comportamiento ético, respeto a los intereses de las partes interesadas, respeto al principio de legalidad, respeto a la normativa internacional de comportamiento, respeto a los ddhh. Existen 7 materias fundamentales de la RS que

una organización debería abordar, estas son: Gobernanza organizacional, derechos humanos, prácticas laborales, medio ambiente, prácticas justas de operación, asuntos de consumidores, y participación activa y desarrollo de la comunidad.

5.2.3 Implementación de la norma ISO 14031 de evaluación de desempeño ambiental.

Esta norma trata de la evaluación del desempeño ambiental (EDA). Es una vía para entender, demostrar y mejorar el desempeño ambiental de una organización, esto se puede alcanzar con una gestión eficaz de los elementos, actividades, productos y servicios que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente. La evaluación del desempeño ambiental es una herramienta y un proceso de gestión interna diseñada para proporcionar continuamente a la dirección información fiable y verificable para determinar si el desempeño ambiental de una organización está cumpliendo con los criterios establecidos por la dirección de dicha organización. Una organización con un sistema de gestión ambiental implementado deberá evaluar su desempeño ambiental respecto a las políticas ambientales, objetivos, metas y otros criterios del desempeño ambiental. Cuando una organización no cuenta con un sistema de desempeño ambiental, este puede ayudar a la organización en: la identificación de sus aspectos ambientales, establecimiento de criterios para su desempeño ambiental y la evaluación del desempeño ambiental frente a estos criterios.

La EDA y las auditorías ambientales, ayudan a una organización a evaluar el estado de su desempeño ambiental, así como identificar las áreas en las que es necesario mejorar, la EDA es un proceso continuo de recopilación y análisis de datos e información para proporcionar una evaluación actualizada del desempeño, así como sus tendencias a través del tiempo en cambio las auditorías ambientales se realizan

periódicamente para verificar la conformidad de los requisitos definidos (ISO 14010, 14011).

5.2.4 Plan de economía circular con proveedores y clientes.

A continuación, se proponen 4 pasos para implementar un plan de economía circular en la organización, estos pasos son: Definir los objetivos y crear un plan de acción, educar y animar a la empresa, innovar y optimizar, y finalmente, comprometer.

Definir los objetivos y crear un plan de acción, el cambio hacia una economía circular requiere planificación. Los miembros claves del equipo y la cabeza de la empresa decidirán qué es lo que se quiere lograr y crearán un mapa de como llegar allí. Se deben responder preguntas como: ¿Cuáles son los valores de la compañía y cómo los viven?, Luego se debe desarrollar una propia definición de economía circular que esté alineada con la ética y los valores de la organización.

Hay que concentrarse en cómo la empresa puede hacer más cosas de mejor forma en vez de reducir las cosas que se hacen mal. Se deben tener presente las energías renovables, los tratamientos del aire, aguas y terrenos, la protección de la biodiversidad, y ayuda a que las personas de la organización tengan una mejor calidad de vida.

Educación y animar a la empresa, es necesario asegurar que todos los integrantes de la organización comprenden los objetivos a conseguir. Cuando todos entienden los principios de la economía circular y están conscientes de cómo esas necesidades afectan a las actividades y operaciones principales, podrán aportar desde distintos puntos de vista y no solo desde el que se ocupa habitualmente.

Innovar y optimizar, el alma del modelo de la economía circular es el poder de los ciclos de la biosfera y la tecnosfera, se deben auditar los procesos de la organización para así tener una mejora inicial. Evaluar la opción de utilizar materiales reciclados y/o que se puedan reciclar. Examinar formas de rediseñar productos para que puedan ser fácilmente desarmados, retirados y reutilizados, por la misma compañía o por terceros. No hay que quedarse en el reciclaje simple, se debe alcanzar el llamado upcycling o supraciclado, donde los materiales pueden ser usados para fabricar otros productos de igual o mejor calidad, una vez tras otra.

Comprometer, se puede partir comprometiendo a los socios, proveedores y clientes respecto a los objetivos y planes de la compañía, ver lo que la empresa puede hacer para ayudarlos a conseguir sus propios compromisos con la sostenibilidad. El líder de la organización debe ser transparente en relación a sus conocimientos y ambiciones. La calidad es esencial en la economía circular, cuando las personas entienden esto, el precio de un producto pasa a un segundo plano. La comunidad es parte vital de la economía circular, utilizar productos de otros, compartir experiencias y desarrollar alianzas, permitirán que sea más fácil tener éxito al momento de implementar o formar parte de un sistema de economía circular.

