

Guía para una producción sustentable

Sector metalmecánico

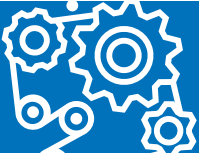
La redacción de esta guía fue realizada por ADIMRA para la Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable. La Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina nació en 1904, siendo la entidad que representa y promueve a un sector clave para el desarrollo nacional, con 59 cámaras activas sectoriales y regionales que hoy reúnen a unas 24.000 empresas en todo el país. ADIMRA orienta el esfuerzo conjunto a favor del federalismo, la industria nacional y la integración entre gremios y empresarios. Además, interactúa con diversas entidades públicas y privadas; capacita y actualiza al personal de sus empresas asociadas y promueve la actualización tecnológica para proveer mejores maquinarias, equipos, componentes e insumos a otras áreas productivas.



Introducción

1. Caracterización del sector	8
2. Descripción de los principales procesos y sus aspectos ambientales	13
2.1. Descripción de los procesos y sus características	14
2.2. Aspectos ambientales significativos de la actividad	20
3. Producción sustentable en el sector de metalmecánica	23
3.1. Principales enfoques y estrategias de producción sustentable	25
3.2. Buenas prácticas para una producción sustentable	30
3.2.1. Gestión de fluidos de corte	30
3.2.2. Variables a considerar para reducir el consumo energético	35
3.2.3. Reducción del consumo de agua en instalaciones	37
3.2.4. Gestión de virutas	38
3.2.5. Manipulación y almacenamiento de insumos y materias primas	42
3.3. Sustitución de materias primas o insumos	45
3.4. Gestión eficiente de residuos	46
4. Opciones de mejoras en procesos	50
4.1. Benchmarking en el sector	51
4.2. Mejores técnicas detectadas	53
Ingeniería Inversa. Simulación. Impresión 3D	53
4.3. Modificación de procesos	55
Alternativas en mecanizado y en desengrase	58
5. Resumen de las medidas de producción sustentable	59
5.1. Mecanizado con arranque de viruta	60
5.2. Deformación sin arranque de viruta	62
5.3. Desengrase de piezas	63
5.4. Soldadura por gas o por arco	64
5.5. Corte	65

6. Anexo A: casos de aplicación	66
CASO I: Análisis de ciclo de vida en la fabricación de válvulas para calefones	67
CASO II: Aspectos metodológicos para definición de una política ambiental, y esquema de un programa ambiental en una tornería	70
CASO III: Eficiencia energética. Control de la potencia contratada y del factor de potencia	74
CASO IV: Reutilización de agua y sistema de captación de agua de lluvia.	77
CASO V: Simulación en corte por cizalla y forja.	81
CASO VI: Impresión 3D.	82
CASO VII: Reducción de generación de barro y de agua en el desengrase de piezas.	83
7. Anexo B: listas de verificación	86
8. Anexo C: adecuada configuración de planta	90
9. Anexo D: aditivos presentes en los fluidos de corte y sus funciones	93
Glosario	
Referencia	



Introducción

En las últimas décadas la necesidad de incluir los aspectos ambientales en los procesos, así como en el diseño de los productos se ha convertido en un tema prioritario.

La velocidad con la que se generan residuos y se acumulan, así como el consumo desmedido de materias primas e insumos, ha puesto en agenda la necesidad de comenzar a entender la sustentabilidad como un pilar central de cualquier actividad que se desarrolle.

La sustentabilidad involucra aspectos sociales, económicos y ambientales que pueden integrarse a la estrategia de la industria en forma planificada y paulatina e inscribirse en la metodología de la mejora continua, con un abordaje preventivo, de optimización del uso de los recursos, de minimización del impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida de las piezas y los productos que se desarrollan desde el sector metalmecánico.

El objetivo de esta guía es el de acercar herramientas y estrategias para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) del sector metalmecánico, con vistas a promover mejoras en su desempeño ambiental y productivo desde un enfoque sustentable.

1.

Caracterización del sector

La industria metalmecánica comprende un conjunto heterogéneo de actividades manufactureras que, en mayor o menor medida, utilizan entre sus insumos principales productos de la siderurgia y metales no ferrosos a lo largo de toda la cadena productiva, al mismo tiempo que engloba la producción de un amplio abanico de bienes que resultan claves para el desarrollo del resto de las actividades económicas. En este sentido, se trata de una actividad que forma parte de diversas cadenas de valor y sectores productivos, proveyendo insumos y bienes finales destinados a la producción, el consumo y la inversión.

En la esfera internacional, el comercio de productos metalmecánicos supera los 11 billones de dólares anuales, representando más del 30 % del total mundial¹, en base a las estadísticas de UNCTAD². En este sentido, las economías exportadoras más importantes son China, los países de la Unión Europea (más de un 50 % de las exportaciones del bloque se concentran en Alemania, Francia, Italia y Países Bajos), los países de NAFTA (con Estados Unidos liderando el bloque), Corea y Japón. En el ámbito regional, los países con mayor influencia en el comercio global metalmecánico son México y Brasil.

En Argentina la industria metalmecánica reúne más de 24.000 establecimientos productivos distribuidos principalmente entre Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Mendoza, Entre Ríos y San Luis. Las primeras tres provincias concentran el 90 % del universo de firmas metalmecánicas. Casi en su totalidad se trata de pequeñas y medianas empresas de capital nacional (88 %). Dentro de este conjunto, predominan las empresas de hasta nueve ocupados en promedio, con un rol destacado en los procesos de agregación de las economías regionales. Sin embargo, también operan en el sector empresas de una envergadura considerable, con más de 50 empleados.

Con respecto a la distribución de las empresas del sector, en cada sub-sector³, casi el 70 % de los establecimientos productivos se concentran en la fabricación de productos elaborados de metal, productos metálicos para uso estructural y otros productos, fabricación de partes, piezas, accesorios para vehículos automotores, motores y carrocerías y producción de maquinaria y equipos de uso general.

SUB-SECTOR	PORCENTAJE DE EMPRESAS POR SUB-SECTOR	PORCENTAJE DE EMPLEO POR SUB-SECTOR
Productos elaborados de metal	28,90%	19,20%
Productos metálicos para uso estructural y otros productos	18,80%	18,60%
Autopartes, carrocerías	9,80%	12,90%
Maquinaria y equipos de uso general	9,60%	11,60%
Aparatos eléctricos	7,00%	8,30%
Servicios de trabajo de metales y tratamiento y revestimiento	5,50%	6,80%
Maquinaria de uso especial	4,30%	4,60%
Instrumentos médicos, ópticos y de precisión	3,70%	4,30%
Maquinaria agropecuaria	3,30%	3,70%
Aparatos de uso doméstico	3,20%	3,40%
Fundición de hierro, acero y metales no ferrosos	2,80%	3,40%
Otros equipos de transporte	2,60%	3,00%
Tubos, válvulas y otros componentes electrónicos	0,40%	0,30%
Total	100%	100%

La industria metalmecánica representa casi el 20% del empleo industrial, implicando más de 300.000 ocupados en forma directa. Esto la convierte en la segunda industria más generadora de empleo después del sector de alimentos y bebidas. Asimismo, se caracteriza por contar con alta presencia de recursos humanos calificados (en cargos medios más de la mitad son ingenieros, técnicos u operarios calificados).

Tabla 1 - Distribución de empresas de la industria metalmecánica y del empleo - Año 2016⁴. La metalmecánica representa casi el 20 % del empleo industrial, implicando más de 300.000 ocupados en forma directa. Esto la convierte en la segunda industria más generadora de empleo después del sector de alimentos y bebidas. Asimismo, se caracteriza por contar con alta presencia de recursos humanos calificados (en cargos medios más de la mitad son ingenieros, técnicos u operarios calificados).

¹ La Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina (ADIMRA), estima un 35,2 % para el año 2017.

² United Nations, Conference on Trade and Development.

³ Rama o ámbito dentro del sector metalmecánico.

Cadena de valor de la industria metalmecánica

Las primeras etapas de la producción metalmecánica generalmente se inician con el agregado de valor a insumos provenientes de la industria siderúrgica y de metales no ferrosos, aun cuando a lo largo de toda la cadena también se incorporan insumos y productos terminados de otros rubros. Posteriormente, el proceso de transformación de los metales básicos puede implicar una o múltiples etapas según el grado de complejidad y valor agregado total. Los procesos básicos más comunes son la fundición, la forja, el trefilado, el extruido y el laminado en frío o caliente.

Tras la primera etapa de la cadena de valor metalmecánica resultan los “primeros” productos terminados para consumo final (herramientas, cuchillería, envases, menaje, etc.), construcción e infraestructura (tubos, perfilería de obra, herrería, bronce, etc.) y también para uso industrial, por ejemplo, moldes y matrices. Asimismo, en esta etapa se sientan las bases articuladoras que integran todos los eslabonamientos metalmecánicos “aguas arriba”. El proceso resulta en la fabricación de partes y piezas de diversa complejidad, variedad y contenidos tecnológicos que suelen implicar algún proceso de mecanizado (fresado, torneado, perforado, etc.). De esta etapa posterior resultan las partes y piezas metalmecánicas como las válvulas y cilindros, rodamientos, engranajes, elementos mecánicos, etc.

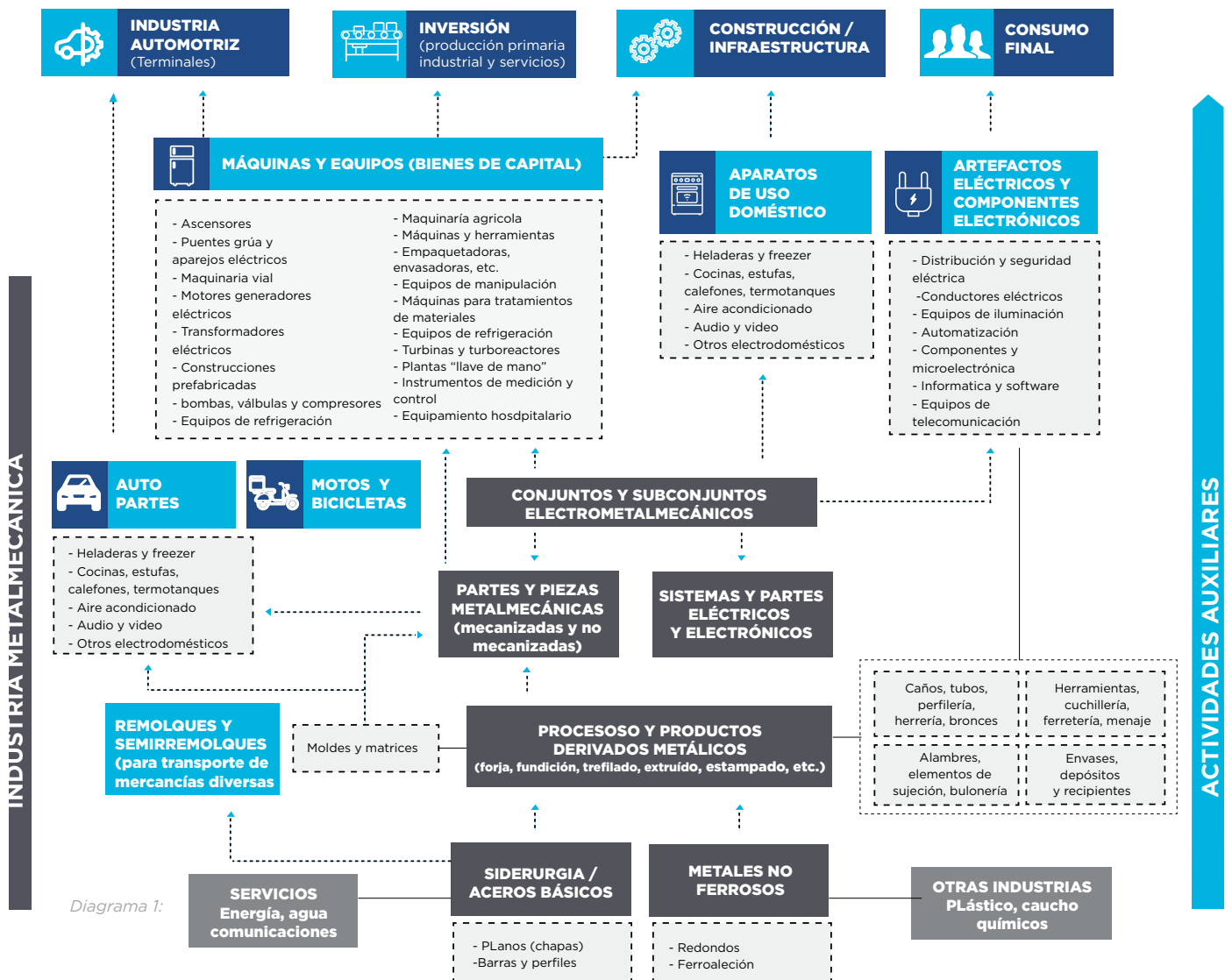
También corresponde a esta etapa la fabricación de componentes eléctricos y electrónicos. Éstos son provistos directamente a los eslabones más avanzados de la cadena, o bien, previamente, forman parte de algún tipo de ensamblaje electro-metalmecánico (transformadores, sistemas hidráulicos y neumáticos, motores, componentes electrónicos de automatización, módulos mecánicos o eléctricos, etc.). La industria autopartista está enmarcada en este eslabón.

Por último, las etapas finales de la industria metalmecánica están compuestas por los procesos de soldadura, pintura, armado, integración de componentes, ensamblado y embalaje de los rubros de máquinas y equipos (bienes de capital), aparatos de uso doméstico y artefactos eléctricos y electrónicos de diversa complejidad. La oferta de productos que componen estos rubros es heterogénea y diferenciada. También este eslabón de la cadena es el que tiene más relación con el usuario final, brindando servicios de post-venta, realizando la puesta en marcha de los bienes, su mantenimiento y reparación.

Muchas veces las empresas tienden a integrar todo el proceso metalmecánico al interior de sus fábricas, desde la fabricación de partes y piezas hasta su ensamblado final. Es así que conviven empresas altamente especializadas en todos los eslabones, con otras que integran solo aquellas etapas que consideran esenciales para el desarrollo de sus negocios.

Cualquiera sea el caso, a lo largo de toda la producción metalmecánica se observan actividades auxiliares que implican procesos de elevada complejidad, incluyendo tareas claves como la investigación y el desarrollo de productos y procesos, el cumplimiento de normas de calidad, la definición y diseño de modelos en base a requerimientos específicos, entre otros.

El siguiente esquema integra las distintas etapas de la cadena de valor mencionada anteriormente:



Esquema de procesos básicos de la industria

La diversidad de productos, accesorios, bienes de capital que constituyen todo el espectro del sector metalmeccánico presenta una amplia gama de procesos difícil de abarcar en su totalidad. Dichos procesos son variables e intercambiables dependiendo de la secuencia necesaria para el desarrollo de cada pieza, del tipo de materia prima, maquinarias y herramientas utilizadas. El siguiente diagrama esquematiza los procesos básicos:

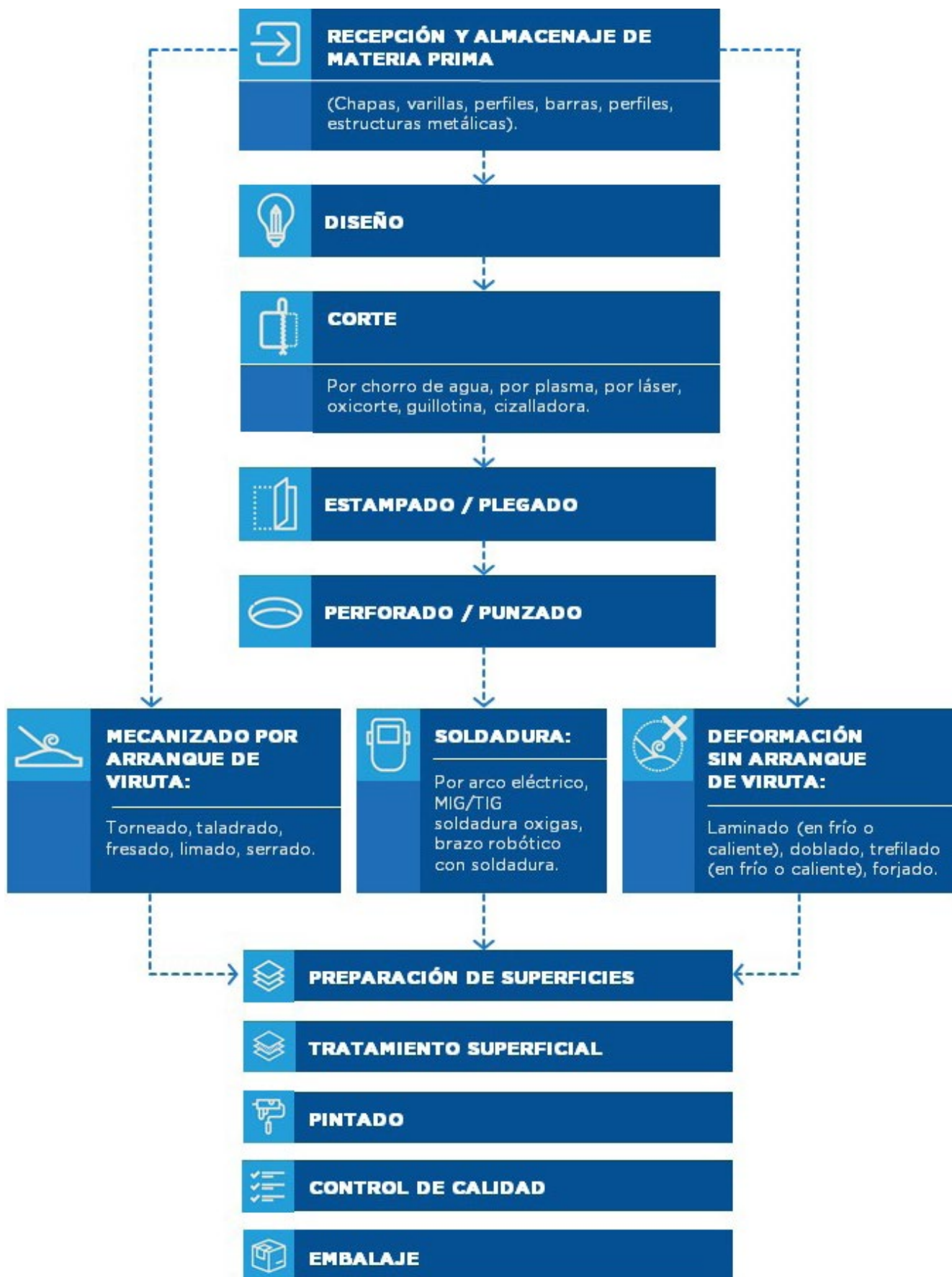


Diagrama 2: procesos básicos de la industria metalmeccánica. (Fuente: ADIMRA).

⁵ Nota: si bien el control de calidad se ubica como un proceso previo al embalaje, sería recomendable implementarlo en cada uno de los procesos descritos.

2.

Descripción de los principales procesos y sus aspectos ambientales

Se conceptualizan a continuación ventajas y desventajas de los procesos más comunes en el sector metalmecánico, identificando mediante cuadros de entradas y salidas, los principales aspectos ambientales de los procesos descriptos.

2.1 Descripción de los procesos y sus características.

Corte

Las operaciones de corte de chapas, perfiles, entre otros, se pueden ejecutar por medios mecánicos o bien utilizando tecnologías de plasma, láser, chorro de agua u oxicorte. La selección de la tecnología dependerá del material a cortar, la calidad de corte deseada, los costos, entre otros factores.



Imagen 1: corte por plasma. (Fuente: ADIMRA).

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Corte		
Corte por chorro de agua	A diferencia de los cortes por plasma o láser, este método no utiliza calor, evitando alteraciones térmicas y tensiones residuales en el material.	Requiere implementar un sistema de remoción de los barros y líquidos generados, gestionar su tratamiento y disposición final.
	No funde el área, sino que produce una erosión que logra la ruptura. La merma de materiales es mínima y la materia prima se aprovecha de manera óptima.	El corte de piezas requiere el uso de abrasivos.
	Permite cortar una gran variedad de materiales metálicos (acero al carbono, inoxidable, titanio, aluminio, etc.) y no metálicos, de grandes espesores.	Las presiones de corte pueden alcanzar entre 3700-6000 atm, lo que representa un alto consumo de energía.
	Permite elaborar una infinidad de formas de corte. Su terminación, en muchos casos, no requiere de mecanizados posteriores.	
Corte por plasma	Utilizado para cortar materiales tales como el acero al carbono, aceros de alta aleación, inoxidables, aluminio, cobre, entre otros.	Produce humos, gases y radiación.
	Ofrece una relación costo-beneficio superior al oxicorte, al tener una velocidad de corte mayor y de mejor calidad de corte.	Utiliza consumibles tales como: aire comprimido, nitrógeno, oxígeno o argón/ hidrógeno.
	Queda menos escoria en el metal cortado (reduciendo desperdicio de material), sin necesidad de operaciones secundarias para eliminar rebabas.	La presencia de óxidos o escamas en la superficie metálica generan escoria.
	La zona afectada por el calor es más pequeña, reduciendo así la posibilidad de deformación del metal.	
	No requiere precalentamiento.	
Corte por láser	El proceso es flexible, fácil de automatizar, ofrece altas velocidades de corte con excelente precisión y calidad en los acabados.	Los costos de los equipos son elevados.
	Tiene capacidad de cortar metales con gran nivel de detalle, diseños complejos o pequeños con curvas pronunciadas, esquinas con ángulos cerrados, orificios diminutos.	Generalmente no se utiliza en piezas de espesores mayores a 20 mm.
	Genera muy poco ruido.	Requiere helio de alta calidad.
	Permite mantener un espacio de trabajo limpio.	
Oxicorte	Es muy utilizado para el corte de chapas, barras de acero al carbono de baja aleación, para el corte manual de acero de gran espesor y de otros metales férricos.	No es aplicable a metales que no reaccionan a la presencia del oxígeno, como el cobre, el latón, el aluminio o el inoxidable.
	Esta técnica se utiliza en una gran variedad de aplicaciones industriales. Es excelente para el rango medio y alto de espesores.	Se debe verificar periódicamente el equipamiento para impedir fugas de gases que pueden generar una atmósfera inflamable.
	Puede moverse a cualquier lugar y no depende de energía eléctrica, solo se deben tener las herramientas necesarias como los sopletes, mangueras y utensilios de seguridad.	Una amplia zona del metal es afectada por el calor, causando cambios estructurales, haciéndolo más frágil.
Corte por guillotina o cizalladora	Requieren menor mantenimiento que los equipos de cortes térmicos.	Mayor dificultad para optimizar el corte de la materia prima y reducir al mínimo los descartes de material generados.
	La presión con la cual se realiza el corte puede ser regulable de acuerdo al uso que se le dé.	Es aplicable a pequeños espesores de corte y posee menor precisión que los cortes térmicos.

Tabla 2: alternativas del proceso; ventajas y desventajas.

A continuación, se detallan principales aspectos ambientales de los distintos procesos de corte, señalando con color verde los “más favorables” y con color rojo los “menos favorables”.

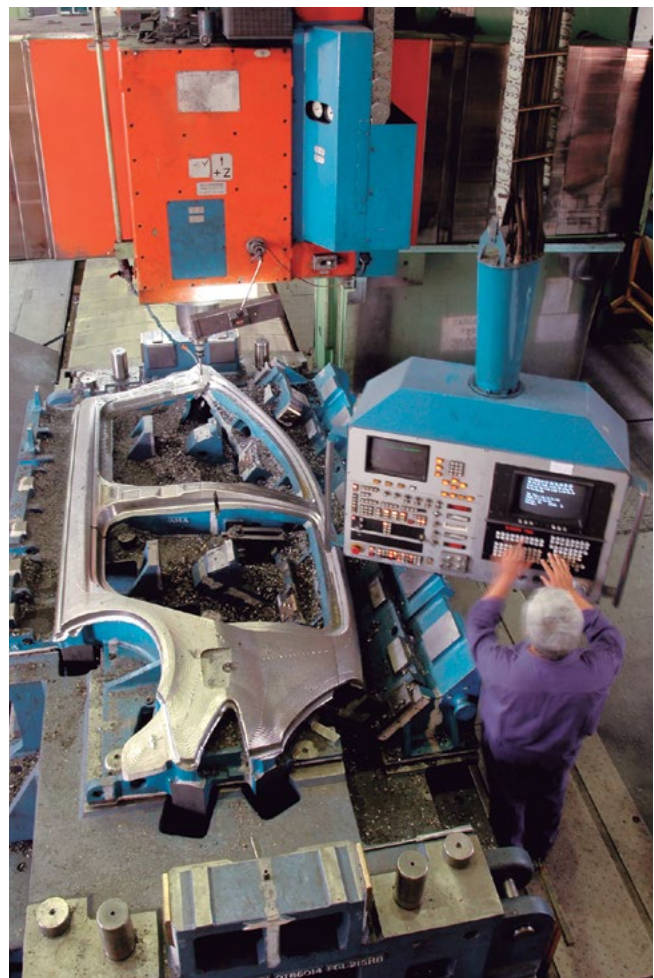
ASPECTO AMBIENTAL	CORTE POR CHORRO DE AGUA	CORTE POR PLASMA	CORTE POR LÁSER	CORTE POR GUILLOTINA	OXICORTE
Generación de recortes metálicos					
Consumo de gas					
Consumo de energía eléctrica					
Consumo de agua					
Emisiones de gases					
Generación de escoria					
Generación de ruido					
Emisiones de partículas					
Posible uso de químicos/abrasivos					

Tabla 3: aspectos ambientales de procesos de corte.

Mecanizado por arranque de viruta

El mecanizado es un proceso de transformación basado en la modificación de la estructura física de una pieza metálica hasta alcanzar las especificaciones geométricas definidas. En el mecanizado por arranque de viruta se realiza un desbaste en la pieza metálica modificando la geometría mecánicamente, retirando el excedente metálico en forma de viruta con lo que se produce una reducción del peso de partida. Los equipos más utilizados para este trabajo, en el sector metalmeccánico, son los tornos, los taladros, las fresadoras, entre otras.