Optimizar los procesos que permitan recoger información, escuchar a los usuarios y evaluar las variaciones en los resultados. En ese momento se podrán hacer planes sobre cómo realizar las mejoras necesarias en las estrategias y los productos para mejorar.

5.2.5 Informe de sostenibilidad.

Es importante que se mida y declare el nivel de sostenibilidad de la organización, para esto se puede implementar cualquiera de las metodologías propuestas en el

capítulo 3, sean índices verificables o autoevaluaciones con el objetivo de tener una visión equilibrada del desempeño económico, social y ambiental de la industria, esto debe ser presentado en un informe de sostenibilidad.

5.2.6 Implementar Alternativas de producción sostenibles para la industria metal mecánica.

Una vez que se realice la evaluación de sostenibilidad y se tenga un informe de sostenibilidad, se conocerá el real estado de la sostenibilidad de la empresa y con esto los puntos críticos en cada aspecto. Existe ahora una oportunidad de mejora, por lo que se pueden implementar uno o algunos de las alternativas propuestas en el capítulo 5 de esta investigación, con el objetivo de mejorar el estado de la sostenibilidad de la industria.

5.3 Inferir y proyectar el impacto y los resultados de la aplicación de una política de sostenibilidad a la industria nacional.

El banco mundial y el *Institute for health Metrics and Evaluation* (IHME) de la Universidad de Washington, Seattle, presentaron en 2016 el estudio “El costo de la contaminación atmosférica, refuerzo de los argumentos en favor de la acción”. En este estudio se muestra entre otras cosas que la exposición a la contaminación atmosférica eleva el riesgo relativo de las personas de contraer enfermedades como accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón, infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores y neumonía. El aumento del riesgo en la población expuesta se traduce en una mayor porción de muertes todos los años por causa de estas condiciones, fallecimientos que se atribuyen a la contaminación atmosférica.

En 2013, la exposición a la contaminación del aire ambiente y del aire en las viviendas impuso un costo en la economía del mundo de USD 5,11 billones en pérdidas de bienestar. En el caso de Chile el total de muertes provocadas por contaminación atmosférica en 1990 y 2013 fue de 4.756 y 4.309 respectivamente y las pérdidas en bienestar en 1990 y 2011 fueron cuantificadas en 6.031 y 10.855 millones de dólares (4,96% y 2,83% de PIB respectivamente). Dado estas cifras, es relevante pensar en el impacto positivo que podría provocar la implementación de políticas de sostenibilidad en la industria nacional, no solo por la disminución de consumo de energía, el ahorro de agua, mejoras en la eficiencia de los procesos, sino también por las mejoras en la calidad de vida de los habitantes.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo en el que se muestran dos escenarios de la industria, uno con la aplicación de una política sostenible y otro sin. El análisis mostrado en el cuadro es cualitativo, dada la complejidad de cada caso de aplicación, no es posible determinar de manera concreta cuánto será la disminución de emisiones contaminantes, consumo de energía, ahorro en consumo de agua y de materias primas entre otros.

Industria Metal Mecánica Nacional

SIN POLITICA DE SOSTENIBILIDAD

Ambiente de trabajo menos agradable.

Menores incentivos laborales.

Desconocimiento por parte del personal del objetivo de la empresa y los posibles impactos de su negocio.

Dificultad para identificar proceso crítico de administración y de gestión.

Falta de retroalimentación de la comunidad y el personal.

Mayores consumos de energía por equipos ineficientes.

Desconocimiento del estado ambiental de la organización.

Desconocimiento de la opinión e inquietudes de la comunidad cercana a la industria.

Desconocimiento general del estado ambiental y social de la empresa y sus repercusiones en el ámbito económico.

CON POLITICA DE SOSTENIBILIDAD

Mayor motivación laboral.

Mejor ambiente de trabajo.

Conocimiento y compromiso del personal respecto a la misión y visión de la empresa.

Identificación de los procesos críticos del negocio y sus impactos en el factor económico.

Agrega valor al producto y/o servicio de la empresa.

Visión clara del desempeño ambiental, social y económico.