Imagen 2: fresado por control numérico. (Fuente: ADIMRA).



PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mecanizado con arranque de viruta		
Consideraciones generales	Se obtienen acabados de alta precisión.	Genera desperdicio de material.
	Se puede realizar una amplia variedad de formas.	Operaciones de alto costo en relación a otros procesos de fabricación.
	Requiere poco tiempo de preparación.	Utiliza fluido de cortes y aditivos especialmente para lubricar y refrigerar las piezas a mecanizar.
	La cantidad de herramientas es ilimitada y es fácil de automatizar.	
Torneado	Alta precisión y buen acabado superficial. Permiten mecanizar piezas más complejas.	Queda limitado a geometrías de revolución.
	Mayor facilidad para la recupero de virutas.	Proceso de alto costo.
	Es aplicable a diferentes materiales. Se puede cambiar fácilmente de mecanizar una pieza a otra.	Limitaciones en materiales muy duros.
	Se requiere menos energía y fuerza que en otros procesos.	La mayor parte de los defectos que se producen son imprecisiones en la superficie, como puede ser la rugosidad.
	Aplicado a piezas de diversos tamaños y producciones (desde piezas unitarias hasta largas series).	
Fresado	Gran variedad de materiales compatibles con este proceso.	Es necesario mantener un gran volumen de producción a fin de lograr una mayor eficiencia de la capacidad instalada.
	Puede conseguir tolerancias muy pequeñas.	La complejidad y características de la pieza son limitadas.
	Es un proceso rápido con muy bajos tiempos de ejecución. Un operario puede operar varias máquinas a la vez.	Para conseguir la pieza deseada se pueden necesitar varias operaciones, herramientas y máquinas.
	Mayor precisión, flexibilidad en la producción de formas y mejor calidad de productos.	El equipamiento necesario para llevar a cabo este proceso presenta un alto costo.
Taladrado	Operación rápida. Precisión y acabado superficial mejorados en comparación con la fundición.	Solo se limita a formar agujeros.
	Se puede emplear en una gran cantidad de materiales.	El acabado de las perforaciones a veces no es suficiente, y se suele complementar con procesos de esmerilado, pulido, rectificado o bruñido.

Tabla 4: alternativas del proceso de mecanizado con arranque de viruta; ventajas y desventajas.

Soldadura

Se utiliza para realizar el ensamble de las piezas metálicas y dar forma al producto final. Se pueden utilizar distintos tipos de soldadura: por arco, a gas, por láser, entre otros.

Imagen 3: soldadura MIG. (Fuente: ADIMRA).



PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Soldadura		
Soldadura TIG (del inglés, tungsten inert gas)	Ampliamente utilizado en soldaduras de aluminio y acero inoxidable. Puede realizarse con o sin aporte de material.	Requiere del gas inerte para generar una atmósfera protectora.
	Menor generación de proyecciones.	
	Menor potencia calorífica, con menor probabilidad de deformaciones del metal, es conveniente para chapas finas.	
Soldadura MIG (del inglés, metal inert gas)	Excelente terminación y velocidad de producción.	Requiere del gas inerte para generar una atmósfera protectora.
	Mayor potencia calorífica, es conveniente para soldar chapas gruesas.	
	No produce escoria.	
Soldadura sumergida	El electrodo es un alambre consumible que se alimenta en forma automática y funde en la soldadura	Requiere del fundente granular para generar la atmósfera protectora.
	Apropiado para la soldadura de grandes piezas.	
Soldadura de electrodo revestido	Gran versatilidad, simpleza y economía.	Requiere remover la escoria, la terminación no es buena, no se recomienda en chapas de poco espesor.
Soldadura oxiacetilénica	La soldadura se produce a alta temperatura.	Requiere de precaución la manipulación de los gases (oxígeno y acetileno).
Soldadura por láser	Calentamiento muy localizado por acción de la radiación láser.	Limitaciones de aplicación por alto costo y complicaciones tecnológicas.
Soldadura por fricción	Aplicable a metales de relativamente bajo punto de fusión, fundamentalmente aluminio.	Calentamiento muy localizado por fricción de una herramienta rotativa. No utiliza gases durante el proceso de soldadura.

Tabla 5: alternativas del proceso de soldadura; ventajas y desventajas.

Deformación sin arranque de viruta

La deformación o conformación sin arranque de viruta se basa exclusivamente en la deformación plástica de la pieza mediante la aplicación de fuerzas que no modifican el peso de la misma durante el proceso.

Entre los procesos más comunes se encuentran el laminado, trefilado, doblado, forja, entre otros.

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Deformación sin arranque de viruta		
Laminado (en frío y caliente)	El laminado en frío provee mejor precisión, menores tolerancias, mejor acabado superficial, mayor dureza de las partes.	El laminado en frío del acero suele ser más caro que el laminado en caliente, al suponer un paso más en el proceso, potenciar sus propiedades mecánicas y permitir un mayor control sobre el resultado final.
	En el laminado en frío continuo permite instalar varios sistemas de emulsión independientes.	
	Una pieza de acero laminada en frío tiene una superficie lisa, de tacto grasiento y bordes afilados.	Una pieza de acero laminada en caliente tiene una superficie áspera, sin tacto grasiento y bordes redondeados.
	El laminado en caliente permite una gran variedad de formas y de piezas. Se utiliza para fabricar piezas grandes sin tener que preocuparse por la integridad del material.	El laminado en caliente no es adecuado para usos en los que se requieren formas precisas y tolerancias bajas.
	El laminado en frío aumenta la resistencia y dureza del acero.	El laminado en frío disminuye la ductilidad del acero (es decir, su capacidad de deformarse plásticamente sin romperse), por eso es necesario someterlo a un proceso de recocido.
	En el laminado en continuo se usan trenes multicaja tipo tándem, ya que su capacidad de producción es mayor.	En el laminado discontinuo, es necesario volver a introducir la banda en el laminador en cada pasada (para aceros al carbono).
Trefilado en frío (húmedo o seco)	El trefilado en frío provee buena calidad superficial, precisión dimensional, aumento de resistencia y dureza, y la posibilidad de producir secciones muy finas.	El trefilado en seco requiere mayor fricción que el trefilado húmedo.
	Se utiliza trefilado húmedo para lograr diámetros pequeños, por la buena ductibilidad alcanzada.	En el trefilado seco, el jabón en polvo requiere mayor frecuencia de recambio que el lubricante utilizado en el trefilado húmedo.
	En el trefilado húmedo se disminuye la presión del lubricante, de modo que se obtiene una reducción gradual por paso permitiendo una buena ductibilidad y calidad superficial final del alambre.	En el trefilado seco, debido a la mayor disminución de sección por paso se logra un rápido aumento a la resistencia de tracción, pero la ductilidad final no es buena.

Tabla 6: alternativas del proceso de deformación sin arranque de viruta; ventajas y desventajas.

Desengrase

El desengrase de las superficies metálicas consiste, básicamente, en una operación de limpieza de las mismas. Tiene por objeto la eliminación de grasas y aceites que pueda presentar el metal en su superficie procedente de procesos de mecanizado, laminado, entre otros.

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Desengrase		
Químico ácido (tratamiento con disolventes como el: tricloroetano, tricloroetileno, percloroetileno, cloruro de metileno, etc.).	En el desengrase con disolventes, éstos son utilizados tanto en fase vapor como en frío.	Se generan efluentes líquidos del proceso.
	La temperatura de trabajo de los baños de desengrase ácido suele ser entre 20 y 40° C.	Forman emulsiones de aceite estables, impidiendo la separación de aceites y grasas para su eliminación periódica del baño.
		Para estos baños no son adecuadas las instalaciones de ultrafiltración, ya que los agentes tensoactivos utilizados, se separan junto con los aceites y grasas emulsionados, disminuyendo así la calidad del baño, por lo que la instalación no sería rentable.
		Es recomendable realizar un lavado tras el desengrase ácido, ya que de esta forma se minimiza el arrastre de sustancias orgánicas al siguiente tratamiento.
	Se requiere un control y mantenimiento de los baños de desengrase.	
Químico alcalino (tratamiento con detergentes - hidróxido de sodio, carbonato sódico, metasilicato sódico, etc - o por electrólisis en solución alcalina).	El proceso de desengrase más común y efectivo es utilizando una solución alcalina. Se distinguen desengrases alcalinos de alta temperatura (alrededor de 85° C) y los de baja temperatura (a partir de 40° C).	Se generan efluentes líquidos del proceso.
	Los baños de desengrase alcalinos pueden ajustarse para que se formen emulsiones menos estables; permitiendo la separación de los aceites y grasas mediante dispositivos especiales, prolongando la vida del baño.	Se requiere un control y mantenimiento de los baños de desengrase.
	En este caso es factible la utilización de instalaciones de ultrafiltración.	
Limpieza manual con estopas	No se requiere inversión en equipamiento.	Requiere de mayor tiempo para la limpieza.
	No se generan efluentes líquidos del proceso.	Dependiendo del diseño de la pieza, algunas tienen orificios pequeños donde no se puede acceder con los paños de limpieza.

Tabla 7: ventajas y desventajas del proceso de desengrase.

2.2 Aspectos ambientales significativos de la actividad

Como toda actividad industrial, la metalmecánica presenta actividades con incidencia en el ambiente. En la identificación de cada uno de los posibles aspectos ambientales, debe contemplarse:

1. Incidencias ambientales en condiciones de operación normal.
2. Incidencias ambientales en condiciones de operación anormal (por ejemplo: paradas de planta).
3. Posibles emergencias: fugas, emisiones tóxicas, incendios, catástrofes naturales.
4. Implementación de cambios, innovaciones, planificaciones, cambios de materia prima, modificaciones en el procedimiento.
5. Ciclo de vida del producto.

A continuación, se expondrán los principales aspectos ambientales presentes, en condiciones normales de operación, en algunos de los procesos de la actividad, analizando las entradas y salidas en cada caso.

ENTRADAS	MECANIZADO	
	CON ARRANQUE DE VIRUTA	
Aceite hidráulico		Emisiones atmosféricas (vapores y nieblas de aceite). Aceite hidráulico agotado. Residuos de envases.
Fluido de corte	· Fresado	Fluido de corte agotado. Vapores y nieblas de fluido. Fugas, salpicaduras y arrastres. Residuos de envases.
Agua (para los sistemas de refrigeración de las máquinas y para limpieza de las instalaciones)	· Taladrado	Aguas residuales.
Filtros		Residuos de filtros usados.
Metales	· Torneado · Rectificado	Piezas metálicas mecanizadas Piezas metálicas defectuosas/ dañadas. Virutas metálicas. Partículas metálicas (material particulado). Lodos metálicos (mezcla de composición variable de pequeñas partículas metálicas, fluido de corte y material abrasivo).
Material absorbente y de limpieza		Residuos de material absorbente y de limpieza.
Energía eléctrica		Generación de calor y ruido.

Tabla 8: aspectos ambientales en el proceso de mecanizado con arranque de viruta.

ENTRADAS	DEFORMACIÓN SIN ARRANQUE DE VIRUTA	SALIDAS
Bobinas de productos planos, alambón, chapas, tubos.		Bandas, chapas, alambres, Piezas conformadas por plegado.
Emulsión (aceite de laminación y agua desmineralizada).		Aguas residuales (con aceites y sólidos en suspensión).
Aceite de laminación mineral.	· Laminado en frío de aceros al carbono y acero inoxidable.	Emisión de nieblas de aceites, vapores de hidrocarburos.
Lubricante seco (jabón, pasta).		Emulsión reciclada.
Emulsiones acuosas de jabón o aceite.	· Trefilado en frío (seco y húmedo).	Polvo de jabón.
Energía eléctrica o vapor		Emisiones de combustión
Agua (de refrigeración, industrial desmineralizada).	· Conformación de piezas por plegado.	Aguas residuales, lodos.
Grasa o aceite lubricante		Aceite lubricante usado.
Filtros de aceite		Filtros de aceite usados
Metales		Trefilas rotas, recortes metálicos, etc.

Tabla 9: aspectos ambientales en el proceso de deformación sin arranque de viruta.

ENTRADAS	DESENGRASE	SALIDAS
Piezas metálicas engrasadas	<ul style="list-style-type: none"> · Químico (tratamiento con líquidos o vapor). · Electrolítico · Limpieza manual 	Piezas metálicas limpias
Material de limpieza (detergentes, solventes, soluciones alcalinas).		Vapores con compuestos orgánicos volátiles (COV), debido al uso de disolventes halogenados y vapor de agua.
Agua/ vapor		Residuos de envases
Trapos, estopas para limpieza.		Líquidos residuales (baños de desengrase agotados) y lodos
Consumo de gas y/o energía eléctrica.		Residuos de trapos con aceite, estopas u otros.
		Emissiones de combustión

Tabla 10: aspectos ambientales en el proceso de desengrase.

ENTRADAS	SOLDADURA	SALIDAS
Gases (oxígeno, acetileno, hidrógeno, helio, argón).	<ul style="list-style-type: none"> · Soldaduras por gas: <ul style="list-style-type: none"> · Oxígeno-acetileno · Oxígeno-hidrógeno · Soldadura por arco eléctrico: <ul style="list-style-type: none"> · Soldadura por electrodo revestido · Soldadura TIG · Soldadura MIG/MAG 	Vapores, gases nitrosos, acroleína, anhídrido carbónico, monóxido de carbono, etc.
Metal de aporte		Humos de soldadura
Electrodos		Vapores nitrosos por efecto del arco, ozono por la radiación UV generada.
Energía eléctrica		Generación de chispas, proyecciones.
Metal base a soldar		Generación de ruido y disipación de calor.

Tabla 11: aspectos ambientales en el proceso de soldadura.

ENTRADAS	CORTE	SALIDAS
Metales	<ul style="list-style-type: none"> · Corte por chorro de agua · Corte por plasma · Corte por láser · Oxicorte · Corte por guillotina o cizalladora 	Piezas metálicas Recortes metálicos
Gases (oxígeno, acetileno, propano, hidrógeno, entre otros)		Emisión de humos metálicos y partículas. Radiaciones UV.
Agua		Escoria
Químicos y abrasivos		Líquidos residuales
Energía eléctrica		Generación de chispas, proyecciones.
Aceite hidráulico y grasas		Generación de ruido y disipación de calor.
		Aceite hidráulico agotado Residuos de envases.

Tabla 12: aspectos ambientales en el proceso de corte.

3.

Producción
sustentable en
el sector de
metalmecánica

La producción sustentable⁷ se orienta a mejorar productos y procesos de producción para reducir el consumo de recursos, el uso de materiales peligrosos y la generación de residuos en las actividades productivas. Este modelo requiere la aplicación de una estrategia de gestión empresarial que integre la dimensión ambiental con un enfoque preventivo y de administración eficiente de recursos, con el objeto de reducir riesgos a la salud y al ambiente, aumentando la competitividad. Para la puesta en marcha de esta estrategia se pueden implementar distintas acciones de mejora, poniendo foco en:

- los insumos o materias primas (eficiencia en el uso),
- las máquinas y equipos (buenas prácticas y cambios tecnológicos),
- los procesos productivos (buenas prácticas y mejoras en la tecnología),
- los productos (ciclo de vida),
- los residuos y emisiones (su minimización).

Entre las mencionadas acciones o medidas podemos señalar:

- **Buenas prácticas operativas y organizativas**

Se refiere a implementar procedimientos destinados a mejorar y optimizar los procesos productivos y acciones que mejoran la organización de la industria. Pueden incluir: la definición de procedimientos de operación, la determinación de roles y responsabilidades, el desarrollo de planes de mantenimiento preventivo de máquinas y equipos, la definición de planes de capacitación para el personal vinculados a sus puestos de trabajo y los posibles riesgos ambientales que implican, entre otras.

- **Cambios o sustitución de materias primas o insumos**

Se consideran dentro de estas medidas aquellas que involucran el reemplazo por materias primas de menor peligrosidad para la salud o el ambiente (como por ejemplo solventes orgánicos por solventes de base acuosa), el uso de materias primas secundarias (como por ejemplo aluminio proveniente del reciclado), la utilización de agua de lluvia en lugar de agua potable, entre otros reemplazos posibles.

- **Cambios tecnológicos**

Se engloban bajo este criterio todas las medidas vinculadas con el recambio de equipos, máquinas e instalaciones y la incorporación de nuevas tecnologías destinadas a mejorar la eficiencia en el consumo energético o de materias primas, sistemas que generen menor impacto ambiental (menos residuos o descartes, emisiones gaseosas, efluentes líquidos, ruidos), incorporación de fuentes de energías renovables, entre otros. También contempla la modernización de equipos y procesos.

- **Mejoras y modificación de procesos (reingeniería)**

Las modificaciones se orientan a optimizar consumos, reducir pérdidas de productos o materias primas, reducir fugas de insumos, reducir riesgos ambientales. Estas mejoras en la naturaleza, tiempo o forma de la operación de los procesos pueden incluir perfeccionamientos del layout de la planta, registro y control de tiempos, y eficiencia en el uso de recursos.

- **Reducción, recuperación, reúso y reciclaje**

Involucra la reducción desde el origen de la generación de contaminantes (residuos emisiones gaseosas, efluentes líquidos, otros) o bien la posibilidad de realizar un tratamiento interno en la planta para reducir el impacto ambiental negativo de un proceso o actividad industrial. Conlleva la necesidad de analizar y prever la posibilidad de recuperar, reutilizar

y reciclar cualquier material o subproducto del proceso antes de descartarlo como un residuo, ya sea que sirva como una materia prima de segundo uso (materia prima secundaria) dentro o fuera de la industria.

- **Cambios en el producto**

Incluyen modificaciones en el diseño, en la estructura, en los materiales que lo componen, en el uso o tiempo de vida útil, en la forma de envío o embalaje, en la posibilidad de reciclarlo o reutilizar partes al final de su vida útil. Estos cambios pueden surgir del análisis de su ciclo de vida y desde el enfoque del diseño sustentable.

3.1 Principales enfoques y estrategias de producción sustentable

Análisis de ciclo de vida

Consiste en una metodología para establecer “los aspectos ambientales de un producto, compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados las mismas e interpretando los resultados en relación con los objetivos del estudio”.⁸

El objetivo es evaluar el impacto ambiental y cuantificar los efectos adversos para el ambiente en todo el ciclo de vida del producto, pudiendo separarse en las siguientes etapas:

- Extracción o adquisición de materias primas
- Producción
- Distribución y transporte
- Uso, mantenimiento y reparación
- Fin de vida

Se considera que en cada una de estas etapas hay entrada de materiales y energía, y salida de productos, desechos y emisiones, y ambos grupos pueden producir impactos ambientales. Este enfoque promueve que las industrias evalúen el impacto ambiental de sus productos, por ejemplo, para calcular la huella de carbono o la huella del agua.

Por ejemplo, en la Unión Europea hay productos donde su comercialización exige de la elaboración y presentación de una Declaración Ambiental del Producto (en sectores de la construcción y alimenticio). La misma consiste en un documento normalizado que proporciona información cuantificada y verificable sobre el desempeño ambiental de un producto, y cuya elaboración se basa en el análisis de ciclo de vida.

Es importante destacar que, dentro de la cadena de valor del sector, cada uno tiene sus impactos; siendo relevante generar instancias para que clientes y proveedores de dicha cadena incorporen progresivamente estas iniciativas.

De acuerdo a la norma ISO 14040⁹, la metodología a seguir se divide en cuatro etapas:

1. Definición del objetivo y alcance del estudio
2. Inventario por procesos y análisis
3. Evaluación de los impactos detectados
4. Interpretación

VER CASO DE APLICACIÓN I, ANEXO A.

⁷ Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

⁸ Adaptado de la norma ISO 14044, Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

Diseño sustentable

El diseño sustentable proyecta y planifica una pieza partiendo de un análisis que considera todo el ciclo de vida del producto, incluyendo: la detección de oportunidades y sus competencias en el mercado, sus problemas funcionales y de uso, sus destinatarios, las distintas situaciones de operación (guardado, limpieza, mantenimiento, reparación, etc.ci), entre otros criterios. El objetivo es introducir mejoras en los productos para mitigar el impacto de los mismos en el ambiente y la sociedad.

El análisis incluye además el estudio de las capacidades y fortalezas productivas de la industria cuyo desarrollo debe llevar adelante. Con esta información se perfilan los requerimientos que el producto deberá cumplir según la estrategia de la industria.

Gran parte de los impactos ambientales pueden ser previstos y corregidos evaluando qué materiales y mediante qué procesos estarán hechos los productos, su potencial reuso y/o capacidad para el reciclado. Lo importante es balancear las mejoras en todas las etapas de la vida del producto para que las correcciones en una etapa no provoquen impactos negativos en otra etapa.

A continuación se presentan una serie de recomendaciones orientadas al diseño con enfoque sustentable, las que se complementan con una lista de verificación en los anexos.

Tabla 13: recomendaciones de diseño con enfoque sustentable.

ETAPA	RECOMENDACIÓN	DESCRIPCIÓN
EXTRACCIÓN	Sustitución	Sustituir materiales de extracción intensiva.
PRODUCCIÓN	La creación de productos de manera sustentable es una necesidad competitiva.	Los mercados presentan regulaciones ambientales cada vez más exigentes. Por ejemplo: huella de carbono. Cada vez más consumidores valoran productos con menor impacto ambiental y las buenas prácticas ambientales implementadas en industrias.
	Eficiencia en el uso de materiales.	Reducir el uso de componentes no críticos para un producto. Considerar materiales alternativos. Recuperar desechos y materiales usados y reutilizarlos.
	Reemplazar materiales o procesos peligrosos por otros menos agresivos.	Por ejemplo: reemplazando pintura que utilizan solventes orgánicos por pintura al agua.
	Disminuir espesores mediante el uso de software de simulación.	Algunos productos tienden a tener piezas y partes con espesores sobredimensionados. Esto se encuentra tanto en piezas de chapa metálica, como en sectores de piezas moldeadas. Disminuir espesores, siempre asegurando el funcionamiento y vida útil de la pieza, reducirá peso (optimización de transporte) y costos. Los pliegues o costillas son una buena alternativa morfológica para aumentar la resistencia estructural disminuyendo espesores.
	Facilitar secuencia de ensamblado.	Un proceso de ensamblaje simple, ahorra tiempo y trabajo a la empresa, y por cierto, reduce costos. Si además la PyME ofrece servicio técnico, un desensamble práctico también hará a esta unidad de negocios más productiva y rentable.
	Aplicar marcas y gráficas de manera que no contamine.	Tratar de evitar las pinturas. Diseñar logos y pictogramas que sean aplicables desde la matricería.
TRANSPORTE	Cubiertas	Pintar las piezas con cubiertas que no dificulten el reciclado del material base. Consultar siempre con el fabricante de la cubierta y con el reciclador sobre el potencial de reciclaje de piezas metálicas pintadas. La pintura en polvo es una mejor alternativa para las piezas metálicas ya que no utiliza solventes.
	Diseñar productos listos para ensamblar (RTA: ready to assembly)	Reducen volumen logístico.
USO	Embalaje	Adecuada la pieza con material justo no sobredimensionado, ahorro en espacio. Utilizar materiales livianos que impacten positivamente en la etapa de transporte.
	Diseñar para la reparación. Buen acceso a elementos de sujeción.	Productos de fácil entendimiento y apertura para inspección. Considerar la ergonomía de la reparación del producto o equipo. Diseñar manuales de uso y reparación con clara identificación de la locación de los componentes.
	Aumentar la vida útil del producto evitando la obsolescencia programada. Nuevas estrategias de negocio.	Por ejemplo: alquiler de equipos con un pago mensual por uso.
FIN DE VIDA	Analizar a los usuarios del producto.	Desde el diseño de producto se puede condicionar y guiar la conducta del usuario. De esta manera, desde el diseño se puede impactar positivamente en la generación de conductas y acciones más sustentables. Diseñar de modo tal que los consumibles del producto puedan minimizarse.
	Etiquetado	Identificando la potencialidad del reciclado según su tipo.
	Diseñar para el desensamble	Es pensar al producto no sólo para que su secuencia de fabricación sea racional y coherente, si no para que las piezas y partes de éste producto puedan separarse una vez que éste haya culminado su vida útil y así se puedan reusar aquellos componentes que sigan siendo funcionales, y reciclar aquellos que ya no puedan cumplir su función.
	Disminuir la cantidad de pasos para el desensamble.	Esto será consecuencia de la disminución de cantidad de piezas, y cantidad de tornillos.
	Evitar vínculos permanentes	Pegar piezas y realizar sobre moldeos (moldeo de piezas con injertos de otros materiales), dificulta la separación y clasificación, y por tanto anula las posibilidades de reciclado de los conjuntos pegados o sobre moldeados.

Sistema de gestión ambiental

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) incluye la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procesos, los procedimientos y los recursos para desarrollar, implementar, revisar y mantener al día los compromisos en materia de protección ambiental que suscribe cualquier tipo de organización. Entre las principales ventajas de implementar un Sistema de Gestión Ambiental se pueden listar:

- Mejora en el desempeño ambiental de la organización;
- Mejor cumplimiento de la legislación, ya que implica el conocimiento y seguimiento adecuado de la legislación ambiental, evitando posibles multas y clausuras;
- Mejora de la gestión de los recursos produciendo un ahorro en costos, ya que el control y seguimiento del consumo de agua, energía y otras materias primas mejora la eficiencia de los procesos productivos y reduce la cantidad de residuos generados;
- Reduce el riesgo de accidentes ambientales;
- El compromiso respecto al cuidado ambiental potencia la imagen ante la sociedad y los consumidores, además de motivar a los empleados y
- Aumenta la competitividad frente a nuevos mercados, eliminando barreras comerciales (comercio exterior).

Existen modelos de SGA normalizados¹⁰, auditables por terceros y certificables. Algunos de estos sistemas toman como referencia la norma internacional ISO14001 que especifica los requisitos para implementar un Sistema de Gestión Ambiental y son de aplicación voluntaria.

ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental: requisitos con orientación para su uso

La norma provee a las organizaciones de un marco sistemático de acciones para proteger el ambiente en equilibrio con las necesidades socioeconómicas de las mismas. El éxito de su implementación radica en el compromiso a todos los niveles de la organización, siendo liderado por la Dirección, y cumpliendo con las siguientes pautas generales:

1. Desarrollar e implementar políticas y objetivos ambientales;
2. Identificar aspectos de las actividades, productos y servicios que pueden significar un potencial impacto ambiental;
3. Establecer procedimientos sistemáticos que consideren su contexto, los aspectos ambientales y los riesgos asociados frente a las oportunidades y amenazas y el cumplimiento legal;
4. Establecer sistemas de control para asegurar el cumplimiento legal y desempeño medio ambiental y
5. Evaluar el desempeño ambiental y tomar acciones si fuera necesario.

¹⁰ Facilitan el establecimiento de pautas sistemáticas de comportamiento ambiental que ya han sido probadas por otras organizaciones, permitiendo medir la actuación de la empresa con criterios aceptados internacionalmente.

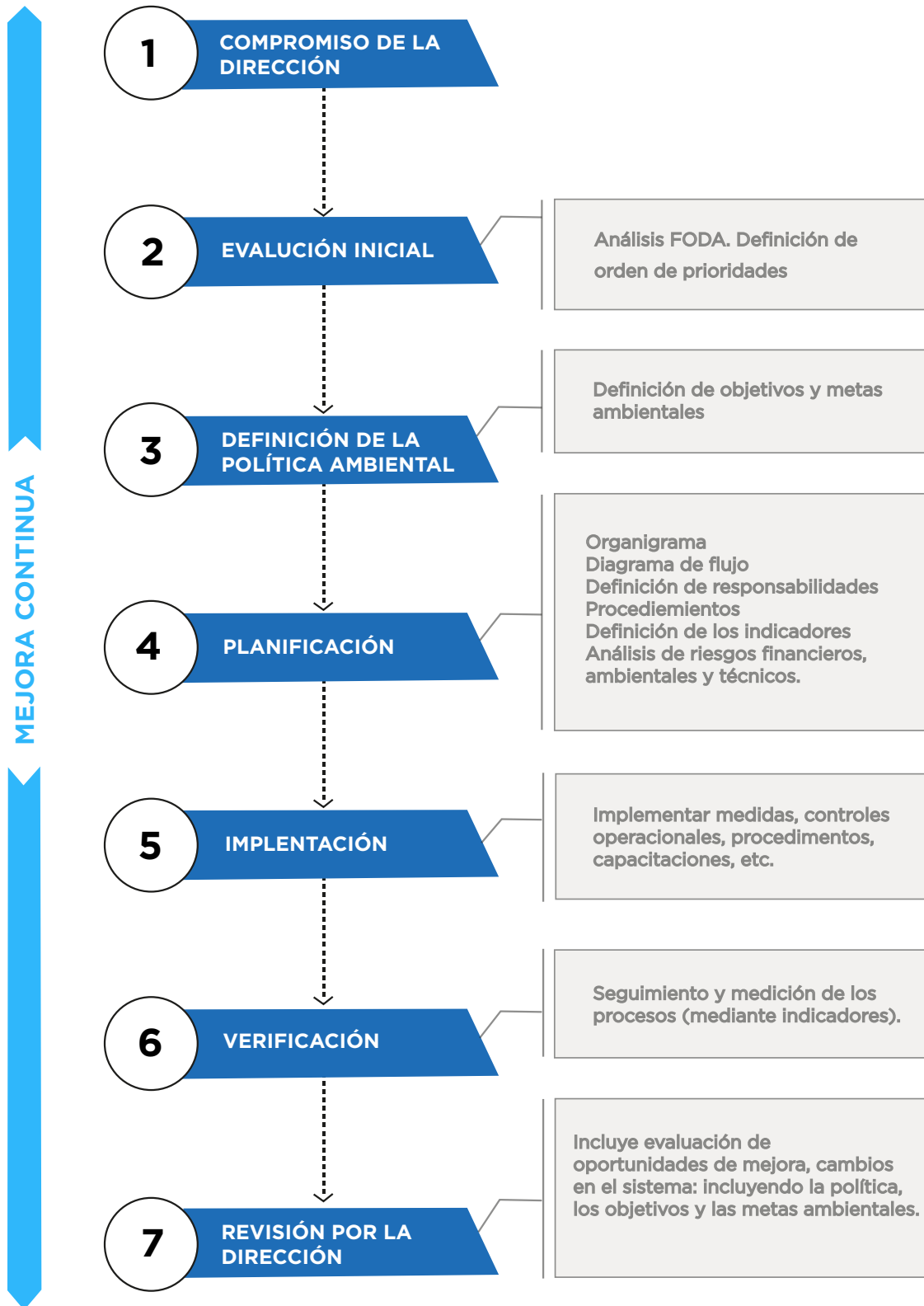


Diagrama 3: resumen de las etapas de un proceso de implementación de norma ISO 14001. (Fuente: ADIMRA)

VER CASO DE APLICACIÓN II, ANEXO A.

3.2 Buenas prácticas para una producción sustentable

Podemos definir una “buena práctica” como aquella que *“ha demostrado que funciona bien y produce buenos resultados, y, por lo tanto, se recomienda como modelo. Se trata de una experiencia exitosa, que ha sido probada, validada y se ha repetido; que merece ser compartida con el fin de ser adoptada por el mayor número posible de personas”*¹¹, o industrias, en este caso.

La implementación de buenas prácticas son herramientas claves para lograr una producción sustentable.

Se describirán algunos ejemplos de buenas prácticas en relación algunos aspectos ambientales significativos observados en la industria metalmeccánica, como son:

- generación de scrap y virutas metálicas;
- consumo de energía eléctrica y
- consumo de fluidos de corte y generación de residuos.

Atendiendo a esas dificultades se describirán a continuación buenas prácticas vinculadas a un uso eficiente de recursos (agua, fluidos, gas y energía eléctrica), la reducción de la generación de residuos, el consumo energético y la optimización en la valorización de scrap y las virutas, entre otros aspectos.

3.2.1 Gestión de fluidos de corte

Los fluidos de corte se utilizan en los procesos de mecanizado con arranque de viruta para lubricar, refrigerar, facilitar y mejorar el corte sin desgarrar del material, mejorar la formación y eliminación de virutas y proteger ante la corrosión.

Estos se clasifican en cuatro grandes tipos de fluidos: los aceites, los aceites emulsionados, los semi sintéticos y los sintéticos (estos últimos tres a base de agua).

Cuando son aplicados generan nieblas que, además de su potencial efecto sobre la salud del operario, representan una pérdida de recurso. Los equipos de aspiración de nieblas son útiles para lograr mejor seguridad laboral y recuperar el fluido.

Además se recomienda utilizar bandejas anti derrames en aquellos equipos que utilizan fluidos de corte¹².



Imagen 4: Mecanizado con fluido de corte (Fuente: ADIMRA)

¹¹ Adaptado de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (Julio 2015). Plantilla de Buenas Prácticas.

¹² Es importante consultar la ficha de datos de seguridad de los fluidos de corte y los aditivos utilizados, para conocer los posibles riesgos a los que se expone el trabajador que los manipula.

TIPO	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COLOR
Aceites minerales (puros)	Poseen propiedad refrigerante bastante buena pero sólo son capaces de mantener una película lubricante satisfactoria en operaciones livianas de mecanizado, cuando las presiones no son elevadas. Se encuentran también los aceites con mejoradores de adhesividad, que consisten en mezclas de aceites minerales con proporciones variables de aceites orgánicos y/o productos químicos. Estos aceites mejorados crean una película lubricante límite que puede resistir presiones mayores.	Excelente lubricante	Bajo poder de enfriamiento, genera nieblas, presenta riesgo de incendio.	Marrón claro
Aceites emulsionados	Están constituidos por un aceite mineral base y agentes emulsionantes. Presentan excelentes propiedades refrigerantes mayores que las del agua, debido a que humedecen mejor las superficies. A diferencia de los aceites minerales puros, se les agregan aditivos sulfurados, clorados y/o sulfuro clorados con el objeto de adicionarle características de extrema presión, además de anticorrosivos y bactericidas.	Buen poder refrigerante y lubricante	Presenta crecimiento de bacterias, pérdidas por evaporación y se desestabiliza con la dureza del agua.	Blanco
Semi-sintéticos	Tienen mejores propiedades de enfriamiento y de mojado que los aceites emulsionados lo que permite utilizar mayores velocidades en las operaciones de mecanizado. Son una combinación de fluidos químicos con aceites emulsionantes en agua (10 y 55 %).	Excelente refrigerante y buen control microbiano	Forma espuma fácilmente, la emulsión se desestabiliza con la dureza del agua.	Traslúcido - opaco
Sintéticos	A diferencia de los semi-sintéticos, éstos no poseen aceites minerales, conteniendo un polímero lubricante de aspecto transparente, entre otros aditivos, que remplazan la fase oleosa.	Excelente refrigerante, control microbiano, buen control de la corrosión, baja generación de nieblas y espumas, no se ve afectado por el agua dura	Poco poder lubricante y fácilmente contaminable con aceites de la herramienta.	Transparente

Tabla 14: Tipos de fluidos de corte: ventajas y desventajas.

Control analítico de los fluidos de corte para prolongar su vida útil

Uno de los costos presentes en el proceso de mecanizado se debe al recambio que requieren los fluidos de corte, no solo por su valor de compra sino también por su costo de disposición como residuo peligroso una vez finalizada su vida útil. Por lo tanto, las dos alternativas posibles para un uso sustentable son: extender la vida de uso y reducir el volumen a disponer.

La mayoría de los fluidos de corte a base de agua pueden utilizarse más de una vez si se eliminan los contaminantes de los mismos, impidiendo el crecimiento bacteriano. A continuación, se listan algunas recomendaciones a implementar:

UTILIZAR AGUA DESMINERALIZADA: El alto contenido de minerales puede acelerar el proceso de corrosión en las piezas de trabajo y el crecimiento bacteriano. El agua desmineralizada puede obtenerse a partir del condensado de agua evaporada y lo más frecuente es mediante el uso de un equipo de intercambio iónico o de osmosis inversa.

CONTROLAR EL PH: Los refrigerantes deben estar en un medio alcalino a fin de neutralizar la acidificación del medio provocada por las bacterias y no desestabilizar las emulsiones. A pH muy bajos se puede producir una separación de la fase oleosa de la acuosa, pudiendo tapar los filtros y oxidar el equipamiento de mecanizado.

Por otro lado, una baja del pH puede generar otros problemas como: emisiones de malos olores producidos por ácido sulfhídrico, que además puede generar problemas de corrosión, así como también el crecimiento de los microorganismos.

Se recomienda controlar dos veces por semana el pH del fluido de corte en uso, utilizando cintas de pH (en un rango de 6 a 10) y registrar los valores semanalmente. Debe mantenerse el pH entre 8.8 y 9, ya que las bacterias crecen rápidamente cuando el pH está por debajo de 8.8.

LOGRAR UNA ADECUADA CONCENTRACIÓN DE REFRIGERANTE: La proporción de concentración de refrigerante es fundamental para asegurar una buena performance. Si la concentración es muy elevada, se consume mayor producto del necesario (elevando los costos), resulta irritante para los operarios, produce espuma y puede manchar los materiales no ferrosos.

Si la concentración de refrigerante es baja puede producir roturas en la herramienta, malos acabados, crecimiento de hongos y bacterias. Para recuperar el nivel inicial se debe agregar una emulsión con una concentración más elevada.

CONTROLAR LA PRESENCIA DE ESPUMA: Existen dos tipos, la espuma inestable que se genera por altos niveles de agitación sin producir inconvenientes en la maquinaria, puesto que se rompen rápidamente y se disipan; y las espumas estables, que, en cambio, forman pequeñas burbujas, generando una capa blanca que causa daños en el equipamiento. Este efecto se debe a procesos químicos dentro de la mezcla, siendo una de las causas la dureza del agua. Otra razón puede deberse a un exceso en la proporción del concentrado (por ejemplo un exceso mayor del 10%)¹³.

CONTROLAR LA PRESENCIA DE PELÍCULA DE ACEITE: Generalmente los equipos presentan fugas de aceites, propios de la lubricación de la máquina y se mezclan con el fluido de corte. Si el fluido de corte es a base de aceite no habría inconveniente, de lo contrario la presencia de aceites extraños en la emulsión puede causar disminución en la capacidad de enfriamiento produciendo acabados defectuosos. Además, las películas de aceites aíslan la emulsión de la transferencia de oxígeno, lo cual impide la aireación y causa crecimiento de bacterias sulfato-reductoras que generan mal olor.

CONTROLAR LA VISCOSIDAD: La viscosidad de los aceites de corte es un parámetro de importancia y se debe asegurar un valor mínimo. A menor viscosidad, menor será la capa límite del aceite y consecuentemente la capacidad de transferencia de calor será mayor. Sin embargo, la fricción puede evaporar por completo la fase acuosa de la emulsión y por esta razón se debe garantizar un mínimo de viscosidad que impida tal evaporación total que dañaría las herramientas. Un aumento en la viscosidad del aceite puede facilitar la acumulación de partículas y virutas metálicas.

CONTROLAR LA PRESENCIA DE VIRUTAS: Durante el proceso de mecanizado se generan partículas de metal y virutas. Éstas, además de presentar un riesgo para el operario, disminuyen la capacidad de refrigeración, por lo que se recomienda filtrar el fluido de corte recuperado

¹³ Nota: Durante el verano se debe recordar que por las altas temperaturas ambientales la cantidad de agua evaporada de la solución de corte aumenta en un orden de un 50% e incluyendo el calor aportado por el mecanizado la rapidez en que la mezcla se concentre es mucho mayor.

¹⁴ Nota: No se debería reutilizar fluidos de corte en piezas de aluminio puesto que las mancha.

previo a ser reutilizado¹⁴. Es conveniente llevar un registro de los resultados del monitoreo de los siguientes parámetros, considerando los rangos y métodos de medición recomendados:

PARÁMETRO	RANGO ÓPTIMO	MÉTODO DE MEDICIÓN
pH	8.8-9	pH metro
Concentración	2-10%	Refractómetro - Ensayo sobre muestra
Formación de espuma	Baja	Control visual
Color	Según el fluido de corte.	Control visual
Película de aceite	Evitar	Control visual
Conductividad	10-100	Conductímetro
Olores	Ausencia	Control olfativo

Tabla 15: Control analítico de fluidos de corte

Medidas para optimizar el poder refrigerante y lubricante de los fluidos de corte:

MEDIDA	DESCRIPCIÓN
Direccione correctamente el pulverizador de fluido de corte	El ángulo de proyección del pulverizador y la dirección del mismo debe abarcar la mayor superficie de metal, las partes no alcanzadas no estarán protegidas.
Presión de fluido de corte	A mayor presión, la pulverización del fluido de corte es mejor, producirá gotas de menor tamaño garantizando un mejor alcance de toda la superficie metálica.
	Se recomienda utilizar boquillas atomizadoras.
Velocidad del fluido de corte	A mayor velocidad de flujo de fluido de corte el poder refrigerante mejorará puesto que el calor liberado por convección será mayor. Sin embargo se deberá encontrar el punto óptimo de seteo puesto que un aumento en la presión y velocidad significa aumentar el consumo energético.

Tabla 16: Optimización de poder refrigerante y lubricante en fluidos de corte

Reducción del volumen de fluidos de corte a disponer

Otra manera de reducir los costos generados por la disposición de los fluidos de corte desechados consiste en reducir el volumen de descarte, ya sea reutilizando el fluido recuperado o bien, en el caso de obtener una calidad adecuada, reutilizar el agua separada y así reducir también el consumo de agua.

Para el caso de recuperar el fluido usado, se recomienda mantener los tanques de acumulación de fluido reutilizado agitado permanentemente, ayuda a oxigenarlo e impide el crecimiento de bacterias anaeróbicas.

A continuación, se detallan algunos tratamientos correspondientes a las etapas primaria, secundaria y terciaria que permitirían obtener una calidad de agua tal que pueda ser reutilizada.

TRATAMIENTO PRIMARIO O PRE-TRATAMIENTO: consiste en la remoción de los excesos de aceites y de las partículas o virutas mediante mecanismos físicos: filtrado, centrifugado, por flotación y aspiración, sedimentación, separadores (equipos que aspiran la fase oleosa sobrenadante).

TRATAMIENTO SECUNDARIO: consisten en procesos físico-químicos: separación química, evaporación o tratamiento biológico como un primer pulido.

- Separación química:** consiste en un proceso de desestabilización de la emulsión a fin de formar dos fases en la solución, una sobrenadante (ayudado por la adición de coagulante, separado por flotación) y el agua limpia. Para lograr la formación de las dos fases, es necesario:
 1. Reducir el pH mediante el agregado de ácido hasta desestabilizar la emulsión.
 2. Agregar coagulante que transforme las pequeñas gotas, a fin de asegurar la formación de sobrenadante.
 3. Elevar el pH a fin de precipitar metales oxidrilos.
 4. Separar el sobrenadante
 5. Filtrar el precipitado.

TRATAMIENTO TERCIARIO: Se utiliza en el recupero de corte sintéticos y semi-sintéticos y como último tratamiento para el recupero de la fase acuosa de los fluidos de corte. Los métodos que se utilizan son los siguientes:

- Ultrafiltrado:** consiste en el proceso filtrado a través de una membrana porosa que retiene contaminantes hasta un tamaño de 0,01 µm.
- Ósmosis inversa:** consiste en un filtrado mediante membrana con la diferencia que esta técnica permite retener prácticamente la totalidad de las especies.

TRATAMIENTO PRIMARIO	OPERACIÓN	TODOS LOS FLUIDOS DE CORTE		
	Skimmers	Remueve sólidos suspendidos y manchas de aceite		
	Tanques de decantación			
	Separadores magnéticos			
	Hidrociclones			
	Equipos de microfiltrado			
	Coagulación			
	Flotación (con aire inducido)			
Centrifugadoras				
TRATAMIENTO SECUNDARIO	OPERACIÓN	CLASE DE FLUIDOS DE CORTE		
		EMULSIONES	SEMI-SINTÉTICOS	SINTÉTICOS
	Evaporación	90-100 %	90-100 %	90-100 %
	Ultrafiltración	90-100 %	80-90 %	0-5 %
	Tratamientos biológicos	65-100 %	70-100 %	60-80 %
Tratamientos químicos	90-100 %	90-100 %	0-5 %	
TRATAMIENTO TERCIARIO	OPERACIÓN	CLASE DE FLUIDOS DE CORTE		
	Ósmosis inversa	95-100 %		
	Nano filtración	95-100 %		
	Intercambio iónico	Remueve únicamente iones metálicos		

Tabla 17: tratamientos para reducir el volumen de fluidos de corte¹⁵.

¹⁵ Best Practice Guide for the Disposal of Water-mix Metalworking Fluids, author: Kangala Chipasa, PhD.

3.2.2 Variables a considerar para reducir el consumo energético

El consumo de energía eléctrica es un aspecto relevante a considerar, representando el uso de los motores de inducción (los más utilizados en el sector) una parte importante de los costos energéticos para las pymes. Un mantenimiento preventivo y la implementación de planes de mejora, ayudan a reducir los costos energéticos y extender la vida útil de los motores, equipos e instalaciones eléctricas.

Para implementar un plan de mejora es condición indispensable el establecimiento de una línea de base respecto del consumo. El proceso comienza con la recolección y registro de los datos de consumos energéticos respecto de los equipos eléctricos de la planta, sistema de iluminación, equipos de climatización, análisis de las facturas de los servicios eléctricos, entre otros. En la siguiente tabla se sumarian aspectos a considerar durante un relevamiento de consumos:

Régimen tarifario y análisis de facturas	Se recomienda llevar un registro de los consumos mensuales de energía. Detectar los periodos de mayor consumo, los de menor y la capacidad de suministro en pico pactada con la prestataria del servicio. Conocer los límites contratados permite diseñar un sistema de alarmas que informe cuando este se supera y evitar penalizaciones o sobre cargos.
Iluminación	Realizar un inventario detallado del tipo de luminaria, potencia de cada una, horas de encendido, intensidad de iluminación por área, etc. Registrar áreas en las que se podría priorizar el uso de luz natural. Mantener las luminarias y ventanas y cualquier otra fuente de luz natural o artificial, siempre limpios, libre de polvo.
Sistemas de acondicionamiento y ventilación	Detallar los sistemas de calefacción, acondicionamiento o ventilación, registre los modelos de los equipos, antigüedad, horas de uso, especificaciones eléctricas, fuente de energía que utiliza en cada sistema. Donde corresponda realizar mediciones de las velocidades del aire para detectar fugas si las hubiera.
Motores eléctricos	Listar todos los motores eléctricos existentes; relevar el tamaño del motor, antigüedad, modelo, horas de uso, servicio de potencia, medición del factor de potencia, medición de la corrientes, sobrecargas, sobrecalentamiento o mala ventilación, registrar fallas, reparaciones realizadas u otros datos que permitan evaluar a futuro la necesidad o no de reemplazar frente a consideraciones de eficiencia energética.
Sobrecargas de motores eléctricos	La sobrecarga de los motores, a pesar de haber sido diseñados con un factor de servicio produce sobrecalentamiento, pérdida de eficiencia y reduce su vida útil. Para un mantenimiento preventivo de motores eléctricos es conveniente llevar un registro de las sobrecargas a las cuales está sometido el equipo y su rendimiento.
Aislación	Relevar los tipos de aislación (térmica, eléctrica) utilizados y los faltantes en los ambientes de trabajo y en el equipamiento que lo requieran.

Tabla 18: aspectos a considerar durante un relevamiento de consumos energéticos.

Para la medición de consumos en planta se utilizan distintos instrumentos (vatímetros, data loggers, cámaras termográficas, sensores, entre otros), dependiendo de la información a relevar. La instalación, y medición requiere de personal técnico calificado.

Por último, con los resultados del relevamiento de la línea de base y las mediciones realizadas en planta se podrán identificar oportunidades de mejora a implementar.

VER CASO DE APLICACIÓN III, ANEXO A.

Motores eficientes

Los motores eficientes son aquellos que presentan menores pérdidas de energía en comparación a los motores convencionales y tienen un rendimiento superior. La eficiencia de los motores se clasifica en distintas categorías dispuestas por la Norma IEC 60.034, replicada en Argentina como la Norma IRAM 62.405, en la que se definen 3 clases de eficiencia, IE0, IE1 (eficiencia estándar), IE2 (alta eficiencia) e IE3 (eficiencia premium), aplicada para motores de potencias de entre 0,75 y 90 kW.

La tendencia internacional indica el progresivo recambio hacia motores de mayor eficiencia, observándose que se encuentran en desarrollo motores de muy alta eficiencia, categorizados como IE4 e IE5. La incorporación paulatina de este tipo motores involucra importantes ahorros en el consumo energético, los que permiten amortizar el costo de los mismos en cortos períodos de tiempo.

Sistemas de aire comprimido

Gran parte del sector cuenta con sistemas de aire comprimido, por ejemplo, en equipos neumáticos, y se estima que un 25 % de la energía utilizada en estos sistemas corresponde en muchos casos a fugas de aire o fallas de mantenimiento de la instalación. En cuanto a los aspectos a supervisar se observan, entre otros, los siguientes:

Control de puntos de fuga de aire comprimido	La mayor pérdida de energía en un sistema de aire comprimido se debe a las fugas. Los puntos de fuga se pueden detectar con agua y jabón, en aquellos puntos que se generan burbujas existe una fuga y deberían repararse.
Purgas	Asegurar que las purgas funcionen correctamente de modo tal que no se generen fugas de aire comprimido además del condensado.
Sistema de cañerías	Asegurar que las cañerías se encuentran limpias y no guardan remanentes de condensado que puedan generarles corrosión. El polvo y el líquido remanente, junto con el aire comprimido, aceleran el proceso de corrosión incrementando las posibilidades de generar puntos de fuga de aire comprimido.
Optimización del sistema de cañerías	Es necesario que se encuentre el punto óptimo entre el diámetro de la cañería y el caudal de aire transferido. Por otro lado, acortando el recorrido del aire comprimido la caída de presión también puede reducirse de entre un 20 y 40 %.
Control de filtros	Cambiar sistemáticamente los filtros de la instalación de cañerías.
Compresor	Asegurar que el compresor se encuentra limpio, que el área en el que se encuentra también y que cuenta con los filtros adecuados a fin de aspirar aire limpio que se incorpora al sistema.
Control de humedad	El aire que ingresa al compresor debe estar libre de humedad. Realizar mediciones de bulbo húmedo.

Tabla 19: principales aspectos a considerar en sistemas de aire comprimido.

Tornos eficientes

El equipamiento más utilizado para el mecanizado de piezas metálicas son los tornos convencionales y principalmente los tornos de control numérico (tornos CNC) y tornos automáticos. Algunas líneas de mecanizado consisten en múltiples máquinas, en paralelo o en serie, que pueden funcionar las 24 horas, por ejemplo, las industrias que proveen piezas a terminales automotrices, donde se precisa una producción de gran escala y alta calidad.

Si bien los tornos CNC han logrado un fuerte aumento de la productividad frente al torno convencional (con un eficiente sistema de lubricación y refrigeración de las piezas, cambios auto-

¹⁶ No "desacoplar" implica que el aumento de productividad también involucra un aumento del consumo energético. En el trabajo de investigación de Yohei Oda et al (3rd CIRP Conference on Process Machine Interactions. Energy Consumption Reduction by Machining Process Improvement. Yohei Oda, Yoshikazu Kawamura, Makoto Fujishima, 2012) se estimó que aproximadamente un 50 % de la energía consumida por los tornos CNC se utiliza en el sistema periférico.

máticos de herramientas), esta productividad no se “desacoplaría”¹⁶ del consumo energético, ya que estos sistemas de mecanizado cuentan con diferentes módulos eléctricos y bombas de suministro periféricos que consumen más energía eléctrica que los tornos convencionales.

El gráfico 1 describe los consumos energéticos de los principales equipos y componentes sobre los cuales debieran dirigirse las posibles opciones de mejora para reducir el consumo:

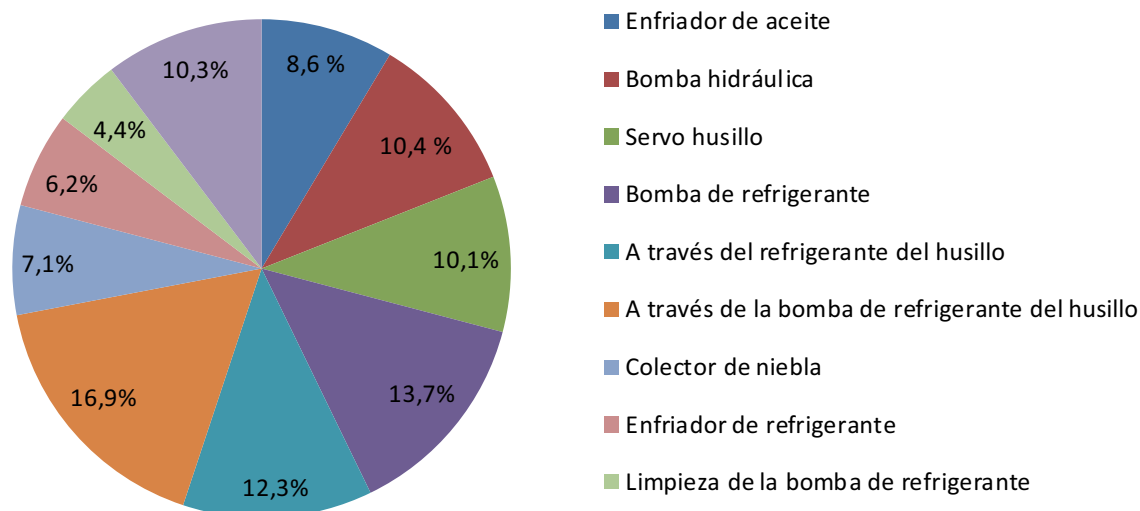


Gráfico 1: consumo de energía en mecanizado

A partir de diferentes estudios y de la evaluación de los consumos de potencias se detectaron diferentes vías de reducir la potencia consumida, por ejemplo: son convenientes los tornos con servomotores con imanes de tierras raras, que bajan la inercia y aumentan la potencia, recomendándose además utilizar variadores de frecuencia en los sistemas de refrigeración. Actualmente se están desarrollando equipos con dispositivos que permiten ahorrar energía en el sistema periférico. Algunos ejemplos son:

- **Estabilizadores termo activos:** se incluyen en los tornos CNC eficientes sensores de temperatura y de posición de las herramientas de mecanizado, que detecten si es necesario enfriar o no. De este modo el sistema periférico de enfriamiento solo funciona cuando hace falta.
- **Sensores en los sistemas de transporte de las virutas:** Sensores de encendido de las cintas de transporte de las virutas únicamente cuando se lo requiera.
- **Optimización de los equipos de bombeos:** Sistemas que minimicen la rotación innecesaria de las bombas, por ejemplo, cuando la presión de trabajo alcanza la adecuada y es innecesario que continúen rotando en exceso.

3.2.3 Reducción del consumo de agua en instalaciones

La reducción del consumo de agua en las industrias se puede lograr mediante distintas acciones:

- Primeramente, establecer una línea de base (o nivel de consumo actual) registrando los consumos mensuales. Utilizar un caudalímetro facilitará detectar agua no contabilizada, es decir las fugas existentes¹⁷ y no observadas en los procesos, a partir de la evaluación de los consumos registrados.
- En lo que respecta la limpieza de la planta se puede utilizar sistemas automatizados, existiendo diversos modelos (algunos consumen hasta un 70 % menos de agua), como por ejemplo: hidrolavadoras y barredoras industriales.

¹⁷ Nota: Se estima que el agua no contabilizada por fugas representa un 20% del consumo.

- Para aquellos equipos que requieren prueba hidráulica, se recomienda recuperar el agua utilizada mediante el filtrado y almacenarla en contenedores.
- Se podría reducir el consumo de agua de red con la captación de agua de lluvia (a través del techo, una red de transporte, un tanque de almacenamiento, una bomba y otros accesorios).



Para la captación de agua de lluvia¹⁸, el método más simple de transporte es por gravedad, hacia un tanque de almacenamiento, evitando el uso de bombas.

Algunas pérdidas ocurren después del contacto con la superficie. En general, estas pérdidas se pueden caracterizar por un factor de pérdida inicial (en mm de lluvia) debido a la absorbencia del material de captación, y pérdidas continuas (en porcentaje de lluvia) de viento y fugas en el medio de transporte red.

Imagen 5: sistema de captación de agua de lluvia. (Fuente: ADIMRA)

VER CASO DE APLICACIÓN IV, ANEXO A.

3.2.4 Gestión de virutas

Durante los procesos de mecanizado con arranque de viruta, ésta constituye uno de los principales residuos generados, sin embargo representa un insumo fundamental para la industria de la fundición. Las virutas generalmente arrastran remanentes de fluidos de corte con contenido de aceites minerales o sintéticos y agua que, en caso de no realizar un tratamiento previo, reducen la calidad del producto fundido una vez entregado a quien lo recupera.

Para mejorar la gestión de las mismas se describirán a continuación algunas recomendaciones prácticas siguiendo la pirámide de la gestión de los residuos: primero se busca evitar o minimizar su generación y luego valorizarlas como insumo para la fundición.

Minimización de la generación de viruta

- **Mediante la optimización del proceso de mecanizado**

Registrando los parámetros de mecanizado: velocidades de corte, de husillo, avance, profundidades de corte radial y axial y el material mecanizado. Las virutas obtenidas durante el proceso describen el rendimiento del corte realizado. Estas relaciones varían según:

- El tipo de material que se trabaje
- La geometría requerida de la pieza.
- El tipo de fluido de corte utilizado.
- Otras variables de seteo de la máquina de corte.

¹⁸ Nota: un litro de escorrentía teóricamente puede ser recolectado de cada milímetro de lluvia caído en un 1 m² superficie.

• **Por mejora en el uso de materia prima, en este caso:**

- Siempre que sea posible, utilizar material acorde a las medidas de la pieza final y así reducir la cantidad de scrap generado.
- Utilizar programas de optimización de corte.
- Acordar con el proveedor, cuando sea posible, que dimensione la materia prima entregada de manera que el desecho sea el mínimo. Por ejemplo, si la pieza a mecanizar fuera de 10 cm, solicitar al proveedor que las dimensiones del material entregado sea múltiplo de 10 a fin de lograr la menor cantidad de recorte posible.
- Implementar un procedimiento de control de calidad de las materias primas recibidas y también realizar un seguimiento de las piezas defectuosas: estudiar la frecuencia y origen de la falla, por proceso y por pieza. A modo de ejemplo se presenta un registro para registrar las fallas detectadas:



Imagen 6: generación de virutas en torneado.
(Fuente: ADIMRA) lluvia. (Fuente: ADIMRA)

RESPONSABLE CONTROL DE CALIDAD:			PROCESOS			
TIPO DE FALLA	FECHA	PIEZA	FRESADORA N°1	TORNO CNC ° 1	TALADRO N°1	COMENTARIO
Calidad de la materia prima						
Piezas con óxido						
Mal acabado						
Rebaba excesiva						

Tabla 20: tabla para el registro de fallas.

• **Mediante su valorización**

Para la valorización de las virutas se deben acopiar y entregar libres de agua, óxidos y aceites y cumplir con cualquier otra especificación que requiera el fundidor o la acería, dependiendo del metal del que se trate. Según cuál sea la operación de recupero, las virutas deberán responder a una determinada calidad¹⁹, para lo cual pueden citarse los siguientes factores:

¹⁹ Manual del proveedor de chatarra, Gerdau 2013.

FACTOR	DESCRIPCIÓN
Cantidad	Debe ser una cantidad óptima, ya que el transporte de cantidades muy pequeñas no resulta económico. Las virutas deberán almacenarse (separadas por tipo) hasta reunir la cantidad adecuada.
Tipo de metal	Los diferentes metales (ferrosos y no ferrosos) tienen diferentes puntos de fusión y cadenas de reciclado.
Pureza del metal	Es conveniente mantener separadas por proceso y tipo los metales. Al estar mezcladas, el valor de venta disminuye pudiendo no ser aceptados por recuperadores. Además reduce la calidad de la fundición que se quiera obtener. Se deben gestionar correctamente logrando una segregación adecuada.
Contaminación con fluido de corte	Generalmente las virutas no son aceptadas por los recuperadores de metales cuando tienen remanentes de aceite o grasas. La presencia de fluidos de corte genera emisiones gaseosas no deseadas al fundirlos.
Contaminación con óxidos	La presencia de óxidos da origen a gases que reducen la calidad de la fundición, puesto que introduce burbujas en el material fundido.
Contaminación con agua	En el caso de fundirse en horno de inducción no deben contener agua porque genera explosión.
Compactación	El scrap libre de contaminantes compactado optimiza su manejo en cubos y mejora la tasa de fusión dentro del horno.

Tabla 21: factores para la valorización de virutas

Algunas de las recomendaciones a considerar son:

- Retirar las virutas inmediatamente de las máquinas.
- No mezclar las virutas de diferente origen.
- Transportar las virutas secas al área de almacenamiento.
- Asegurarse que el área de almacenamiento se encuentre resguardada de la lluvia.
- Limpiar la pieza a mecanizar previo a su mecanización.
- Limpiar adecuadamente la herramienta de mecanización que se utilizara a fin obtener virutas lo suficientemente limpias sin remanentes de operaciones anteriores con otros metales.
- Dejar escurrir las virutas a fin de minimizar el contenido de fluido de corte e inclinar el recipiente de recupero para optimizar la separación por gravedad.

Un esquema de recupero de virutas y scrap²⁰ lo ejemplifica el siguiente circuito:

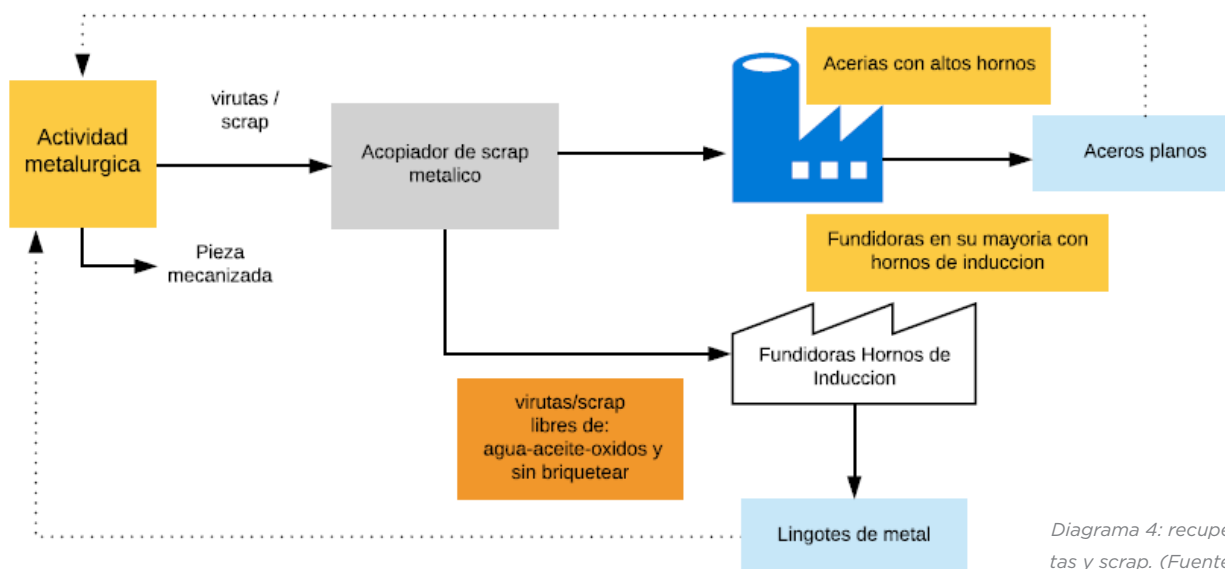


Diagrama 4: recupero de virutas y scrap. (Fuente: ADIMRA)

²⁰ Nota: si el destino de las virutas es una fundidora con hornos de inducción no hay que briquetearlas, ya que pueden contener un remanente de agua capturada y así desencadenar una explosión en el horno.

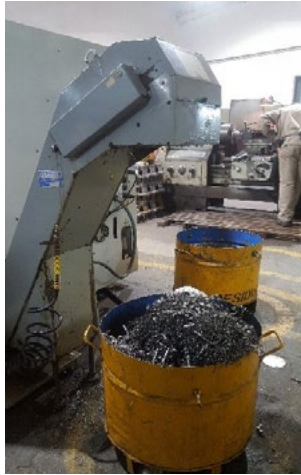


Imagen 7: scrap de acero compactado y colección de viruta. (Fuente: ADIMRA)

Equipos para la recuperación de virutas y su valorización

Para maximizar la recuperación de virutas debe lograrse que el sistema de captación forme parte del proceso de mecanizado o asegurar un recipiente a la inmediatez de la máquina.

A los fines de evitar la caída de las virutas al exterior del recipiente de carga, es necesario recubrir el perímetro. Para facilitar la recuperación de las virutas puede contemplarse el siguiente equipamiento:

- **Tornos CNC con filtro y cinta magnética:** se trata de tornos que cuentan con filtros para los fluidos de corte agotados y una cinta magnética en serie que capta las virutas y las separa del fluido de corte.
- **Centrifugadoras:** permiten maximizar la extracción de aceites y fluidos de corte. El modo de funcionamiento consiste en introducir las virutas a través de una tolva, someterlas al centrifugado y obtener dos corrientes, por un lado, el fluido de corte y por el otro las virutas.
- **Compactadoras:** son de gran importancia para la valorización de las virutas puesto que el proceso de fundición requiere una densidad mínima de éstas, resultando más conveniente para su transporte y permitiendo un escurrimiento mayor del fluido de corte remante que puedan contener.
- **Briqueteadoras:** se utilizan prensas hidráulicas de gran peso para compactar las virutas. Según el tipo de mecanizado pueden utilizarse para barras con virutas o virutas solamente, siempre y cuando quien las recupere le convenga según sus instalaciones térmicas.
- **Cinta transportadora con banda magnética:** está diseñada para optimizar la separación de las partículas de gran tamaño de acero y el fluido de corte. De relevancia en plantas con una importante generación de virutas que amerite instalar una cinta transportadora que se alimente de todos los equipos de mecanizado (siempre que se trabaje el mismo metal).

3.2.5 Manipulación y almacenamiento de insumos y materias primas

Almacenamiento de productos químicos

Cada uno de los productos químicos utilizados en la industria requiere condiciones e instalaciones que satisfagan necesidades especiales puesto que no todos tienen las mismas características y muchos de ellos son incompatibles entre sí; pudiendo dar lugar a distintos riesgos, por ejemplo: explosión, corrosión, daños en la salud de los trabajadores, entre otros.

Para la correcta manipulación y almacenamiento de los productos químicos²¹, es indispensable consultar la hoja de datos de seguridad (en inglés, Material Safety Data Sheet o MSDS). Así mismo, cada producto debe estar correctamente identificado a través de una etiqueta, la cual debe contener entre su información: el nombre del producto, datos del proveedor, pictograma e indicaciones de peligro, indicación de primeros auxilios, entre otros.

En el ámbito laboral, para identificar y comunicar los riesgos se debe implementar el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA o GHS por sus siglas en inglés), acorde a la normativa de aplicación vigente²².

El local de almacenamiento debe cumplir como mínimo con las siguientes condiciones:

- Ventilación e iluminación adecuada,
- Salida de emergencia,
- Paredes incombustibles y piso impermeable,
- Presencia de sifón en desagües (segunda barrera) o barreas de contención para derrames de líquidos,
- Armarios y estanterías sin deterioros, manteniendo orden y limpieza, con la respectiva carga máxima señalada,
- Disponibilidad de elementos para emergencias tales como ducha, lavaojos, kits anti derrames y elementos para el manejo de incendios.

MANIPULACIÓN DE CILINDROS A PRESIÓN

Todo cilindro de gas, oxígeno, acetileno, nitrógeno u otro, una vez utilizado debe ser llevado al sitio de almacenamiento y retirándolos en pasillos, escaleras o en áreas de trabajo, evitando golpes y caídas.

Los cilindros deben ser transportados con cuidado y en posición vertical en un carro especial, sujetos con cadenas o un sistema de abrazadera que evite las caídas; no debiendo arrastrarse ni hacerlos rodar por el suelo.

Durante su manipulación²³ y almacenamiento se debe evitar la presencia de elementos combustibles, aceites o grasas en las cercanías de los cilindros (en el suelo o en la ropa del trabajador).

Los cilindros y otros envases que contengan gases a presión deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Contar con certificado habilitante.
- Indicar claramente el contenido del cilindro en el cabezal y capuchón.

²¹ Nota: se recomienda llevar un registro de las cantidades y fecha de vencimiento de los productos químicos almacenados.

²² Resolución 801/2015 y Resolución 155/2016, de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo.

²³ Nota: No se debe fumar durante el manejo, transporte y/o almacenamiento de los cilindros de gas.

- Estar provistos de válvulas, manómetros, reguladores y dispositivos de descarga.
- Cuando se utilicen gases para oxicorte, los cilindros deberán tener las respectivas válvulas arresta llamas instaladas.

La correcta manipulación y almacenamiento de los cilindros a presión minimiza potenciales riesgos de incendio o explosiones.

ALMACENAMIENTO DE CILINDROS A PRESIÓN

Al momento de su almacenamiento debe considerarse la normativa de aplicación (Decreto 351/79 y normas complementarias), considerando entre otras condiciones:

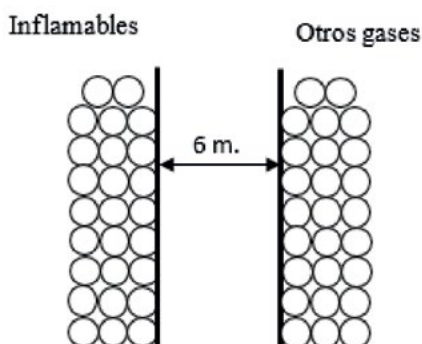
- Almacenamiento en lugares secos y protegidos del sol.
- El lugar para su almacenamiento debe contar con una adecuada ventilación (en ambientes cerrados o mal ventilados los gases más pesados que el aire pueden causar asfixia al desplazar el aire atmosférico).
- Los cilindros no deben alcanzar temperaturas superiores a 50° C, por lo tanto, nunca deben estar cerca de hornos u otras fuentes de radiación de calor.
- Debe evitarse toda posibilidad de golpes, separando los cilindros vacíos de los llenos y también los de distintos tipos de gases. Los cilindros vacíos se deben identificar como tal.
- Siempre deben almacenarse en posición vertical y con las válvulas cerradas, con la tapa cobertura de la válvula esté lleno o vacío.
- Se deben sujetar con cadenas o dispositivos especiales.
- Conocer las incompatibilidades, utilizando locales destinados únicamente para tal fin.

DISTRIBUCIÓN DE ALMACENAMIENTO DE CILINDROS A PRESIÓN

Además del cumplimiento de las mencionadas condiciones se describe a continuación, como ejemplo de referencia, el almacenamiento de cilindros de gases a presión según la normativa española²⁴:

1. Sin muro de separación

Imagen 9: almacenamiento de cilindros sin muro de separación.



²⁴ Real Decreto 656/2017, Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10. Artículo 3. Categorías de los almacenes-Tabla I. Categorías de los almacenes. Página 99. <http://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-8755-consolidado.pdf>

2. Con muro de separación aislado

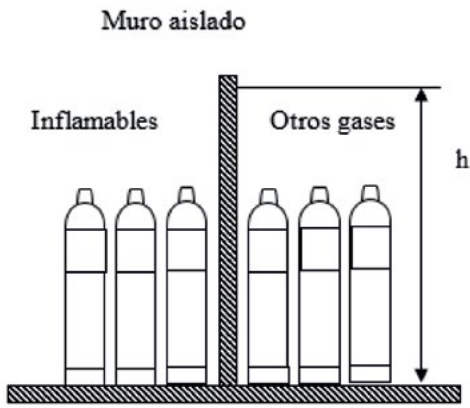


Imagen 10: almacenamiento de cilindros con muro de separación a).

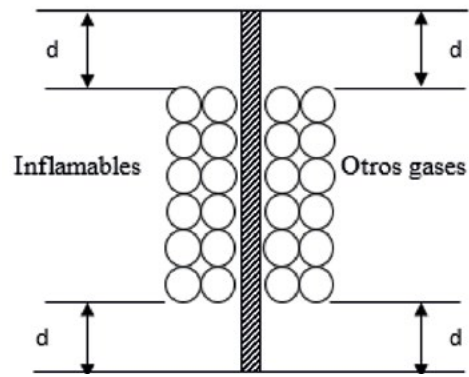


Imagen 11: almacenamiento de cilindros con muro de separación b).

3. Con muro de separación adosado a la pared

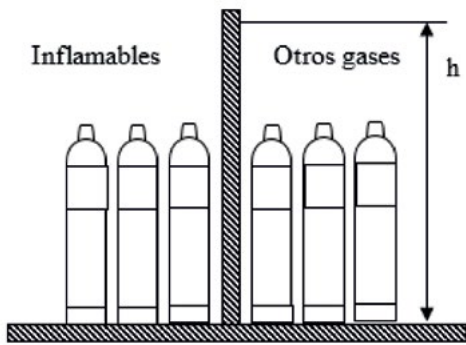


Imagen 12: almacenamiento de cilindros con muro adosado a la pared a).

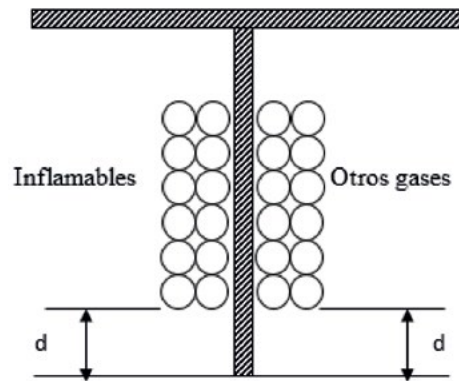


Imagen 13: almacenamiento de cilindros con muro adosado a la pared b).

Considerar “h” siempre 0,5 m más alto que los cilindros, con un mínimo de 2 m.

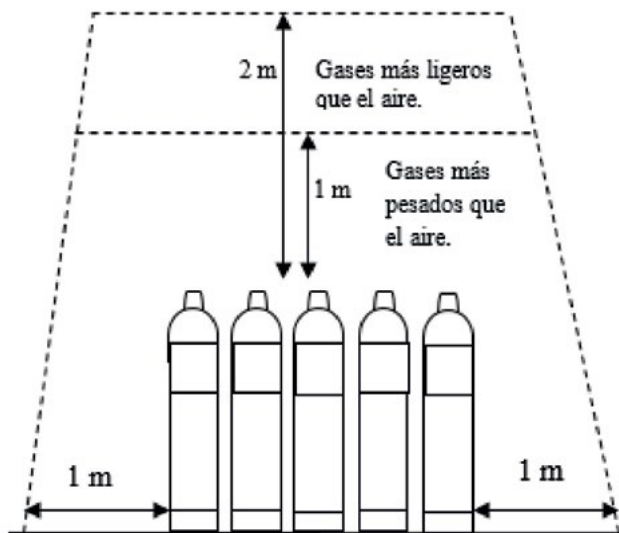
El siguiente cuadro vincula las relaciones estructurales correspondientes para el acopio de tubos, según las cantidades almacenadas y las clases de peligro, de acuerdo a la normativa española citada como ejemplo de posibles mejoras²⁵.

Cantidades Almacenadas Clase de Peligro (Categoría de peligro; Cantidad en m ³ normales o kg)	d: distancia (en metros).	EI: resistencia al fuego del muro (en minutos).
1	0,5	30
2	0,5	30
3	1	60
4	1,5	60
5	2	60

CITA 25: Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ 0 a 10. <https://www.boe.es/boe/dias/2017/07/25/pdfs/BOE-A-2017-8755.pdf>

Zonas de protección

Imagen 14: zonas de protección. (Fuente: ADIMRA).



3.3 Sustitución de materias primas o insumos

La sustitución de materias primas²⁵ se orienta al cambio de insumos peligrosos o contaminantes por otros menos agresivos para la salud y el ambiente. El objetivo es que las sustancias peligrosas puedan ser sustituidas por otras, cuando se disponga de alternativas viables tanto económica como técnicamente.

La sustitución de materias primas involucra un análisis sobre las posibilidades de cambios o mejoras de los procesos, en las prácticas o tecnologías, así como también en la mejora de los sistemas de gestión de riesgos. Esta iniciativa contempla:

- Analizar, para una sustancia o proceso, si existe un riesgo importante en el uso, almacenamiento, o eliminación de la misma.
- Identificar opciones de cambio y comparar las alternativas posibles entre sí, contrastando con la sustancia o el proceso que se está utilizando.
- Implementar la sustitución y evaluar el resultado del sustituto incorporado.

Se presentan a continuación algunas alternativas para la sustitución de materias insumos ambientalmente más sustentables:

- Aceites vegetales**

Actualmente se está trabajando en varias alternativas de remplazo para los fluidos de base de aceites minerales. Los aceites minerales, además de ser derivados de recursos no renovables, tienen una muy baja biodegradabilidad con lo cual su incorrecta disposición conlleva un impacto sobre el ambiente. Actualmente existen en el mundo equipos CNC que trabajan con aceites vegetales en emulsiones estables²⁶. No obstante, se debe evaluar la estabilidad de los mismos a altas temperaturas según el tipo y porcentaje de emulsificador (ASTM D3707) que se utilice, la inhibición microbiana, la corrosión (ASTM D4627) y la respuesta ante los procesos de mecanizado entre otros parámetros.

²⁵ Nota: en la bibliografía podrán consultarse distintas fuentes de información para ampliar al respecto.

²⁶ <http://www.metalmecanica.com/temas/Maquinado-ambientalmente-sostenible+121869>

- **Pintura en polvo**

Tienen un creciente reconocimiento a nivel mundial por las numerosas ventajas que presentan, a diferencia de las pinturas convencionales líquidas, al agua o con solvente.