Ahorro en costo de los procesos por disminución en uso de materia prima, consumo de agua y de energía

Mejor relación con la comunidad

Mejores relaciones con proveedores y clientes.

Mayores oportunidades comerciales, apertura a nuevos mercados.

6 Conclusiones

Se define el papel que desempeña la sostenibilidad en la realidad nacional y mundial, entendiendo que es un factor clave para el desarrollo de las naciones, la competitividad de las industrias y el bienestar social. No es posible visualizar el futuro de la humanidad si no es de la mano del desarrollo sostenible.

Uno de los aportes de esta investigación, es el que viene del análisis de las visiones de diferentes actores de la realidad chilena respecto a la sostenibilidad, lo que se ve reflejado en la existencia de interés de la industria del País en implementar sistemas más sostenibles a su producción, lo que genera espacio a la aplicación de la política de sostenibilidad para la industria metalmecánica chilena que se propone.

Se ha identificado barreras a la implementación de sistemas de producción sostenibles y una de ellas es el incremento en los costos de producción. Si es importante destacar que estos costos pueden ser asumidos al evaluar los beneficios que entrega a una organización el implementar una política de sostenibilidad. La posibilidad de ingresar a nuevos mercados, el agregar valor a sus productos y la mayor motivación laboral de sus trabajadores son solo algunas de las ventajas de hacer la industria sostenible.

La creación del consejo de responsabilidad social empresarial para el desarrollo sostenible, el índice bursátil de sostenibilidad nacional y la preocupación por algunas de las principales industrias Chilenas por hacer su producción sostenible nos permite proyectar un buen escenario para el desarrollo del país, en donde las variables social y ambiental son consideradas a la par que el crecimiento económico, lo que permite proyectar un mejor futuro para las generaciones actuales con más oportunidades, mejores valores y menos desigualdad. “En términos amplios, los científicos buscan el entendimiento sistemático del mundo físico. Los ingenieros aplican este

conocimiento para el beneficio práctico de las personas”. Entonces los ingenieros del futuro, deben cuestionar los objetivos de la ingeniería, el tipo de problemas a resolver y el criterio para resolverlo, pero además deben concentrarse en conocer las necesidades humanas vitales, promover la igualdad generacional y fomentar la participación pública en la toma de decisiones acerca de la tecnología y el desarrollo de las naciones.

7 Referencias

Ainger, C., & Fenner, R. (2014). *Sustainable Infrastructure : Principles into Practice*
Cambridge Programme for Sustainability Leadership.
<http://doi.org/10.1680/sipp.57548>

Ingarao, G., Ambrogio, G., Gagliardi, F., & Di Lorenzo, R. (2012). A sustainability point of view on sheet metal forming operations: Material wasting and energy consumption in incremental forming and stamping processes. *Journal of Cleaner Production*, 29-30, 255–268. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.012>

Jayal, a. D., Badurdeen, F., Dillon, O. W., & Jawahir, I. S. (2010). Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3), 144–152. <http://doi.org/10.1016/j.cirpj.2010.03.006>

On, N., Efficiency, P., & Welding, I. N. (2008). Prepared by Select Committee “Environment ,” 52, 67–70.

Supply Chain Transformation and Enablement 2012.pdf. (n.d.).

8 Anexos

8.1 Metas de los ODS considerados.

Metas del objetivo 8:

- Mantener el crecimiento económico per cápita de conformidad con las circunstancias nacionales y, en particular, un crecimiento del producto interno bruto de al menos un 7% anual en los países menos adelantados.
- Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrandó la atención en sectores de mayor valor añadido y uso intensivo de mano de obra.
- Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de empleo decente, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y alentar la oficialización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, entre otras cosas mediante el acceso a servicios financieros.
- Mejorar progresivamente, para 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, de conformidad con el marco decenal de programas sobre modalidades sostenibles de consumo y producción, empezando por los países desarrollados.
- Para 2030, lograr el empleo pleno y productivo y garantizar un trabajo decente para todos los hombres y mujeres, incluidos los jóvenes y las

personas con discapacidad, y la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor.