Se comercializan en estado sólido (no contienen solventes), logrando una menor cantidad de residuos finales y menores emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), convirtiéndolo en un producto de menor impacto ambiental. Se aplica mediante un proceso electrostático con posterior curado en horno. Para un alto número de piezas se automatiza su aplicación, reduciéndose el goteo y escurrido, permitiendo un bajo porcentaje de piezas descartadas (mayor calidad), un mayor rendimiento y el consecuente ahorro en los costos.

Su versatilidad habilita su uso en la industria de electrodomésticos, automotriz, de autopartes, grifería, máquinas e implementos agrícolas, equipamiento de laboratorio, tubos y cañerías, entre otras varias aplicaciones.

- **Sustitución de solventes orgánicos**

En la actualidad existen propuestas concretas de sustitución de disolventes orgánicos con diferentes grados de aplicabilidad, por ejemplo, para el desengrase de metales y piezas se propone la utilización de una solución alcalina acuosa en reemplazo de sustancias como el diclorometano, tetracloroetileno, tolueno, xileno entre otros²⁷.

3.4 Gestión eficiente de residuos

Los residuos generados por la industria metalúrgica se dividen en tres tipos, debiendo clasificarse y separarse desde el origen:

- **Residuos peligrosos:** residuo que presenta una o varias características de peligrosidad (toxicidad, corrosión, combustible u otra). Su gestión incorrecta puede suponer un grave riesgo para la salud humana y para el ambiente.
- **Residuos industriales:** aquellos resultantes de los procesos de fabricación, transformación, embalaje, entre otros, que no poseen alguna característica de peligrosidad. Como residuo característico de la actividad existen diversos tipos de virutas metálicas, piezas defectuosas, recortes y restos de metales (como aceros, fundiciones, bronces, aluminio, y latones), cartón de embalaje, entre otros.
- **Residuos asimilables a domiciliarios:** provienen generalmente de las actividades administrativas, comedores y vestuarios. Entre ellos podemos citar: papel y cartón, restos de alimentos, latas, botellas de vidrio, plásticos, etc.

De las categorías previamente mencionadas, el sector metalmeccánico no se caracteriza por ser un gran generador de residuos peligrosos. Estos pueden surgir del uso de productos químicos tales como: solventes usados; aceite mineral usado (proveniente del recambio en máquinas y equipos), lodos provenientes del proceso de mecanizado, filtros con resto de pintura u otras sustancias contaminantes, estopas de limpieza y guantes con grasa, entre otros ejemplos. En su mayoría, en este tipo de residuos, al no poseer un valor comercial, son enviados a un operador habilitado para su disposición final.

Para el caso de los residuos industriales, al tratarse de materiales que poseen un valor en el mercado, su destino preferencial es la industria del reciclado donde estos residuos se convierten en materia prima de otra actividad industrial, como por ejemplo la fundición.

²⁷ http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3085.pdf Proyecto Fitema - Antena de transferencia de tecnología - Disolventes.

Siendo que la actividad industrial se basa en el principio de la transformación de las materias primas en producto, todo residuo que se genera representa ineficiencia y se traduce en forma directa en un aumento de los costos de producción.

Se recomienda seguir la lógica esbozada en la pirámide de jerarquía en el manejo de los residuos, que se orienta desde acciones con mayor efectividad y menor costo para la empresa (prevención), hacia acciones con mayor costo para la misma (disposición final):



Gráfico 2: pirámide de gestión de residuos. (Fuente: ADIMRA).

Prevención/ minimización: aplicación de buenas prácticas en procesos para evitar o bien reducir la generación de residuos.

Reutilización: toda operación mediante la cual productos o componentes se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos.

Reciclado: operación mediante la cual los materiales residuales son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad.

Valorización: acondicionamiento, técnica o proceso que facilite el recupero de materiales y bienes al final de su vida útil (o el poder calorífico de los mismos), asegurando la utilización como insumo o materia prima sustitutiva.

Disposición final: acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permiten evitar riesgos al ambiente y a la salud de la población.

Programa de gestión de residuos

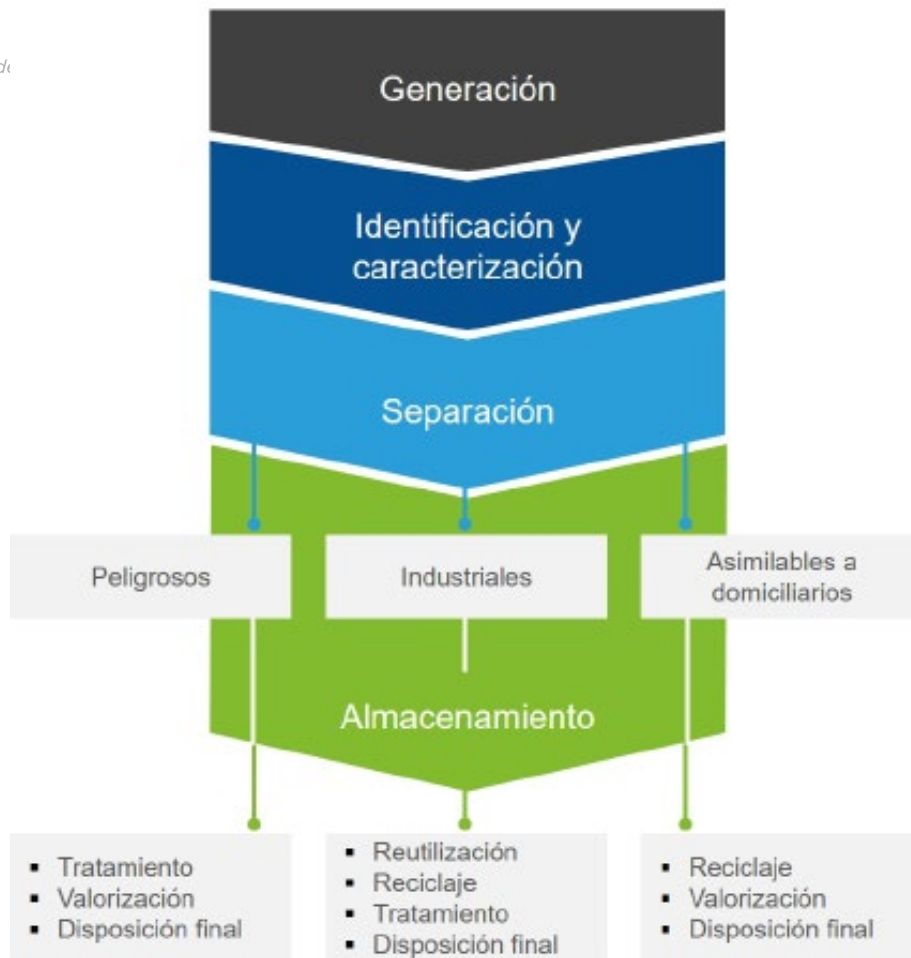
Consiste en un conjunto de medidas tendientes a ordenar de manera sistematizada y eficaz las etapas de generación, separación en origen, recolección, transporte, tratamiento, valorización y disposición final de los residuos.

El desarrollo de un programa de gestión de residuos debe definir los objetivos, así como a los responsables y recursos necesarios para implementarlo dentro de la empresa. El programa debe establecer los siguientes objetivos generales enmarcados en las prioridades antes citadas:

- minimizar la cantidad de residuos generados,
- incrementar la separación en origen de los diferentes tipos de residuos,
- extender la recolección de residuos a todos los sectores de la empresa, desarrollando una política ambiental y contabilizando el total de las cantidades generadas e
- incrementar el reciclado, la reutilización y transformación biológica de residuos, propendiendo a la valorización de los mismos.

El siguiente diagrama grafica las etapas de la gestión:

Diagrama 5: etapas de gestión de residuos
(Fuente: ADIMRA).



El programa debería contemplar el desarrollo de las siguientes etapas:

1. Detectar los puntos de mayor generación de residuos.
2. Identificar los tipos de residuos generados por proceso y por sector (recepción de materia prima, producción, comedor, sectores administrativos).
3. Definir puntos de ubicación para los contenedores identificándolos correctamente según el tipo de residuo a contener, en atención a los puntos de mayor generación de la planta.

4. Definir las zonas de almacenamiento para cada tipo de residuo.
5. Gestionar las corrientes residuales según el tipo de residuos y su destino (disposición municipal, industria recicladora, operador de residuos habilitado).
6. Capacitar periódicamente sobre la gestión²⁸ y clasificación de residuos (para sistematizar su separación) y en el adecuado registro²⁹ de las cantidades generadas por tipo, fecha y responsable de retiro, transporte, etc.



Diagrama 6: ejemplo de puntos de generación y almacenamiento de residuos. (Fuente: ADIMRA)

Observe:

- Los films y plásticos siempre almacenarlos en zonas protegidas del sol. Los rayos UV disminuyen su calidad y por lo tanto su valor de venta.
- Proteger las tarimas de la intemperie puesto que aquellas que se encuentran en mal estado no son reutilizables.

En lo atinente al almacenamiento de los residuos peligrosos deben gestionarse conforme a la legislación vigente local y/o nacional que aplique al caso. Para el acopio de los mismos considere que en los puntos de generación (sector o puesto de trabajo), cada recipiente deberá encontrarse identificado con rótulo indeleble e inalterable indicando la/s categoría/s sometida/s a control y la descripción del/los residuos/s contenidos dentro de éstos. Respecto del transporte y disposición final deberán utilizarse transportistas habilitados y operadores autorizados conforme a la legislación vigente.

²⁸ Nota: cuando la industria se encuentre localizada en el predio de un parque o sector industrial, una gestión conjunta de los residuos optimiza los costos de disposición.

²⁹ Nota: el registro de las cantidades permitirá adecuar los volúmenes de almacenamiento respecto de los períodos de retiro por parte del transportista.

4.

Opciones de
mejoras en procesos

4.1 Benchmarking en el sector

El benchmarking constituye un método estandarizado de recolección y presentación de información en relación a la performance de las organizaciones, permitiendo la comparación de eficiencias; a los efectos de brindar referencias externas y orientación sobre las mejores prácticas en uso para aplicar a los procesos productivos. Esto permite tomar como referencia los mejores aspectos o prácticas de otras industrias (punto de comparación o “benchmark”) del mismo sector o pertenecientes a otro, y adaptarlos a la propia industria introduciendo mejoras y reduciendo costos.

Como ejemplo, se compararán simplificadaamente cinco industrias nacionales, de estructura diferentes, en las cuales se implementaron distintas mejoras técnicas en sus procesos durante los dos últimos años. Se calcularon los indicadores (benchmark) en relación al consumo de algunos insumos y residuos generados, evaluando el aporte de cada una de las tecnologías incorporadas a los respectivos procesos. Los indicadores definidos fueron los siguientes:

Consumo anual de energía eléctrica en kWh por toneladas de producción (CE)

$$EE = \frac{kWh}{t}$$

- **Consumo anual de agua de m³ por toneladas de producción (CA)**

$$CA = \frac{m^3 \text{ de agua}}{t}$$

Consumo anual de fluido de corte en m³ por tonelada de producción (CF)

$$FC = \frac{m^3 \text{ de fluido de corte}}{t}$$

Generación anual de trapos con aceite y grasa en kilogramos por toneladas de producción (GR)

$$GR = \frac{kg \text{ de trapos}}{t}$$

Generación anual de virutas en kilogramos por toneladas de producción (GV)

$$GV = \frac{kg \text{ de virutas}}{t}$$

	INDUSTRIA 1	INDUSTRIA 2	INDUSTRIA 3	INDUSTRIA 4	INDUSTRIA 5
Características del proceso	No realizan tratamientos superficiales en su proceso. Utilizan equipamiento de corte-prensado- plegado y soldadura.			Realiza tratamientos superficiales en su proceso.	No realiza tratamientos superficiales en su proceso.
				Utiliza equipamiento de prensado-plegado y soldadura.	Mayormente realiza trabajo de tornería.
Tecnología incorporada	Equipamiento de última tecnología de corte y de soldadura.	Renuevan regularmente los equipos de soldadura MIG/TIG (30 equipos).	Adquisición de prensas y de equipo de corte por láser.	Realiza tratamiento superficial de fosfatizado como parte del proceso.	Reciente adquisición de tornos CNC.
Trabajadores	78	220	200	21	12
CE: consumo de energía eléctrica (kWh/t anual)	686	500	122	807	19667
CA: consumo de agua (m ³ /t anual)	1.0	2.4	---	15.4	26.5
CF: consumo de fluido de corte (m ³ /t anual)	0.1	1.5	0.2	---	49.6
GR: generación de trapos (kg/t anual)	0.1	1.7	0.1	0.4	1.5
GV: generación de virutas (kg/t anual)	0.1	0.4	0	--	73.5

Tabla 22: benchmarking en industrias del sector.

En la tabla se observa que las industrias con mayor cantidad de personal, resultan más eficientes respecto de los insumos utilizados y las toneladas producidas, generando menor cantidad de descartes.

De la comparación de los indicadores por industria, otra conclusión que surge es el aporte a la producción sustentable de la tecnología de corte láser y plasma. En la industria 1 y 3, la generación de virutas es mínima, así como el consumo de fluidos de corte.

Por otro lado, se observa que los equipos de torneado, así como los procesos de tratamiento superficial, representan un importante consumo energético, de fluidos de corte y de agua como sucede en el caso de la industria 5 y la industria 4.

Como se demostró en los casos que han incorporado tecnología de punta para las etapas de corte, para impulsar una producción sustentable, además de la implementación de buenas prácticas, es necesario invertir en nuevas tecnologías más limpias, lo cual dependerá en forma directa de la capacidad inversión que tenga la industria, pudiendo acompañarse con las herramientas de financiamiento disponibles.

4.2 Mejores técnicas detectadas

Ingeniería inversa

El proceso de ingeniería inversa consiste en la captura de las dimensiones de una pieza, compuesta de determinadas formas y de una complejidad tal, que no sería posible mediante métodos tradicionales o si lo fuera, se requeriría de un tiempo considerablemente mayor reduciendo así la productividad notablemente.

Incluir entre las etapas de mecanizado la tecnología de ingeniería inversa y/o de simulación asegura un ahorro en tiempos de producción y optimiza el uso de materia prima, reduciendo consecuentemente el descarte de material por errores.

Para ello se utiliza un scanner 3D, permitiendo reconstruir un modelo digital del objeto escaneado.

Este recurso³² es utilizado por las industrias para sustituir importaciones de piezas y repuestos, reparar piezas, llevar a cabo rediseños, estudios de análisis competitivos, y optimizar tiempos de desarrollo, entre otras alternativas.

En las ilustraciones³³ se identifican algunas de las etapas del scaneo 3D de una pieza.

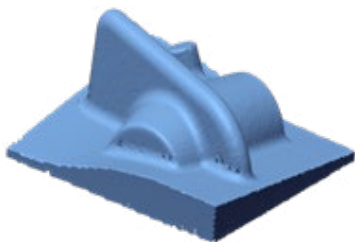


Imagen 15: malla producto del escaneo.

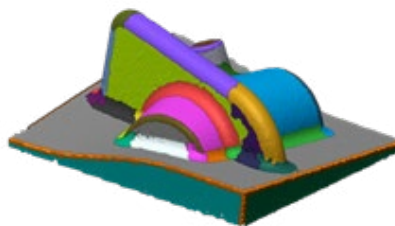


Imagen 16: identificación de las geometrías.

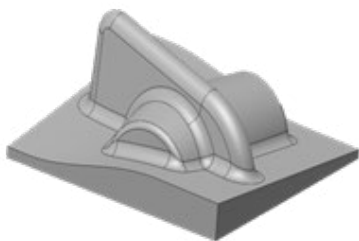


Imagen 17: parametrización.

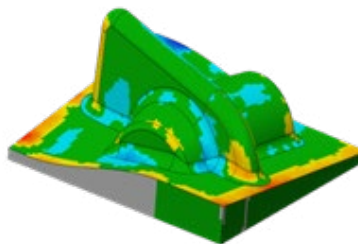


Imagen 18: comparativa entre la pieza escaneada y la real.

Simulación

La simulación consiste en modelar una pieza en una malla 3D de elementos finitos con las especificaciones de las condiciones de operación, material, forma, fuerzas aplicadas, entre otras variables que determinan las condiciones de contorno del modelo a simular.

³² Nota: ya sea para diseñar nuevos productos, partiendo de uno existente, o para diseñar productos complementarios a éste, es importante contar con la documentación 3D para ahorrar tiempo y disminuir la tasa de fracasos asociados a la falta de información original.

³³ Fuente: ADIMRA.

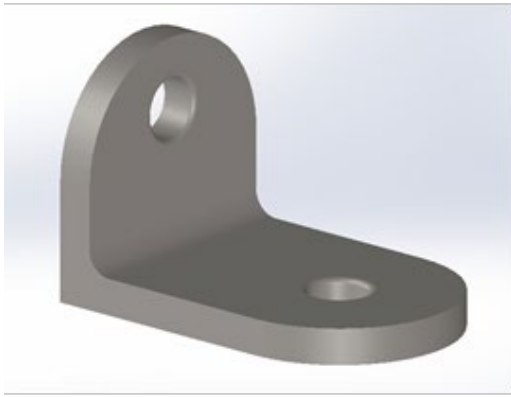


Imagen 19: modelo 3D de la pieza a simular.

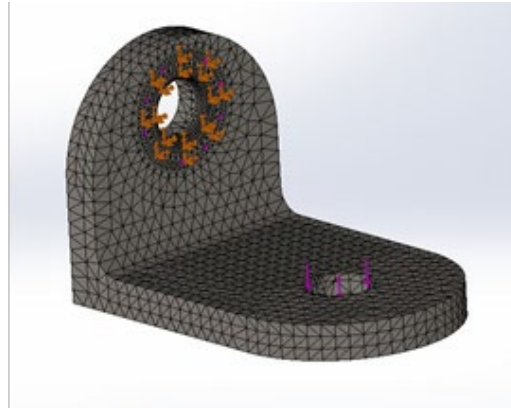


Imagen 20: mallado y condiciones de borde iniciales.

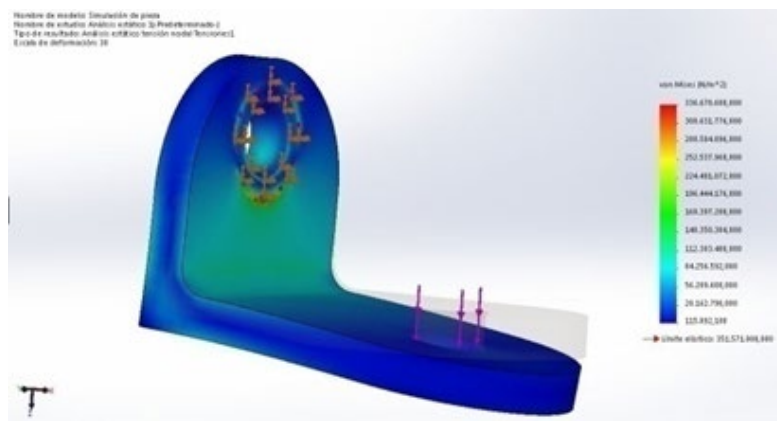


Imagen 21: resultados de la simulación³⁴.

A partir de la modelación de las piezas se puede obtener un espectro muy variado de resultados que serán de utilidad para definir el diseño o condiciones de operación reales.

Los programas (software) de simulación admiten la carga de parámetros geométricos de la pieza, del proceso (herramientas, máquinas de mecanizado, matrices, temperaturas,) y características del material (dureza, tensiones, etc.). Las cargas de tales variables permiten diagramar el proceso de mecanizado que se llevará a cabo en la planta, los efectos producidos por los cambios que se puedan llegar a introducir o tensiones de la pieza que se generen, limitaciones de formación, de mecanizado, de los materiales, tolerancias de las piezas y a partir de los resultados virtuales realizar las correcciones necesarias que permitan optimizar el proceso de fabricación.

La aplicación de las herramientas de simulación en el proceso de mecanizado es muy amplia. Se puede utilizar para detectar puntos de estrés en una pieza o analizar las diferencias que puedan presentar un material ante otro o el efecto de la temperatura en los puntos críticos expuestos al mecanizado o durante el corte.

También se puede aplicar la simulación en forjado, logrando reproducir de manera virtual procesos de forjado reales con el objeto de poder predecir errores e introducir cambios previamente a la escala de producción industrial, generando un incremento de la productividad y una reducción de los costos.

³⁴ Centro de Servicios Industriales, ADIMRA.

Utilizando el software especializado es posible realizar simulaciones de: forja de matriz cerrada, forja libre, extrusión, forja de rodillos laminadores, recaladoras, forja de anillo. Además, es posible verificar con el simulador el llenado de la matriz, el seguimiento de la zona central de la pieza forjada, y predecir: daños y pliegues, temperaturas y esfuerzos durante el forjado en pieza y matriz, entre otras alternativas.

La simulación aplicada de manera correcta no solo incrementa la productividad de la empresa, sino que genera un ahorro de energía y materiales, debido a que disminuye los ensayos de prueba y error reduciendo el desperdicio de materia prima y el desgaste de las matrices, aumentando su vida útil.

VER CASO DE APLICACIÓN V EN EL ANEXO A.

Impresión 3D

Es una técnica capaz de generar sólidos tridimensionales mediante la utilización de impresora 3D. Previamente se requiere crear un archivo utilizando algún software de modelado 3D para indicarle a la impresora qué es lo que debe modelar. A partir del modelo tridimensional digitalizado, la pieza se imprime en la forma y las dimensiones deseadas mediante la adición capa a capa de un material.

Generalmente se utiliza un termoplástico denominado ABS (acrónimo de sus tres monómeros acrilonitrilo, butadieno y estireno).

Esta herramienta permite crear diversas piezas sin la necesidad de utilizar moldes. Esto resulta ideal para realizar prototipos a bajo costo, terminación y tolerancias dimensionales.

La principal diferencia respecto de las formas tradicionales de elaboración de piezas y objetos es que, mientras en el primer caso el objeto a modelar se obtiene quitando el material sobrante, en la impresión 3D solo se utiliza estrictamente el material a utilizar, lo que produce importantes ahorros de material y en la generación de scrap o residuos.

En el sector metalmecánico, esta tecnología es utilizada para desarrollar piezas para robótica, prototipos para la industria automotriz, carcasas para electrodomésticos, piezas funcionales para producción de energía, piezas de repuestos para la industria aeronaval, piezas de recambio y prototipos para la fabricación de máquinas y herramientas, entre otros usos.

VER CASO DE APLICACIÓN VI EN EL ANEXO A.

4.3 Modificación de procesos

Alternativas en mecanizado

Existen diferentes alternativas para reducir o eliminar el uso de fluidos de cortes en el mecanizado como, por ejemplo:

1. Mecanizado en seco o “dry machining”.
2. Mecanizado de alta velocidad (MAV).
3. Sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL).

MECANIZADO EN SECO O “DRY MACHINING”

Consiste en realizar el mecanizado de arranque de viruta sin fluidos de corte, gracias a determinados recubrimientos utilizados en las herramientas de arranque y teniendo en consideración otros factores que también influyen en esta técnica:

- **Aceros rápidos:** el mecanizado en seco no conviene aplicarlo con herramientas de aceros rápidos ya que puede comprometer la dureza de las mismas.
- **Metal duro:** las herramientas de corte de metales duros no presentan las limitaciones de los aceros rápidos y son ideales para realizar el mecanizado en seco.
- **Características del recubrimiento:** la herramienta de corte, además de poseer determinado material debe contar con un recubrimiento que asegure un bajo coeficiente de fricción (el cual disminuye la generación de calor en la zona de corte) y una baja conductividad térmica (mitigando el calor que se transfiere a la pieza, disipándose este en las virutas, y prolongando así la vida útil de la herramienta de corte).

Asimismo, el mecanizado asistido con aire comprimido es una variante del mecanizado en seco, que utiliza aire comprimido para remover las virutas remanentes en las cavidades.

MECANIZADO DE ALTA VELOCIDAD

El mecanizado de alta velocidad consiste en realizar el mecanizado de la pieza a velocidades de 5 a 10 veces mayores que la operación normal. Se basa en realizar varias pasadas de arranque de viruta de poca profundidad a altas velocidades contrariamente al proceso convencional que realiza, en comparación a este, pasadas de profundidad a una velocidad lenta.

SISTEMA DE MÍNIMA CANTIDAD DE LUBRICANTE (MQL³⁵)

El sistema MQL se basa en la aplicación de fluido de corte en mínimas cantidades a altas velocidades de flujo, mediante el uso de atomizadores y optimizando su dirección.

El aceite que se utiliza en esta técnica debe tener mayor viscosidad, densidad, calor específico y menor constante de conductividad calórica que los aceites utilizados en las técnicas convencionales. Esta técnica se basa en direccionar el flujo de corte lo más próximo al punto de corte e incrementar, a través del aumento de la velocidad de flujo, la capacidad de

³⁵ *Minimum Quantity of Lubricant.*

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mecanizado en seco	No utiliza fluido de corte, representando un ahorro en la compra de insumos y en el costo de disposición final de los fluidos agotados. No hay descarte de piezas manchadas por fluidos de corte. El gradiente de temperaturas desarrollado en la pieza que está siendo mecanizada es mínimo en comparación al mecanizado convencional.	No es conveniente para todos los procesos de mecanizado. Es aplicable con herramientas de metal duro. Generan mayor cantidad de emisiones de material particulado.
Mecanizado de alta velocidad	La elevada velocidad de corte permite que el tiempo de contacto de la herramienta con el fluido de corte sea menor, consumiendo así menor cantidad de fluido que el mecanizado convencional.	Las herramientas de corte requieren recubrimiento. Es aplicable con herramientas de metal duro. Requiere operarios capacitados en el manejo de los programas para el mecanizado a alta velocidad, y no a pie de maquina como los equipos convencionales. Requiere la compra de un porta herramientas apto al mecanizado de altas velocidades.
MQL	Se reduce notablemente el consumo de fluido de corte en comparación al utilizado en el proceso convencional.	Requiere de sistemas que automaticen la refrigeración en las etapas de mecanizado y no refrigerar en los tiempos muertos tales como el cambio de herramienta.

Tabla 23: comparación de procesos.

Alternativas en desengrase

LIMPIEZA ACUOSA AUTOMATIZADA

Las piezas son transportadas a través de una serie de cámaras, cada una con una concentración diferente de disoluciones de limpieza y aclarado, estas serán aplicadas en forma de spray que podrá ser recuperado y reutilizado en caso de haber excesos en la pieza. Este sistema consume un 90 % menos de agua en comparación con el lavado alcalino, y un 80% menos que los sistemas acuosos manuales; mientras que los costes de las sustancias químicas se reducen en un 40 % y un 95 % respectivamente.

LAVADO ACUOSO CON PRESIÓN

Este proceso limpia las piezas por lotes y es idóneo para piezas más grandes. Las piezas se introducen en una cámara cerrada y se exponen a la solución limpiadora inyectada a presión desde todas direcciones. Al igual que el anterior proceso es posible recuperar y reutilizar las soluciones. Es posible utilizarlo en metal, plástico, recubrimientos de barniz, etc.

LIMPIEZA ULTRASÓNICA

Consiste en aplicar ondas sonoras a la solución donde se encuentra inmersa la pieza. Estas ondas producen diferencias bruscas de presión y temperatura que despegan la suciedad de la superficie. Este método de limpieza es aplicable a casi todo tipo de piezas y a materiales muy diversos como cerámica, plástico y aluminio entre otros y con el fin de optimizar el proceso se debe tener en cuenta una elevada temperatura, la posición de las piezas en el líquido (para maximizar la superficie expuesta) y el diseño del contenedor de las piezas para minimizar la interposición a los ultrasonidos.

PROCESO	APLICACIONES	BENEFICIOS OPERACIONALES	LIMITACIONES
Limpieza acuosa automatizada	Piezas pequeñas	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina el uso de disolventes. • Reduce el consumo de agua. • Reutilización de agentes de limpieza. • Fácil instalación y operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede no sustituir los sistemas de vapor para algunas piezas delicadas y ocupa más espacio. • Requiere tratamiento de aguas residuales. • Relativo aumento de la demanda energética.
Lavado acuoso con potencia	Piezas grandes y pequeñas	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina el uso de disolventes. • Reduce el tiempo de limpieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • La presión y temperatura pueden ser demasiado grandes para algunas piezas. • Requiere tratamiento de aguas residuales.
Limpieza ultrasónica	Cerámica, aluminio, plástico, metal, cristal, cables, equipo de electrónica, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina el uso de disolventes. • Puede limpiar entre fisuras pequeñas. • Efectivo en relación al costo. • Más rápido que métodos convencionales. • Limpian inorgánicos. • Puede emplearse con frecuencia detergentes neutrales o biodegradables. 	<ul style="list-style-type: none"> • La pieza debe poder sumergirse. • Es preciso experimentar para la optimización de la disolución y niveles de cavitación para cada operación. • Aceites densos y grasas pueden absorber energía ultrasónica. • La energía requerida suele limitar el tamaño de las piezas. • Requiere tratamiento residual de aguas con disoluciones acuosas.

Tabla 24: Alternativas en desengrase³⁶.

³⁶ Fuente: Proyecto Fittema – Antena de transferencia de tecnología – Disolventes. http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3085.pdf

5.

Resumen de
las medidas
de producción
sustentable

En las siguientes tablas se presentan de forma resumida las medidas y recomendaciones de mejora propuestas para los procesos analizados del sector metalmeccánico.

5.1 Mecanizado con arranque de viruta

ASPECTO AMBIENTAL	RECOMENDACIÓN DE MEJORA	CONSIDERACIONES
Generación de nieblas	<p>Emplear máquinas con protecciones.</p> <p>Instalación de sistemas de captación y depuración de nieblas y aceites. En caso de que los vapores/nieblas persistan, utilizar elementos de protección respiratoria acordes al contaminante.</p>	<p>Los equipos que disponen de protección permiten retener las salpicaduras de fluidos de corte, así como la proyección de partículas.</p> <p>El objetivo de estos sistemas de captación de nieblas es impedir la contaminación atmosférica y reducir las emisiones producidas en el entorno de trabajo.</p> <p>Además se obtiene una cantidad de fluido que al ser filtrado es posible de reutilizar.</p>
Consumo de fluido de corte	<p>Controlar periódicamente el fluido con el fin de alargar su vida útil.</p> <p>Reutilizar el fluido de corte procedente del escurrido de piezas y virutas, una vez readecuado.</p> <p>Utilizar nuevas tecnologías que permitan eliminar o reducir el consumo de fluido de corte (mecanizado en seco, mínima cantidad de lubricante).</p>	<p>Establecer un registro de control del fluido de corte (aplicaciones por equipo, seguimiento de parámetros pH, viscosidad, espuma, etc.).</p> <p>Almacenar y manipular correctamente los productos químicos.</p>
Fluido de corte agotado	<p>Utilizar equipos auxiliares de separación de fluido de corte de piezas y virutas (equipos vibratorios, sopladores, separadores centrífugos).</p> <p>Reducir el volumen a disponer mediante tratamientos (primarios, secundarios y terciarios).</p>	<p>En caso de no poder recuperarlo, disponerlo de manera adecuada según la legislación vigente.</p>
Filtros usados de separador de nieblas	<p>Realizar un mantenimiento periódico de limpieza de los filtros y registrarlo.</p> <p>Utilizar prensa para recuperar el aceite de corte contenido en los filtros usados.</p>	<p>En caso de no poder recuperarlo, disponerlo de manera adecuada según la legislación vigente.</p>
Virutas metálicas	<p>Introducir cambios en la geometría de piezas a mecanizar.</p> <p>Utilizar equipamiento como centrifugadoras, compactadoras y briqueteadoras para valorizar la comercialización de virutas.</p> <p>Almacenar las virutas correctamente y valorizarlas, destinándolas a fundición o acerías.</p>	<p>Los cambios en el diseño de piezas pueden reducir la formación de virutas y favorecer el escurrido de los fluidos de corte durante el proceso.</p> <p>El escurrido de las virutas y de las piezas se puede realizar por fuerza de gravedad inclinando el recipiente de contención. Las virutas para su reciclado deben estar libres de contaminantes y humedad.</p>

<p>Piezas metálicas descartadas, recortes, descarte de herramientas de corte</p>	<p>Rediseño de la pieza para optimizar el uso de metal. Se recomienda el uso de nuevas tecnologías como: ingeniería inversa, impresión 3D, simulación.</p> <p>Acondicionamiento y fundición de metales para su reutilización.</p> <p>Utilizar un material de partida lo más cercano posible al tamaño de la pieza final.</p> <p>Las herramientas de corte gastadas de los equipos de mecanizado son metales de alta calidad recuperables.</p>	<p>Se puede implementar un sistema de recupero de las herramientas de corte gastadas junto con el proveedor de las mismas.</p>
<p>Consumo energético</p>	<p>Reducir el peso de las piezas a mecanizar, siempre que sea posible.</p> <p>Recuperación energética a partir de ejes y motores.</p> <p>Sustituir sistemas hidráulicos de manipulación y sujeción de herramientas por sistemas eléctricos.</p> <p>Incluir variadores de frecuencia en los equipos eléctricos periféricos de los tornos CNC.</p>	<p>Los procesos con aceleración y frenado, consumen menor cantidad de energía con piezas de menor peso, puesto que el torque y las potencias requeridas son menores.</p> <p>Este tipo de procesos se caracterizan por movimientos rápidos de herramienta y pieza, lo que genera grandes aceleraciones en un espacio de tiempo muy corto.</p> <p>Mientras el sistema hidráulico tiene que estar activo durante los períodos inactivos de la máquina, el sistema eléctrico solo consume energía en situaciones específicas.</p>
<p>Consumo de lubricante</p>	<p>Controlar las juntas y conductos del circuito de suministro de aceites (lubricantes, aceite hidráulico).</p>	

Tabla 25: propuestas de mejora para mecanizado con arranque de viruta.

5.2 Deformación sin arranque de viruta

ASPECTO AMBIENTAL	RECOMENDACIÓN DE MEJORA	CONSIDERACIONES
Consumo de emulsión y aceite de laminación mineral	Evitar la contaminación de las emulsiones y aceite de laminación mineral por grasa de los equipos o agua de enfriamiento, manteniendo una limpieza óptima de la superficie de las bandas.	Estas precauciones pueden consistir en: mantenimiento y limpieza de los equipos, circuitos de filtrado de aceite, control de los parámetros de la emulsión o aceite (pH, índice de saponificación, etc.).
Consumo energético	Controlar fugas de vapor o de aire comprimido ya que estas suponen un importante consumo energético. Implementar laminación en continuo en lugar de laminación en discontinuo convencional para acero de baja aleación y acero aleado.	
Aguas residuales y lodos	Deben ser tratadas en plantas de separación de emulsiones.	En estas plantas se obtienen lodos que convenientemente pueden ser filtrados y prensados previo a su disposición final.
Emisión de polvo, nieblas de aceites, vapores de hidrocarburos	Implementación de equipos auxiliares de extracción de niebla y otras emisiones ambientales (campanas, sistemas de extracción localizada).	El polvo de jabón puede recogerse y filtrarse del aire extraído.

Tabla 26: propuestas de mejora para deformación sin arranque de viruta.

5.3 Desengrase de piezas

ASPECTO AMBIENTAL	RECOMENDACIÓN DE MEJORA	CONSIDERACIONES
Generación de residuos	Optimizar el posicionamiento de la pieza durante el mecanizado.	Colocar la pieza durante el proceso de mecanizado de manera que se reduzca al máximo la retención de fluido de corte en el interior de ésta, resultando más fácil de limpiar y produciendo menos residuos.
Líquidos y barros residuales (en desengrase con líquido)	Mantenga las cubas de desengrase cubiertas. Utilice equipamiento para reducir el volumen de los barros generados en el desengrase, por ejemplo: filtros prensa. Utilice equipamiento para prolongar la vida de los baños de desengrase mediante separadores, equipos de filtración. Adopte medidas necesarias para impedir derrames.	Impide la contaminación del baño y si fuera a temperatura mantener el calor del baño. Sacar humedad a los barros generados reduce el peso del mismo, reduciendo los costos del transporte y la disposición final. Los evaporadores pueden ser una opción para la reducción de volumen de barro o para el recupero del agua de los baños agotados.
Vapores	Los sistemas de desengrase de emisión cero, que se emplean en la limpieza de metales, presentan una configuración de trabajo cerrada, con lo que se consigue la regeneración y reciclado del disolvente.	
Consumo de productos desengrasantes	Sustituir el uso de solventes orgánicos, por procesos de fosfatación o de limpieza en base acuosa. Registrar el uso y recambio de solventes utilizados. Implementar nuevas tecnologías para reducir el consumo de solventes (limpieza acuosa automatizada, limpieza ultrasónica, lavado acuoso con presión).	No utilizar solventes que puedan generar vapores con compuestos orgánicos volátiles (COV). Los desengrasantes halogenados pueden sustituirse por soluciones alcalinas.

Tabla 27: propuestas de mejora para desengrase de piezas.

VER CASO DE APLICACIÓN VII EN EL ANEXO A.

5.4 Soldadura por gas o por arco

ASPECTO AMBIENTAL	RECOMENDACIÓN DE MEJORA	CONSIDERACIONES
Generación de gases y vapores	<p>Elimine toda la pintura y disolventes antes de empezar a soldar.</p> <p>Mantener la varilla de aporte libre de contaminación: humedad, polvo o suciedad (por ejemplo: grasas o aceites).</p> <p>Asegúrese que se realice el trabajo de soldadura debajo de una campana de extracción o con equipo de extracción localizada.</p>	La pintura y/o solvente que cubra se evapora con el calor de soldadura. Siempre lea la ficha de los electrodos previo a iniciar el trabajo de soldadura.
Generación de chispas	<p>En soldaduras por arco utilice el gas de protección que corresponda al material de aporte que se esté utilizando, de lo contrario se generaran chispas indeseadas y pérdida de material.</p> <p>En caso de utilizar mezcla de gases, incluya mezcladores en el proceso y registre las concentraciones utilizadas.</p> <p>En el caso de utilizar aire, reducir la humedad contenida en el mismo bajando la temperatura y separando el condensado.</p>	
Generación de humos metálicos	<p>Asegúrese que se realice el trabajo de soldadura debajo de una campana de extracción o con equipo de extracción localizada.</p>	El plomo, zinc y cadmio tienen bajos puntos de fusión por lo que forman fácilmente humos metálicos al soldar estos metales.
Consumo de energía eléctrica	<p>La calibración y mantenimiento de los equipos permite ahorrar energía.</p> <p>Mantener desconectados los equipos de soldadura si no se utilizan durante largos períodos de tiempo.</p>	

Tabla 28: propuestas de mejora para soldadura por gas o por arco.

5.5 Corte

ASPECTO AMBIENTAL	RECOMENDACIÓN DE MEJORA	CONSIDERACIONES
Generación de ruidos	<p>En la medida de lo posible, considerar los horarios de corte para no afectar a los vecinos lindantes del establecimiento.</p> <p>Sectorizar el proceso de corte en un lugar determinado de la planta, dotado de paneles de aislación.</p>	<p>Dependiendo de la tecnología utilizada, hay equipos de corte donde la generación de ruido está más o menos controlada. En todos los casos se recomienda el uso de protectores auditivos para los operarios.</p>
Consumo de gases	<p>Se aconseja registrar los consumos de los gases de corte utilizados, para conocer sus variaciones y ejercer un control de los mismos.</p> <p>Evitar las fugas en las tuberías y asegurarse de que las presiones y mezclas de los gases son las correctas.</p>	<p>Considerar las recomendaciones de manipulación y almacenamiento detalladas en la guía.</p>
Generación de humos y partículas metálicas	<p>Es recomendable contar con sistemas de extracción y filtrado.</p>	<p>Dependiendo de la tecnología utilizada, hay equipos de corte donde la generación de partículas o humos está controlada.</p>
Generación de escoria, de recortes	<p>Se recomienda realizar un adecuado mantenimiento y limpieza de los equipos, con el fin de obtener un corte correcto y así reducir los residuos metálicos generados.</p> <p>Clasificar y compactar los recortes metálicos, para su valorización.</p>	
Líquidos residuales	<p>Utilizar equipamiento para filtrar y recuperar el agua de corte.</p>	

Tabla 29: propuestas de mejora para corte.

6.

Anexo A: casos
de aplicación

Caso I: análisis de ciclo de vida en la fabricación de válvulas para calefones³⁷

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación de análisis de ciclo de vida (ACV) y los resultados obtenidos de la comparación de dos tipos de diseño de válvulas de gas (de un mismo fabricante), mediante el uso del software de acceso libre Open LCA³⁸.

Los escenarios analizados fueron los siguientes:

1. ACV de una válvula de gas manual, para calefones domésticos.
2. ACV de una válvula de gas automática para calefones domésticos.

A continuación, se detallan las fases del estudio siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14044.

Fase de definición del objetivo y el alcance

Objetivo del estudio: comparar el ciclo de vida de dos tecnologías de válvulas controladoras del ingreso del gas para calefones domésticos, para conocer las ventajas y desventajas de una tecnología frente a la otra y así definir cuál de las dos posee una menor huella de carbono.

- Válvula de gas manual con piloto.
- Válvula de gas automática sin piloto.

Unidad funcional: 1 kg de válvula automática/1 kg de válvula manual

Para definir el alcance de un análisis de ciclo de vida, es necesario considerar y describir claramente los siguientes puntos como se define en la norma:

El sistema del producto a estudiar	Extracción de metales que conforman el cuerpo de la pieza manual/automática. Transporte de los insumos para la fabricación. Proceso de deformación y mecanizado del cuerpo metálico de la válvula manual/automática. Distribución de la válvula manual/automática terminada a clientes. Uso de la válvula manual/automática durante 10 años. Disposición final de la válvula manual/automática.
Unidad funcional	1 kg de válvula manual/automática
Límites del sistema	No se incluyen las piezas secundarias en la etapa de fabricación. Se priorizo en el estudio la operación de uso y en el total de los kilómetros recorridos por los proveedores y por la distribución a clientes.
Metodología de la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)	El indicador que se utiliza para evaluar el impacto ambiental es la huella de carbono.
Requisitos relativos a los datos	Los datos correspondientes al uso de la válvula manual con piloto y la válvula automática sin piloto, corresponden a un trabajo de encuesta y registros realizado por INTI Diseño.
Suposiciones	Se estimó un viaje por mes de entrega de insumos por parte de los proveedores. Se estimaron dos viajes por semana de entrega de válvulas a los clientes. En la energía de uso se deben tener en consideración la época del año. A fin de simplificarlo, se utilizó un promedio.
Limitaciones	Parte de los datos utilizados corresponde a base de datos de distintas organizaciones de la Unión Europea.
Requisitos de calidad de datos	Los datos se utilizaron únicamente para establecer una comparativa entre dos situaciones. Se debe tener en consideración que la base de datos del simulador corresponde a simulaciones de procesos con equipamiento diferente al existente en nuestro país.

Tabla 30: elementos para el análisis de ciclo de vida.

³⁷ Adaptación de un estudio publicado por INTI-Diseño Industrial.

³⁸ Open LCA es un software de acceso gratuito sin requerimiento de licencias desarrollado por Greendelta. www.greendelta.com

Fase de análisis del inventario

Se analiza el inventario de los datos, haciendo foco en el consumo de gas por tipo de válvula, los kilómetros recorridos por los proveedores y la distribución de productos terminado.

- **Uso de la válvula**

Los datos han sido relevados mediante encuestas y registros de uso y de encendido de usuarios de calefones domésticos³⁹.

Consumo de gas del piloto: 0,5 m³ por día

Consumo total de gas de un calefón: 1,36 m³ por día

- **Consumo de gas por uso de válvula manual con piloto versus válvula automática sin piloto**

Se calculó el consumo de gas por el uso de las válvulas con y sin piloto encendido, promediando una vida útil de 10 años. En el primer caso, para el uso de válvulas manuales con piloto, se registró un consumo de gas de 496,4 m³ por año. Para el caso de los calefones con válvulas automáticas de alimentación de gas, y sin piloto, se registró un consumo de gas de 313,9 m³ por año, lo que significa un ahorro de 182,5 m³ anuales.

- **Transporte de materias primas y producto final**

Se evaluaron los kilómetros recorridos por los proveedores de cada una de las piezas que conforman la válvula y se estimó un viaje por mes (considerando ida y vuelta).

Kilometros totales (por año) = 8136 km

ACCESORIO	DISTANCIA PROVEEDOR FABRICANTE DE VÁLVULAS
Accesorios de seguridad termoeléctrica	46,7 km
Remaches	18 km
Resortes	28 km
Arandelas	10 km
Goma	47,1 km
Metal	12 km
Aislantes eléctricos	12 km
Fabricación de matrices	48,7 km
Tornería	10 km
Resortes otros	32 km
Otros	74 km
TOTAL (km)	339 km

Tabla 31: distancia recorrida en el transporte de accesorios.

También se calcularon los kilómetros recorridos para la entrega de las válvulas a dos clientes, suponiendo 2 entregas por mes. Así la entrega a cliente uno y cliente dos, suponiendo 2 entregas por mes (ida y vuelta cada una), implicarían:

Kilometros totales (por año)=3312 km

³⁹ https://www.inti.gob.ar/mediateca/seminarios/ciclo_charlas.htm#72 / <https://www.inti.gob.ar/e-renova/erTO/er55.php>

Fase de evaluación del impacto ambiental

Mediante el software libre (Open LCA) se calculó la huella de carbono de ambas válvulas en las etapas de transporte de materias primas, transporte de producto final y uso de las mismas. En el esquema siguiente se indican los porcentajes de emisiones de dióxido de carbono por cada etapa analizada.



Diagrama 7: identificación de etapas de mayor impacto. (Fuente: ADIMRA).

Una vez obtenidos los datos necesarios de entrada y salida, se tradujeron en unidades equivalentes cuantificando el impacto ambiental en los siguientes indicadores:

- **Acidificación:** como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.
- **Potencial de calentamiento global:** medida en la que un gas de efecto invernadero determinado contribuye al calentamiento global.
- **Oxidación fotoquímica:** se produce como consecuencia de la aparición en la atmósfera de oxidantes, originados al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta del sol.

El siguiente cuadro muestra los resultados de los indicadores de impactos ambientales relativos entre los dos diseños de válvulas analizados. Se estableció, por cada indicador de impacto, el valor del 100 % al resultado máximo absoluto entre los dos diseños.

Desde los tres aspectos analizados (acidificación, potencial de calentamiento global y oxidación fotoquímica) el diseño de válvula automática genera menor impacto.

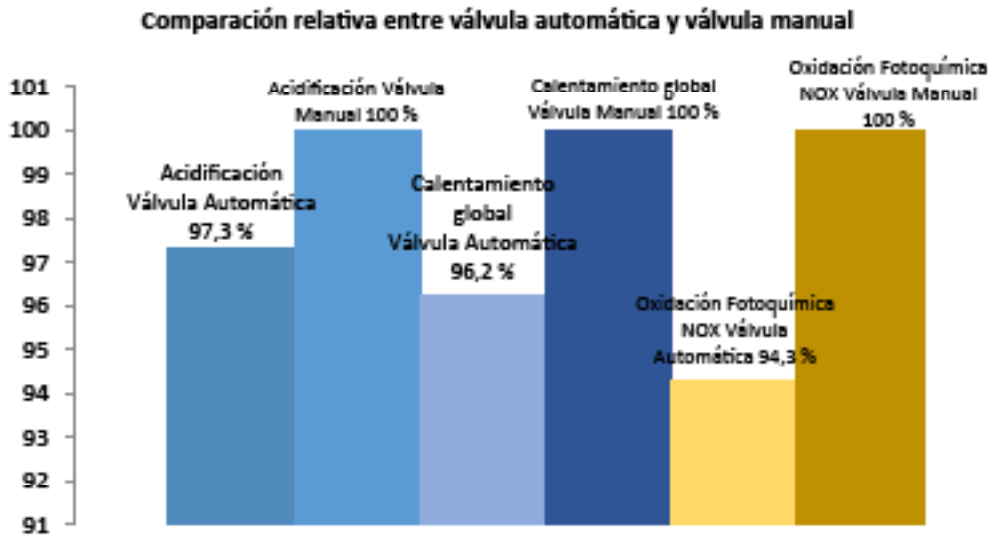


Gráfico 3: comparación relativa entre válvula automática y válvula manual. (Fuente: ADIMRA).

Conclusiones

Del análisis de ciclo de vida se desprende que el diseño de la válvula automática sin piloto reduce notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero, y por lo tanto su huella de carbono es menor.

Caso II: aspectos metodológicos⁴⁰ para definición de una política ambiental, y esquema de un programa ambiental en una tornería.

La definición la política ambiental en la empresa constituye un componente fundamental para la implementación de un sistema de gestión ambiental. Para facilitar la identificación de los aspectos ambientales en una actividad, el siguiente diagrama permite visualizar las etapas para relevar información en cada uno de los procesos que involucran potenciales impactos ambientales.

⁴⁰ Se presenta el tema, de manera simplificada, con fines didácticos.

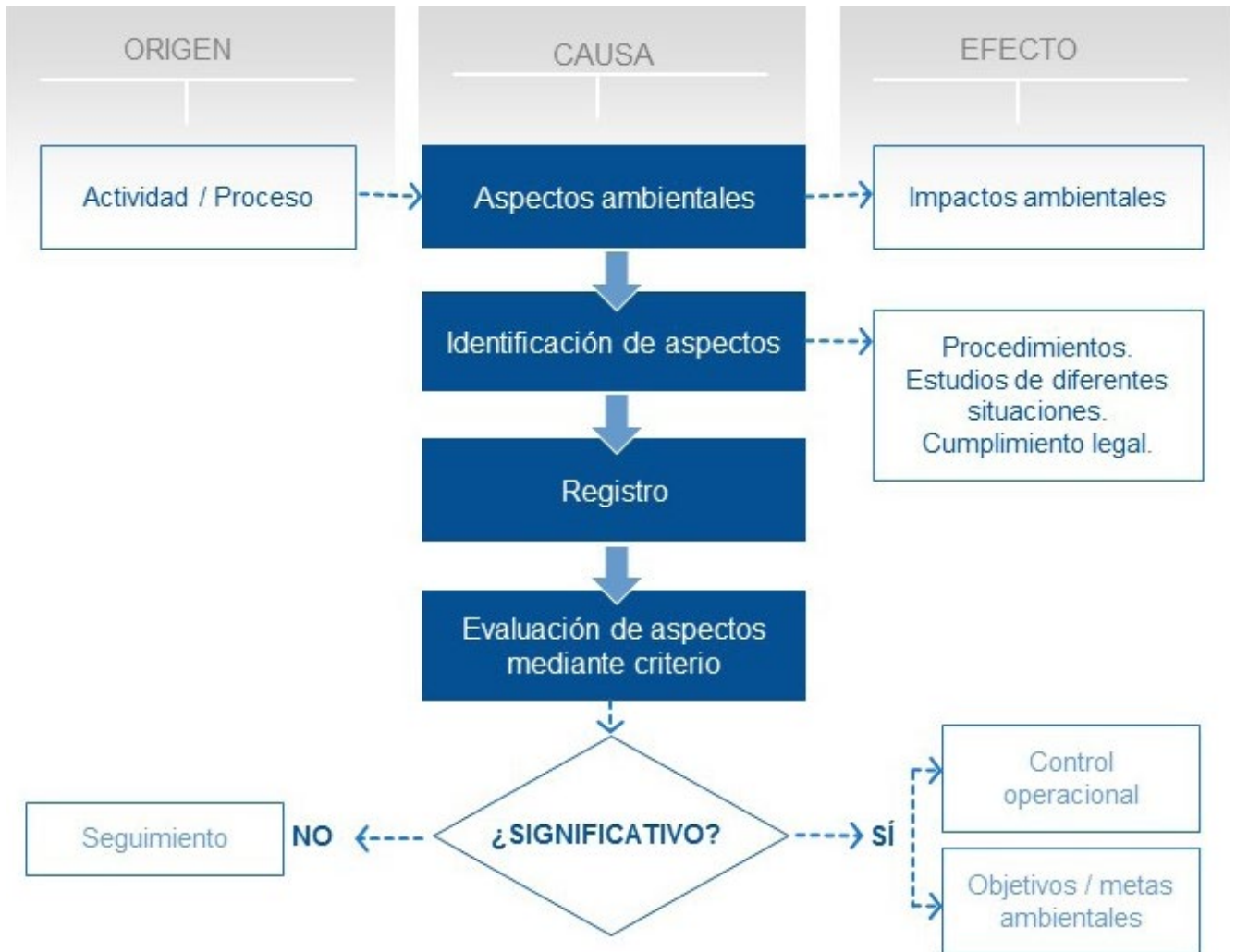


Diagrama 8: identificación y evaluación de aspectos ambientales. (Fuente: ADIMRA).