- Para 2020, reducir sustancialmente la proporción de jóvenes que no están empleados y no cursan estudios ni reciben capacitación.
- Adoptar medidas inmediatas y eficaces para erradicar el trabajo forzoso, poner fin a las formas modernas de esclavitud y la trata de seres humanos y asegurar la prohibición y eliminación de las peores formas de trabajo infantil, incluidos el reclutamiento y la utilización de niños soldados, y, a más tardar en 2025, poner fin al trabajo infantil en todas sus formas.
- Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y protegido para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes y las personas con empleos precarios.
- Para 2030, elaborar y poner en práctica políticas encaminadas a promover un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales.
- Fortalecer la capacidad de las instituciones financieras nacionales para alentar y ampliar el acceso a los servicios bancarios, financieros y de seguros para todos.
- Aumentar el apoyo a la iniciativa de ayuda para el comercio en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, incluso en el contexto del Marco Integrado Mejorado de Asistencia Técnica Relacionada con el Comercio para los Países Menos Adelantados.
- Para 2020, desarrollar y poner en marcha una estrategia mundial para el empleo de los jóvenes y aplicar el Pacto Mundial para el Empleo de la Organización Internacional del Trabajo.

Metas del objetivo 9:

- Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, con especial hincapié en el acceso equitativo y asequible para todos.
- Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, a más tardar en 2030, aumentar de manera significativa la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados.
- Aumentar el acceso de las pequeñas empresas industriales y otras empresas, en particular en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluido el acceso a créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados.
- Para 2030, mejorar la infraestructura y reajustar las industrias para que sean sostenibles, usando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países adopten medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.
- Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando sustancialmente el número de personas que trabajan en el campo de la investigación y el desarrollo por cada millón de personas, así como aumentando los gastos en investigación y desarrollo de los sectores público y privado para 2030.
- Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo con un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los

países de África, los países menos adelantados, los países en desarrollo sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo.

- Apoyar el desarrollo de tecnologías nacionales, la investigación y la innovación en los países en desarrollo, en particular garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.
- Aumentar de forma significativa el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por facilitar el acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados a más tardar en 2020.

Metas del objetivo 11:

- Para 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.
- Para 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación vulnerable, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.
- Para 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para una planificación y gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.
- Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
- Para 2030, reducir de forma significativa el número de muertes y de personas afectadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y reducir sustancialmente las pérdidas económicas directas vinculadas al producto

interno bruto mundial causadas por los desastres, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones vulnerables.

- Para 2030, reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
- Para 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.
- Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales mediante el fortalecimiento de la planificación del desarrollo nacional y regional.
- Para 2020, aumentar sustancialmente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan y ponen en marcha políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.
- Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante la asistencia financiera y técnica, para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.

Las Metas del Objetivo 12 son:

- Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el

liderazgo de los países desarrollados, teniendo en cuenta el grado de desarrollo y las capacidades de los países en desarrollo.

- Para 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
- Para 2030, reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per capita en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y distribución, incluidas las pérdidas posteriores a las cosechas.
- Para 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir de manera significativa su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de reducir al mínimo sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.
- Para 2030, disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización.
- Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.
- Promover prácticas de contratación pública que sean sostenibles, de conformidad con las políticas y prioridades nacionales.
- Para 2030, velar por que las personas de todo el mundo tengan información y conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza.
- Apoyar a los países en desarrollo en el fortalecimiento de su capacidad científica y tecnológica a fin de avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles.

- Elaborar y aplicar instrumentos que permitan seguir de cerca los efectos en el desarrollo sostenible con miras a lograr un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales.
- Racionalizar los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles que alientan el consumo antieconómico mediante la eliminación de las distorsiones del mercado, de acuerdo con las circunstancias nacionales, incluso mediante la reestructuración de los sistemas tributarios y la eliminación gradual de los subsidios perjudiciales, cuando existan, para que se ponga de manifiesto su impacto ambiental, teniendo plenamente en cuenta las necesidades y condiciones particulares de los países en desarrollo y reduciendo al mínimo los posibles efectos adversos en su desarrollo, de manera que se proteja a los pobres y las comunidades afectadas.

La Metas del Objetivo 13 son:

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.
- Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
- Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional en relación con la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.
- Poner en práctica el compromiso contraído por los países desarrollados que son parte en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático con el objetivo de movilizar conjuntamente 100 000 millones de dólares anuales para el año 2020, procedentes de todas las fuentes, a fin de atender a las necesidades de los países en desarrollo, en el contexto de una labor significativa de mitigación y de una aplicación transparente, y poner en

pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible.

- Promover mecanismos para aumentar la capacidad de planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, centrándose en particular en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.