Se ejemplificará con un proceso de mecanizado con torno CNC, para el cual se relevan sus aspectos ambientales:

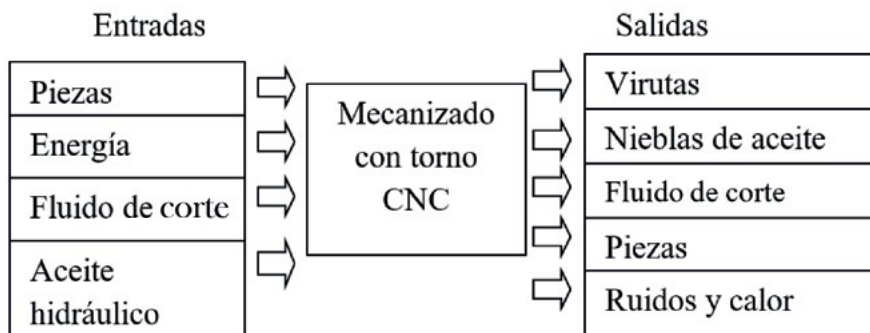


Diagrama 9: esquema de entradas y salidas. (Fuente: ADIMRA).

Aspectos ambientales y sus posibles impactos asociados:

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTOS POTENCIALES
Consumo de materia prima (metales)	Agotamiento de recursos naturales
Consumo de energía (eléctrica)	Agotamiento recursos fósiles no renovables
Consumo de fluidos de corte	Gestión de los residuos y posibles impactos en suelo y agua
Generación de residuos sólidos (varios)	

Diagrama 8: identificación y evaluación de aspectos ambientales. (Fuente: ADIMRA).

Registro simplificado de aspectos productivos, ambientales y legales:

ASPECTOS AMBIENTALES			GENERACIÓN/ CONSUMO ANUAL	PUNTOS DE GENERACIÓN Y CONSUMO	LEGISLACIÓN APLICABLE
Residuos	Peligrosos	Guantes y trapos con grasa y aceite	10 kg	Torno CNC	Ley N.º 24051.
		Barros con virutas	40 kg	Torno CNC	
		Fluidos de corte agotados	337 l	Torno CNC	
Emisiones gaseosas	Nieblas de aceites y fluidos de corte	Fugas de nieblas de fluido de corte	Sin datos	Torno CNC	Ley N.º 19587. Decreto 351/79 Res. 299/2011
Ruidos	-	-	76.5 dB	Torno CNC	Ley N.º 19587/79 Decreto N.º 351/79 Res. SRT 85/2012 Res. 299/2011
Energía	Eléctrica	-	1507 kWh	Planta y administración	
Agua	Residual	-	Sin datos	Limpieza de la zona de trabajo	

Tabla 32: modelo de registro en ejemplo de tornería.

Lineamientos de política, objetivos y metas:

Considerando los aspectos ambientales relevados, se proponen los lineamientos de la política ambiental, objetivos y metas referidas al “uso racional de los recursos”. Otros ejemplos podrían centrarse en la prevención de la contaminación, eficiencia energética, etc.

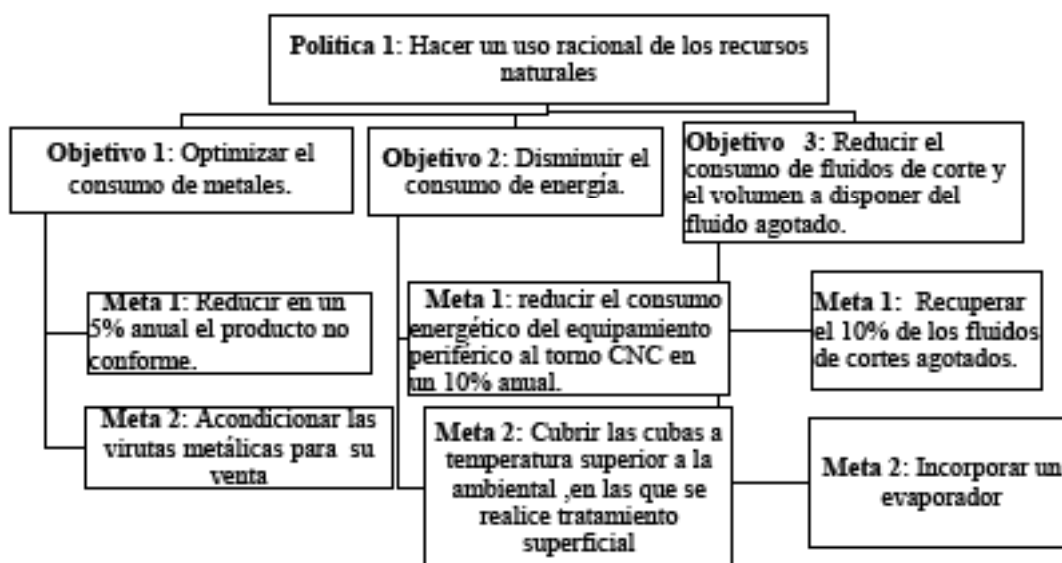


Diagrama 10: lineamientos de política, objetivos y metas.

Esquema de programa ambiental a implementar⁴¹

OBJETIVO	META	ACCIONES	RESPONSABLES	RECURSOS	SEGUIMIENTO/ MEDICIÓN	PLAZO DE CUMPLIMIENTO
Optimizar el consumo de metales.	Reducir en un 5 % anual el producto no conforme.	Capacitar al personal de torneado y mecanizado. Implementar mantenimiento preventivo de las máquinas.	Jefe de producción. Responsable de mantenimiento.	Horas/ hombre	Indicador de producto no conforme. Seguimiento de plan de capacitación. Seguimiento de plan de mantenimiento preventivo.	Anual
Disminuir el consumo de energía.	Reducir el consumo energético del equipamiento periférico al torno CNC en un 10 % anual.	Compra de variadores de frecuencia. Colocar los variadores de frecuencia en los sistemas hidráulicos.	Encargado de compras. Responsable de mantenimiento.	Valor de la inversión. Horas/ hombre	Consumo de energía/mes	Anual

Tabla 33: programa ambiental en ejemplo de tornería.

La puesta en marcha del programa ambiental podrá incluir la implementación de buenas prácticas, tal como las expuestas a lo largo de la Guía.

⁴¹ Se presenta simplificada con fines didácticos.

CASO III: eficiencia energética. Control de la potencia contratada y del factor de potencia.

En una industria se pueden implementar diferentes mejoras relacionadas con la eficiencia en el consumo de energía, por ejemplo:

- Instalar una alarma en la cual ajustar (setear) la potencia contratada.
- Instalar un sistema de capacitores que aseguren un factor de potencia por encima de 0,85.
- Recuperar el calor liberado por el compresor para calentar la planta.

Instalación de una alarma de control del consumo de potencia total

En el presente ejemplo, en el extracto de las facturas de servicio eléctrico de una empresa, se detallan las condiciones contractuales antes de la instalación de la alarma sobre la potencia contratada. La mejora se realizó en marzo del año 2016. En dicha fecha, el establecimiento tenía contratada una potencia de 160 kW, observándose excedida en 205 kW (imagen 22).

El valor excedido corresponde al pico de potencia requerido sobre la red por la industria, en un período anterior (diciembre de 2015). Este valor pico en exceso constituye la base sobre la cual la compañía distribuidora facturará el nuevo requerimiento de potencia hasta tanto la industria ajuste su demanda contratada y/o implemente un sistema de control de consumo para regular la misma.

Condiciones Contractuales	Demanda	Punta	Fuera de Punta
Tarifa: T3 300	Contratada	40	160
Tensión: BT	Registrada	36	147
Cliente: Industria	Excedida	91	205

Imagen 22: datos del consumo eléctrico (febrero 2016). (Fuente: ADIMRA)

Los sistemas de alarma pueden ser de diferentes tipos. Un equipo de control PLC, con conexión a un variador de frecuencia de un motor inductivo, podría ser un ejemplo de activación automatizada de alarma en un sistema con potencia excedida. Otro método de control que se puede incorporar junto con la alarma, es un sistema automático que permita ajustar, por orden de prioridades, los motores que deberían apagarse en caso de excederse de la potencia contratada.

En nuestro caso, a partir de la instalación de la alarma se logró ahorrar el consumo de potencia excedida, aún con una potencia convenida inferior a la de inicios de febrero de 2016. En febrero de 2017, un año después, no se registraba potencia excedida respecto de la contratada.

Febrero 2017	Potencias
Convenida	155,00
Adquirida	98,88

Imagen 23: factura del servicio eléctrico, febrero 2017. (Fuente: ADIMRA)

Reducción del factor de potencia

Otra de las mejoras posibles de implementar es la instalación de un banco de capacitores con registro de factor de potencia automático, a fin de optimizar la potencia reactiva.

El sistema mide el factor de potencia y lo corrige por compensación mediante el banco de capacitores instalado, en forma automática. De este modo no se excede el consumo de potencia reactiva admisible y se evita la penalización por parte de la prestadora del servicio eléctrico.

Cálculo del factor de potencia: en el siguiente ejemplo se ilustra cómo calcular el factor de potencia, verificar Tangente fi, el número de capacitores necesarios a instalar y el periodo de amortización de la instalación. A partir de los valores registrados en la factura de una empresa:

Datos de su consumo						
Conceptos	Número de Medidor	Estados del Medidor		Factor de Multip.	Tipo de Lect.	Consumos
		Anterior	Actual			
Fechas de Lectura		13/01/2016	12/02/2016			
Potencia en punta						17
Potencia fuera de punta						259
Energía en punta		9956	10087	10	R	1310
Energía en resto		240913	242912	10	R	19990
Energía en valle		12574	12700	10	R	1260
Energía resto + valle						
Energía reactiva		117255	119029	10	R	17740
Energía Reactiva	17740	kVArh	Tg fi=	0,79	R=Real E= Estimado	

Imagen 24: factura de la empresa. (Fuente: ADIMRA)

Se puede calcular Tangente fi (Tg fi)

$$\frac{\text{Energía Reactiva}}{\text{Energía Activa Total}} = \frac{17740}{1310 + 19990 + 1260} = 0.786 > 0,62$$

Se observa que la industria se excede en el consumo de potencia reactiva admitida y, por tal circunstancia, será penalizada. (El porcentaje de penalización se aplica en aquellos casos en que la Tangente fi calculada es superior a 0,62 (energía reactiva/energía activa total). En este caso es superior a 0,62 y la penalización fue aplicada -imagen 26-).

Para calcular el número de capacitores necesarios para mejorar el factor de potencia a 0,97 (mínimo necesario para no ser penalizado es 0,85), el cálculo será el siguiente:

$$\cos \varphi = \frac{\text{Potencia Activa}}{\sqrt{\text{Potencia Reactiva}^2 + \text{Potencia Activa}^2}}$$

A partir de los consumos:

$$\cos \varphi = \frac{(1310 + 19990 + 1260)}{\sqrt{(17740)^2 + (1310 + 19990 + 1260)^2}} = 0.79$$

El factor de potencia de la industria $\cos\varphi = 0.79$
 Para lograr un factor de potencia de 0,97

$$Q_{necesaria} [kVAr] = P_{activa} [kW] * [tg(\cos^{-1}\varphi_{actual}) - tg(\cos^{-1}\varphi_{deseado})]$$

$$= Q_{necesario} kVAr$$

Se necesita la siguiente potencia reactiva:

$$kVAr = 276 * [tg(\cos^{-1}0.79) - tg(\cos^{-1}0.97)] = 145 kVAr$$

Si cada uno de los capacitores tiene una potencia nominal de 52,5 kVAr serán necesarios tres capacitores para asegurar un factor de potencia de 0,97.

A continuación se ilustra en la imagen la instalación del banco de capacitores y lectora del factor de potencia implementado.



Imagen 25: Banco de capacitores. (Fuente: ADIMRA)

Período de amortización

Instalar un banco de 3 capacitores de 52,7 kVAr con medición de coseno fi y ajuste automático actualmente tiene un costo de 1800 US\$ más 600 US\$⁴² de instalación.

Siendo el recargo por exceso de Tg fi mayor a 0,62, equivalente a 133 dólares (al 2016), en un año la industria fue penalizada en un orden de 1600 US\$ (133 x 12 = 1596):

6 - Recargo por Tg fi > 0,62	25,5% SOBRE (3+4+5)
7 - Resolución SE N° 1866/05 kWh	22.560 \$0,00406

Imagen 26: recargo por Tangente de fi mayor a 0.62. (Fuente: ADIMRA).

Con una inversión similar a la recién mencionada (1800 + 600), la misma se amortizaría en un año y medio:

$$\frac{2400}{1600} = 1,5 \text{ años.}$$

⁴² Para la valorización monetaria de este caso y siguientes, y considerando el posible uso de insumos importados, se dio preferencia a la cotización en moneda dólar, con fines didácticos.

Caso IV: reutilización de agua y sistema de captación de agua de lluvia

El siguiente es un ejemplo de una empresa metalmeccánica que logró reducir un 50 % el consumo de agua (de 12.000 litros/ día a 6.000 litros/ día); representando un ahorro anual de agua de 2190 m³.

Si bien el agua no es un insumo principal de la actividad metalmeccánica, no se debe descartar su uso en actividades auxiliares como puede ser la limpieza de la planta, de equipos, tanques u otros sumados al uso diario del personal.

La implementación del proyecto implicó las etapas que se detallan a continuación:

- Definición y redacción de procedimiento en sistemas de control de puntos de fugas de agua.
- Instalación de caudalímetros.
- Implementación de un registro del consumo de agua.
- Instalación de un humedal y planta de tratamiento.
- Instalación de sistema de riego por goteo.
- Diseño e instalación de tanques de almacenamiento y sistema de recupero de agua de lluvia.
- Recirculación y reutilización de agua de lavado de reactores en producción y aguas grises.

La instalación se representa con el siguiente esquema:

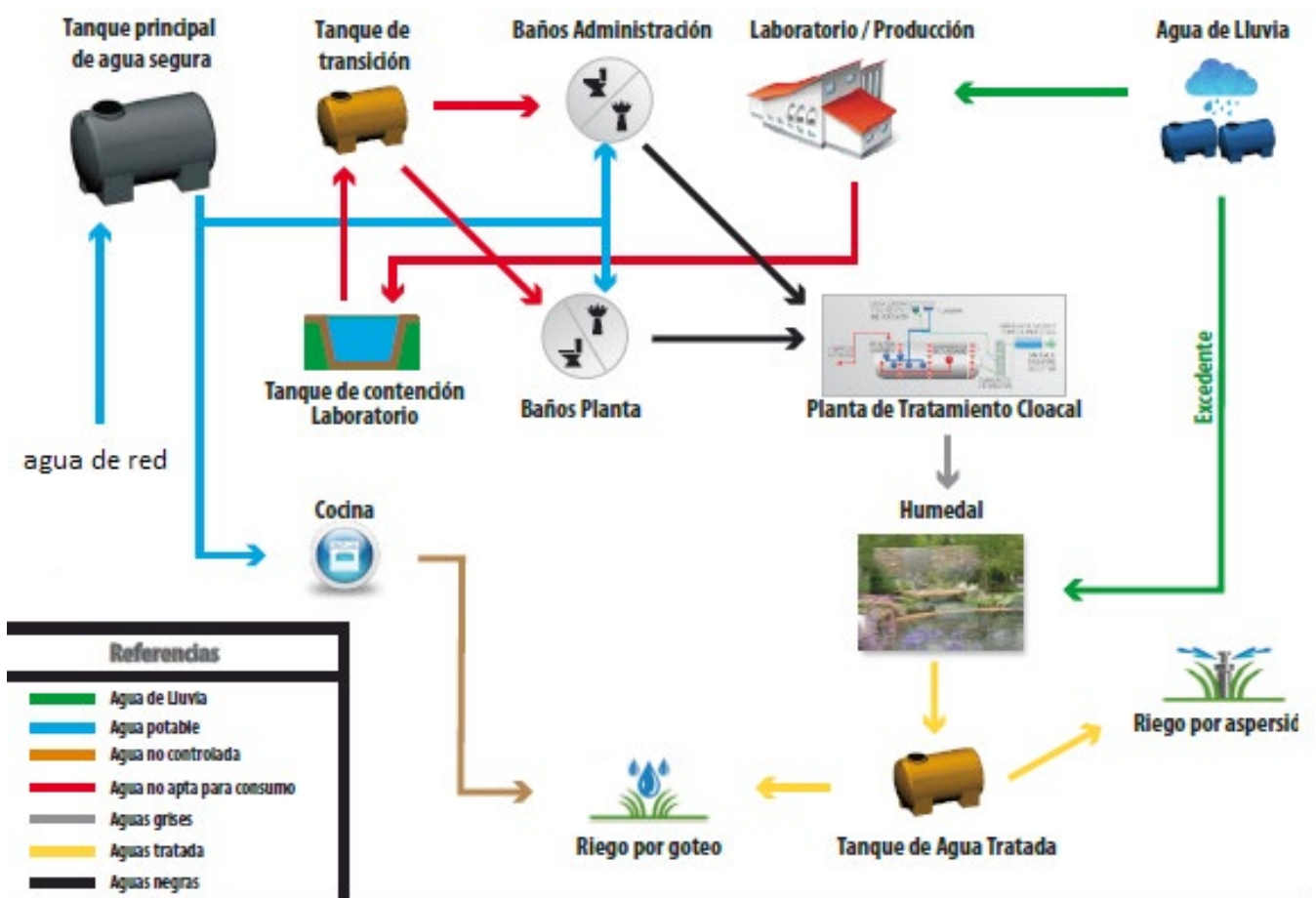


Diagrama 11: sistemas de reutilización de agua. (Fuente: ADIMRA)

Al diseñar e instalar una red de transporte del agua captada, se debe considerar:

- dimensionamiento y ubicación de la red de transporte;
- condiciones del sitio y ubicación del tanque de almacenamiento;
- calidad del agua de lluvia;
- problemas de clima frío;
- porcentajes de pérdidas de agua por efecto del viento.

MATERIAL	FACTOR INICIAL DE PÉRDIDA (MM)	PERDIDAS POR EFECTO DEL VIENTO (%)
Acero galvanizado	0,25	20
Fibra de vidrio	0,5	20

Al dimensionar tuberías y otras partes de la red de transporte, es importante considerar qué proporción de la superficie de captación está manejando una sección particular de la red. En la mayoría de los casos, la superficie de captación se dividirá en secciones para la colección y el transporte de agua de lluvia. En consecuencia, puede ser necesario tener múltiples tubos de drenaje de transporte más pequeños que transfieren el agua de lluvia a una tubería más grande que conduzca hasta el tanque de almacenamiento.

Condiciones del sitio y ubicación del tanque

Al planificar una red de transporte, es importante tener en cuenta las condiciones del sitio y la ubicación del tanque de almacenamiento, las pendientes y longitudes. Se deben considerar la presencia de líneas enterradas, como gas, agua, y/o electricidad. El material seleccionado debe ser calificado como adecuado para la exposición a la luz ultravioleta (UV) y al entierro.

Calidad del agua de lluvia

La calidad de la escorrentía del agua de lluvia desde una superficie de captación puede verse afectada de dos maneras: por la suciedad que puedan acumularse en la superficie como follaje o excremento de pájaros y roedores y del material del techo que en sí mismo puede contribuir, así como factores ambientales (contaminación atmosférica). Por esta razón el agua captada debe ser tratada. Se puede tratar previo o posterior a su almacenamiento. La filtración puede tener lugar en o cerca de la superficie de captación en forma de pantallas colocadas sobre canaletas. Los dispositivos de filtración también se pueden integrar en bajantes u otras partes de la red de transporte.

Dimensionamiento de canaletas de captación

Se debe calcular el área de techo que drenara el agua hacia la canaleta de la siguiente manera: $\text{área de techo de drenaje (m}^2\text{)} = \text{largo de canaleta} \times \text{ancho de canaleta}$

MATERIAL	DIRECCIÓN	PENDIENTE
Acero galvanizado	La pendiente debe estar orientada hacia donde esté ubicado el tanque de almacenamiento	Entre 0.5-2 % Del largo de la canaleta

Mínima dimensión y tipo de canaleta requerida ⁴³ :	Intensidad de lluvia en 15 min (en mm)							
	18.75	25	31.25	37.5	43.75	50	56.25	62.5
	Máxima área de techo de drenaje							
100 mm tipo K	71	53	43	35	30	27	24	21
125 mm tipo K	130	98	78	65	56	49	43	39
150 mm tipo K	212	159	127	106	91	79	71	64

Tabla 34: tipo y dimensión de canaleta.

Cañerías o ductos conectados a las canaletas de captación

- Es conveniente que se ubiquen lo más próximo al tanque de almacenamiento y sea externo.
- Es conveniente que recolecten un tramo de canaleta hasta de 15 m.

Análisis de las medidas propuestas⁴⁴

Previo a la implementación de cualquier medida es recomendable realizar un análisis del impacto de las acciones que se pretenden llevar a cabo. A continuación, se propone una evaluación simplificada que contemple los siguientes criterios:

A- Criterios económicos

1. Costo de la inversión: considerando el impacto de la inversión en la economía de la empresa.
2. Período de amortización: tiempo estimado de recuperación de la inversión.

B - Criterios ambientales

1. Potencial de minimización: este criterio orienta sobre las expectativas de reducción del impacto ambiental de la problemática que se busca resolver.

C - Criterios técnicos

1. Riesgo tecnológico: evalúa los riesgos que presenta un cambio en el proceso o la incorporación de nueva tecnología.

Se establecen tres niveles representados en rojo, amarillo y verde para cada criterio, siendo el color rojo el menos favorable, y el verde el más favorable:

Criterios		Baja	Media	Alta
Económicos	Inversión ⁴⁴	Baja	Media	Alta
	Amortización	< 2 años	2-5 Años	< 5 años
Ambientales	Potencial de minimización	Se logra una mejora del 50 % o mayor.	Se logra una mejora entre el 50 % < x < 5 %	Se logra una mejora < 5 %
Técnicos	Riesgo tecnológico	Riesgo nulo.	Riesgo puntual.	Riesgo medio.
Otros	Necesidad de capacitación/concientización	No se requiere.	Medio.	Es necesario.

Tabla 35: criterios a considerar para implementar una medida de mejora.

⁴³ Guidelines for Residential Rainwater Harvesting Systems Handbook.

⁴⁴ Adaptación del Libro Blanco para la minimización de residuos y emisiones.

⁴⁵ Cada industria debería definir el rango representativo de cada nivel sobre el valor de la inversión en función de sus recursos económicos.

MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO					ECONÓMICO		AMBIENTAL	TÉCNICOS
Medida propuesta	Descripción	Beneficio	Repercusión en el proceso productivo	Inversión y otras observaciones relevantes	Inversión	Amortización	Potencial de minimización	Riesgo tecnológico
1. Desarrollo de procedimientos	Procedimiento y diseño de planilla para el control mensual y registro de verificación sobre la integridad de canillas y depósitos de inodoros.	Sistematización de buenas prácticas en el consumo de agua.	Ninguna	Ninguna				
2. Registros del consumo de agua	Instalación de un contador para contabilizar la cantidad de agua reutilizada. Registro mensual del consumo de agua.	1. Establecimiento de una línea de base. 2. Registro directo de los consumos. 3. Cuantificación de la mejora.	Ninguna	Caudalímetro				
3. Implementación de un humedal y planta de tratamiento			No interfiere					
4. Sistema de captación de agua de lluvia	Se diseña un tanque de captación de agua de lluvia de acero inoxidable con posterior tratamiento.	Alta reducción de consumo de agua en épocas de lluvias.	Requiere un control analítico. Se debe prever otra fuente de agua en caso de escasas lluvias.	Tanque de almacenamiento de acero inoxidable. Ablandador. Filtro de grava.				
5. Señalética de uso racional del agua		Incorporación de buenas prácticas en el ahorro de agua.	Ninguna	Impresión de cartelera. Para asegurar que las nuevas iniciativas se incorporen a los hábitos del personal: capacitación periódica y seguimiento.				
6. Riego por goteo				Bomba de ½ Hp tipo esférica. Cañerías flexibles.				
7. Uso de agua del lavado de laboratorio en los depósitos de inodoros y mingitorios tanto en los baños de producción como de administración.	Se almacena el agua de lavado en un tanque conectado a otro que alimentara los depósitos de los inodoros y mingitorios	Reducción del consumo de agua en forma directa.	Ninguna	2 tanques de acero inoxidable. Sistema de cañerías. Bomba centrífuga de 1 Hp.				

Tabla 36: matriz de evaluación de proyecto.

Caso V: simulación en corte por cizalla y forja

Simulación en corte por cizalla

La simulación permite detectar, predecir y evitar defectos. En corte por cizalla por ejemplo una de las aplicaciones directas es la optimización de la matriz. A continuación se ilustra un tocho simulado (imagen de arriba) y uno real (imagen de abajo)⁴⁶.

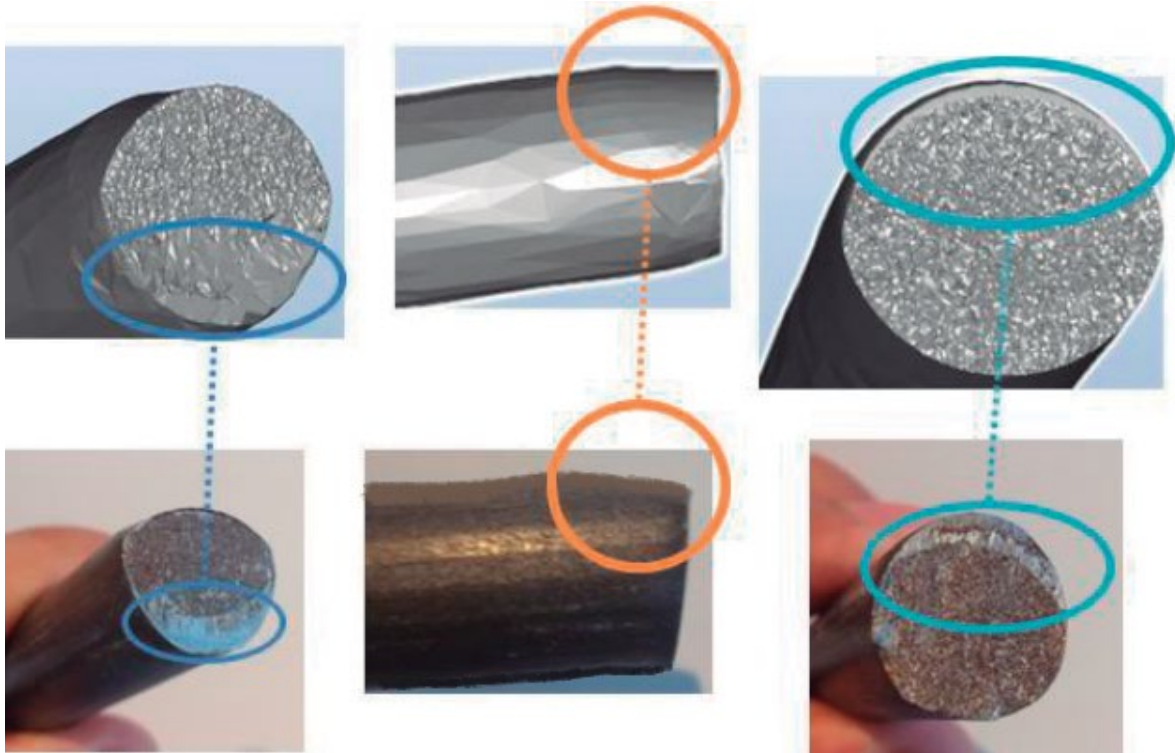


Imagen 28: tocho defectuoso simulado (arriba) y tocho real (abajo). (Fuente: ADIMRA)

Puesto que el proceso de corte por cizalla utiliza dos matrices, una móvil y otra fija, de la simulación se pudo concluir que:

- La matriz móvil tenía el diámetro sobredimensionado (sombra cónica de la imagen) con una luz entre la misma y la pieza que le daba movimiento, generando el defecto remarcado.
- La dureza del material no era la suficiente frente a la dureza de las matrices.

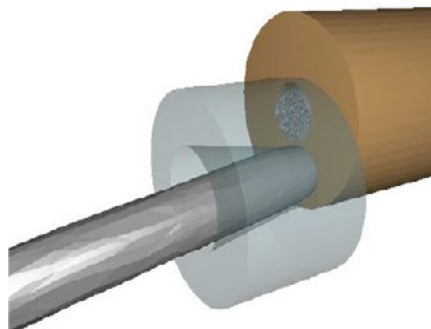


Imagen 29: simulación de corte por cizalla: tocho, matriz móvil y fija⁴⁷.

^{46 y 47} Estudio de optimización de corte y forjado-CETEM Centro Tecnológico Metalúrgico-ADIMRA-UNAJ-UNSAM.

Simulación en forja

Otro ejemplo de aplicación de simulación es en forja. El rediseño de las matrices para forja permitió cuantificar un ahorro de materia prima de un 10 %. Dicho ahorro representó una reducción de 524 gramos de material por pieza.

Si se proyectara el ahorro a una producción anual de 10.000 piezas, la reducción de material sería de 5,24 toneladas anuales.

Caso VI: impresión 3D

Este ejemplo describe la utilización de una impresora 3D como vía de materialización rápida de piezas únicas que introducen mejoras en procesos. En una empresa del rubro metalmeccánico, como resultado del mecanizado de bronce mediante un torno vertical, se observó una amplia generación de virutas que no era recuperada.

Utilizando las tecnologías de impresión 3D⁴⁸ (prototipado rápido) disponible, se diseñó y desarrolló una pieza aspersora que vinculara la manguera de vacío de una aspiradora con el mango portador de la herramienta de pulido.

Se contemplaron las características y dimensiones particulares de ese torno y su herramienta, además de las necesidades de ingreso de aire y la salida hacia la manguera aspersora.

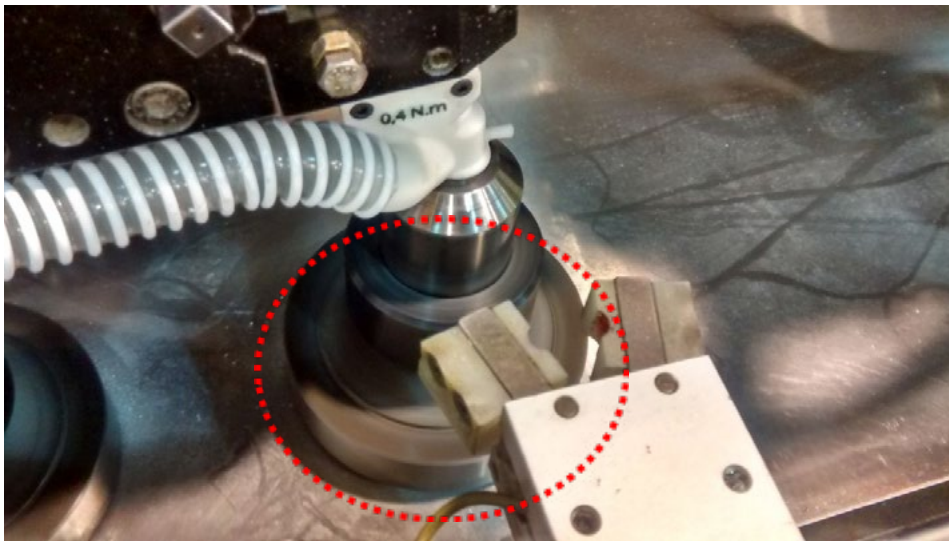


Imagen 31: manguera de vacío. (Fuente: ADIMRA)

En la imagen se puede observar la extensión de la manguera de vacío aspersora de virutas, utilizando la campana impresa con tecnología 3D. La empresa aplicó esta mejora en mayo del año 2017, observando que desde entonces el porcentaje de recuperación de viruta de bronce es del 99 %.

⁴⁸ La Red de Centros Tecnológicos de ADIMRA cuenta con una serie de profesionales y de tecnologías (impresión 3D, simulación, escaneo 3D, entre otras) distribuida en distintas zonas del país. <http://www.adimra.org.ar/reddecentros/lared.do>

Caso VII: reducción de generación de barros y de agua en el desengrase de piezas

Se describe a continuación un caso práctico de las mejoras implementadas por una industria del sector metalmeccánico que fabrica válvulas.

De manera general el proceso puede subdividirse en las siguientes etapas: control del stock, orden de compras y recepción de las materias primas, ingeniería del proceso de mecanizado, seteo de tornos CNC, mecanizado, revestimiento, montaje, prueba hidráulica, desengrase de las piezas, pintura y embalaje.

Las mejoras implementadas por esta industria fueron la adquisición de un centrifugador de virutas, el uso de aislantes en las cubas de desengrase y la compra de un evaporador para reducir el volumen de residuos.

- **Adquisición de una centrifugadora de virutas**

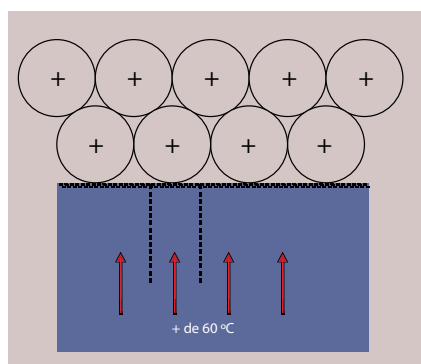
Con el uso de la centrifugadora la planta recupero las siguientes cantidades de virutas:

TIPO DE VIRUTA	KILOS CENTRIFUGADOS Y RECUPERADOS CON POSIBILIDAD DE VALORIZACIÓN (kg/año)
Viruta de acero	6000
Viruta de aluminio	1000
Viruta de bronce	19141

- **Aislación en cubas de desengrase**

Mediante la aislación de las cubas de desengrase a temperatura se logró reducir un 50% el consumo de agua de renovación, cubriendo con esferas flotantes de PVC la interface de las cubas en contacto con el ambiente. En solución acuosa dicha interface permite la pérdida de calor, por esta razón, al cubrir la totalidad de la superficie con esferas flotantes se logra una capa aislante de aire, que impide la fuga de calor, lo cual se traduce en un ahorro energético. También representa un ahorro en el consumo de agua, puesto que disminuye el volumen evaporado al ambiente sin que la mecánica de la operación de inmersión y elevación de las gancheras se entorpezca.

En la imagen se muestra la dirección del flujo de calor y el efecto barrera de las esferas aislantes.



Temperatura ambiente: 20° C

Imagen 32: flujo de calor. (Fuente: ADIMRA)

Asimismo, siempre es conveniente cubrir las cubas con un cobertor mientras no estén en uso. De este modo, además de evitar la fuga de calor se protege el baño de posibles contaminantes.

- **Adquisición de un evaporador⁴⁹**

Previo a la adquisición del evaporador, se realizó una evaluación del tiempo de amortización en la que se debe incluir el costo de gestión de los residuos peligrosos y el consumo de gas en relación a la capacidad de evaporación del equipo.

EVAPORADOR PARA LA REDUCCIÓN DE VOLUMEN DE BARROS		
		2017
GENERACIÓN DE RESIDUOS		
Aceites solubles con agua (kg)		48000
Sólidos contaminantes con aceites (kg)		22960 ^{*50}
Grasas (kg)		8200*
Lodos de desengrase y pintura (kg)		24700
RESIDUOS TOTALES ANUALES (kg)		103860
Costo de transporte y disposición final		
Costo de transporte		2235(U\$\$/por año)
Costo de disposición final		0,47 (U\$\$/kg)
AHORROS Y GASTOS (2017)	AHORRO A DISPONER	AHORRO EN U\$\$
Aceites solubles con agua (kg) (reducción 90 %)	43200 (kg)	20304 U\$\$
Lodos de desengrase y pintura (kg) (reducción 40 %)	9880 (kg)	2970 U\$\$
Ahorro total sin flete	53080 (kg)	24948 U\$\$
Ahorro total con flete		27183 U\$\$
EVAPORADOR (0,12m ³ /hora)		
Costo del evaporador (2017)		24500 U\$\$
Velocidad de evaporación		0,120 m ³ /hora
Consumo de gas/hora		14 m ³ /hora
Consumo de gas total estimado (m ³)		6188 (m ³)
Consumo de gas total estimado (2017)		310 U\$\$
Años de amortización estimado		1, 2 años
EVAPORADOR (0,05 m ³ /hora)		
Costo del evaporador (2017)		12000 U\$\$
Velocidad de evaporación		0,05 m ³ /hora
Consumo de gas/hora		6,6 m ³ /hora
Consumo de gas total estimado (m ³)		7007 (m ³)
Consumo de gas total estimado (2017)		350 U\$\$
Años de amortización estimado		2, 2 años

Tabla 37: evaporador y tiempo de amortización.

Observación: para el cálculo sobre la amortización⁵¹ del equipo se debe conocer la capacidad de volumen a evaporar por horas del evaporador y relacionarlos con los metros cúbicos de gas por hora consumidos y con el valor del metro cubico al momento de la compra para estimar correctamente el periodo de amortización.

De igual manera que en la tabla 35, en la tabla 38 se establecen tres niveles representados en rojo, amarillo y verde para cada criterio, siendo el color rojo el menos favorable, y el verde el más favorable.

⁴⁹ Las valoraciones se realizan en U\$, para facilitar cálculos y posibles comparaciones.

⁵⁰ Nota: Los sólidos contaminantes con aceites y grasas no son parte de los residuos evaporados.

⁵¹ El consumo de gas del equipo es una especificación técnica clave para el cálculo de los años de amortización que requerirá el equipo.

MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO					ECONÓMICO		AMBIENTAL	TÉCNICOS
Medida propuesta	Descripción	Beneficio	Repercusión en el proceso productivo	Inversión y otras observaciones relevantes	Inversión	Amortización	Potencial de minimización	Riesgo tecnológico
1. Utilización de esferas flotantes en los baños a temperatura en la línea de niquelado.	Para reducir la pérdida de calor por la interface aire-baño y la evaporación de agua.	Disminución de un 50 % del consumo de agua necesario en las cubas	Ninguna	Inversión de las esferas				
2. Compra de evaporador	Reducir el volumen de residuos generados por los procesos de mecanizado por tornos CNC y línea de niquelado.	Reducción de un 93 % barros de niquelado entregados a disposición. 86 % aceites solubles. 83 % barros generados por desengrase.	Ninguna	Inversión de evaporador La amortización calculada es de 2,3 años. (Dos años se considera ideal) ⁵² . Se podría incluir un filtro prensa en secuencia del evaporador.				
3. Equipo de filtrado para la reutilización de agua de pruebas hidráulicas.		Reducción de un 100 % del consumo de agua utilizado durante la prueba hidráulica.	No interfiere					

Tabla 38: matriz de evaluación del proyecto del evaporador.

⁵² Se debe incluir en el valor de amortización el costo del gas para el funcionamiento del evaporador.

7.

Anexo B: listas de verificación

Medidas de ahorro y eficiencia energética

La siguiente lista de verificación es un ejemplo de un posible auto-diagnóstico, orientado a la mejora en el uso de la energía.

MEDIDAS DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA			
N.º ACCIÓN	PROPUESTAS DE MEJORA	SÍ / NO	OBSERVACIÓN
Máquinas y equipos de producción			
1	¿Los equipos principales cuentan con instalación de variadores de frecuencia?		
2	¿Los equipos de mayor uso cuentan con sistema de auto apagado?		
3	¿Se aprovecha el calor generado por los equipos de la planta?		
4	¿Las bombas de lubricación de los equipos de mayor uso cuentan con variadores de frecuencia?		
5	¿Desconecta los equipos por la noche?		
Compresores de aire			
6	¿Reutiliza calor liberado por los compresores para calefaccionar la planta?		
7	¿El aire de entrada a los compresores es de calidad?		
8	¿Detecto y elimino las fugas de aire comprimido de toda la instalación?		
9	¿Los compresores, dentro de la planta, se encuentran correctamente ubicados?		
10	¿Se aprovecha el calor del sistema de refrigeración de los compresores?		
11	¿El sistema de aire comprimido cuenta con válvula de corte en la red?		
12	¿Las cañerías de la red de aire comprimido se encuentran limpias?		
Iluminación			
13	¿Ha revisado la instalación de luminarias y balastos electrónicos?		
14	¿Ha sustituido los focos de halógeno de la planta?		
15	Apagado de parte de la iluminación de la nave de producción		
16	¿La planta cuenta con instalación de células fotoeléctricas para regular la iluminación?		
17	¿Ha instalado algún tipo de regulador de flujo de la iluminación, en función de la luz natural entrante?		
18	¿La planta cuenta con sensores de paso?		
19	¿Regula el encendido-apagado de la iluminación?		
20	¿Utiliza iluminación localizada?		
21	¿Ha sustituido las de luminarias de la nave por LED?		
22	¿Ha evaluado la posibilidad de reemplazar los techos de chapa opaca por chapa translúcida?		
Climatización			
23	¿Mantiene /ajusta la temperatura ambiente en el valor recomendado?		
24	¿Verifico que la climatización se realiza únicamente donde corresponda?		

Calderas			
25	¿Los quemadores de la caldera se encuentran ajustados correctamente?		
26	¿El quemador del generador de aire caliente se encuentra ajustado?		
27	¿Es posible el cambio de combustible?		
Extracción de aire/ ventilación			
28	¿Los equipos de extracción de aire, en el sistema de ventilación cuentan con variadores de frecuencia en su instalación?		
Facturación eléctrica			
29	¿Mantiene el consumo de la potencia por debajo de la contratada?		
30	¿Revisa no excederse de la potencia contratada?		
31	¿Revisa no excederse de la potencia reactiva admisible?		

Tabla 39: medidas de ahorro y eficiencia energética.

Herramientas de diagnóstico para el diseño sustentable

La siguiente lista de verificación⁵³ pretende ser orientativa a los efectos del diseño de piezas, desde un enfoque sustentable.

		SI	NO	NO APLICA	COMENTARIOS
1.	¿Qué estrategia utiliza con su producto para satisfacer las necesidades de los clientes?				
a.	De materialización del producto				
b.	Uso compartido del producto				
c.	Integración de funciones				
d.	Optimización funcional del producto y sus componentes				
2.	¿Tiene en cuenta alguna de las siguientes características para la selección de materiales?				
a.	Renovables				
b.	No peligrosos				
c.	Reciclados				
d.	Reciclables				
e.	Reducción de peso y/o volumen				
f.	Distancia del proveedor				
3.	Durante la etapa de producción, considera:				
a.	Modificación de procesos productivos				
b.	Reducción del consumo energético o consumo de energía renovable				
c.	Reducción de desechos				
d.	Menor cantidad de consumibles				
e.	Incorporación de tecnologías limpias				
4.	Durante la etapa de distribución, considera:				
a.	Reducción del peso del producto				
b.	Reducción del volumen de transporte				
c.	Mínimo embalaje				
d.	Embalaje reutilizable				
e.	Recorridos de transporte óptimos				
5.	Durante las etapas de uso, operación, servicio técnico y reparación del producto, considera:				
a.	Menor consumo de energía				
b.	Menor cantidad de consumibles				
c.	Confiabilidad y durabilidad del producto				
d.	Fácil mantenimiento				
e.	Fácil desmontaje y reparación				
f.	Producto de configuración modular				
6.	Durante la etapa de fin de la vida del producto, considera:				
a.	Reúso del producto y/o de sus componentes				
b.	Remanufactura				
c.	Reciclado de materiales				
d.	Biodegradabilidad				
e.	Sistema de recolección diferenciada				
f.	Sistema de recolección por logística inversa				

Tabla 40: herramientas de diagnóstico para el diseño sustentable.

⁵³ Adaptación de "Eco-Innovation. Aguide to eco-innovation por SMEs and bussiness coaches.European Comision.

8.

Anexo C:
adecuada
configuración
de planta

Con una adecuada configuración de la planta es posible aumentar la productividad hasta un 20 %. Al optimizar el espacio, la ubicación de los recursos e integrar en forma completa el proceso de elaboración se logra reducir los tiempos improductivos.

Un layout facilita visualizar los procesos permitiendo:

- Optimizar la capacidad productiva.
- Reducir la distancia y, por lo tanto, el tiempo de recorrido.
- Bajar los costos de movimientos de materiales.
- Facilitar las tareas de supervisión e inspección.
- Incrementar la seguridad e higiene en el trabajo.

El layout de la planta se puede estructurar según diferentes criterios. A continuación, se describen brevemente algunos de ellos.

Configuración por producto: consiste en ordenar en forma secuencial las diferentes etapas a las que está sometida la pieza con el objeto de lograr un proceso continuo. El enfoque permite reducir los tiempos de fabricación y manipulación de materiales, realizándose en los siguientes casos:

- Grandes volúmenes de producción y demanda continua y estable.
- Productos standard.
- Las operaciones están equilibradas y hay continuidad en el flujo de material.

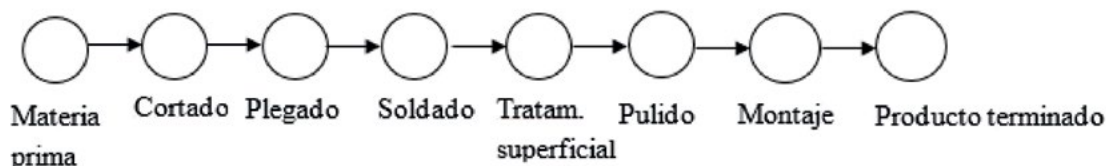


Diagrama 12: layout por producto. (Fuente: ADIMRA)

Configuración por proceso: se utiliza, a diferencia del anterior, cuando la demanda es intermitente y se requiere una supervisión efectiva, con cambios permanentes en el producto. El concepto básico de esta configuración consiste en agrupar por funciones similares.

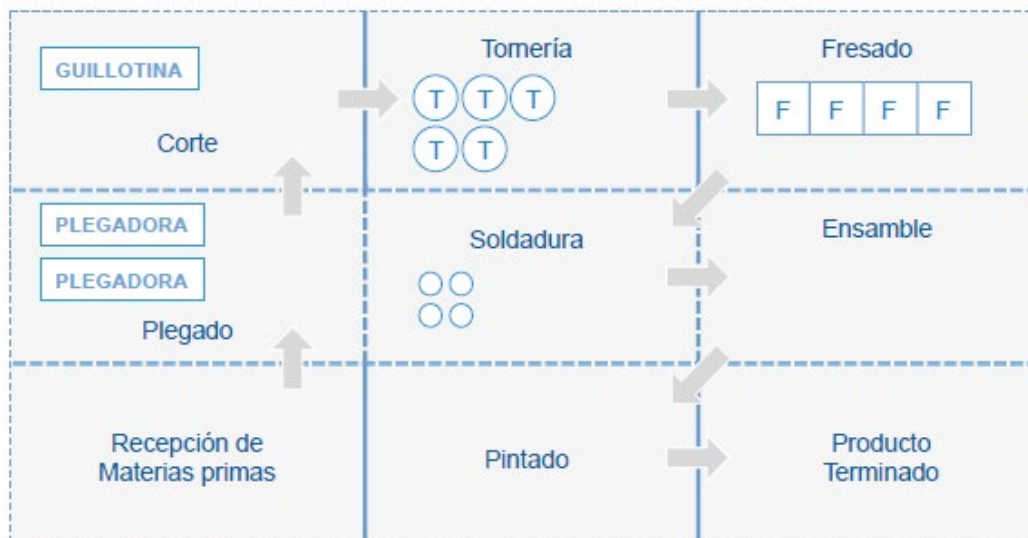


Diagrama 13: layout por proceso. (Fuente: ADIMRA).

Esta disposición presenta las siguientes ventajas:

- El proceso que se adapta fácilmente a cambios en el producto y permite una supervisión efectiva.
- Es funcional a demandas intermitentes de productos o variaciones de producción.
- La mayor utilización de la maquinaria reduce los tiempos muertos y ante fallas de funcionamiento en las mismas no se interrumpe toda la producción.

Existen diferentes herramientas que permiten evaluar la mejor opción de lay out. Una de ellas consiste en cuantificar las modificaciones que se implementen en la planta. Por ejemplo:

OBJETO									Fecha	
ACTIVIDAD									Analizado por:	
LUGAR										
Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo	Tiempo por Unidad	Símbolo					Descripción
○	⇒	D	□	▽	○	⇒	D	□	▽	

Operación Transporte Espera Inspección Almacenamiento

Otras herramientas de utilidad son el diagrama de hilo⁵⁴ o filmar y registrar cada uno de los movimientos a fin de comparar tiempos de recorridos.

⁵⁴ El diagrama de hilo es un plano a escala de la planta que sigue y mide con un hilo la trayectoria que realiza el operario durante las operaciones de trabajo a fin de optar el layout que optimice el menor recorrido.

9.

Anexo D:

aditivos presentes
en los fluidos
de corte y sus
funciones.

TIPO DE ADITIVO ⁵⁵	SUSTANCIA	MODO DE ACCIÓN
Anti envejecimiento e inhibidor de oxidación	Aminas aromáticas. Compuestos orgánicos sulfurados. Zinc diaquil ditiofosfato.	Previene la oxidación en fluidos a base de aceite a altas temperatura y los estabiliza.
Anti desgaste	Ácido fosfórico éster, Zinc diaquil ditiofosfato.	Reducción abrasiva.
Biocidas	Derivados de fenol. Fungicidas liberadores de formaldehído.	Prevención de crecimiento excesivo microbiano.
Detergentes y dispersantes	Sulfonatos, fenolatos.	Previene la formación de barnices en la superficie y la aglomeración de partículas que sedimenten y formen depósitos, promueve la suspensión.
Emulsificador	Aniónicos: jabones potásicos, jabones alcalinoamino Catiónicos: sales de amonio cuaternarias.	Emulsifica y estabiliza.
Presión extrema	Cloroparafinas. Sulfuros éster. Ácido fosfórico éster, polisulfuro.	Protección contra desgaste por formación de capa que previene la micro fusión de superficies metálicas.
Inhibidor de espumas	Polímeros de siliconas, tributilfosfato.	Desestabilizador de espumas en aceites.
Modificador de fricción	Glicerol mono oleato. Grasas naturales, esteres sintéticos.	Disminución de fricción, mejora de adhesión del film lubricante.
Desactivadores de metal	Heterociclos, diamina, tiarilfosfato.	Formación de films de adsorción.
Inhibidor de corrosión	sulfonatos, boros orgánicos, aminas, aminofosfato, zinc diaquil ditiofosfato, sulfonatos.	Prevención de oxidación.
Modificador de viscosidad	Polímeros	Incremento de la viscosidad.

Nota: es importante consultar la ficha de datos de seguridad para conocer los posibles riesgos a los que se expone el trabajador que manipula y utiliza los fluidos de corte y/o sus aditivos.

⁵⁵ E. Brinksmeier, D. Meyer a, *, A.G. Huesmann- Cordes, C. Herrmann *Metalworking fluids—Mechanisms and performance (2015) CIRP Annals - Manufacturing Technology. Volume 64, Issue 2, 2015, Pages 605-628.*

GLOSARIO

Ambiente: entorno en el cual una organización opera, incluidos el aire, el agua el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones.

Análisis del ciclo de vida: 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.

Análisis del inventario del ciclo de vida: fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y salidas para un sistema del producto a través de su ciclo de vida.

Aspecto ambiental: elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúa o puede interactuar con el medio ambiente.

Bien de uso: es aquel bien tangible utilizado en la actividad principal de una empresa, pero sin ser parte de la actividad objeto de la misma (los productos a los que se dedica la empresa) ni tampoco medio de fabricación para producir el objeto al que se dedica la empresa (maquinaria). Un ejemplo en una empresa común de fabricación son las computadoras o herramientas.

Cadena productiva: cadena productiva es un conjunto de etapas consecutivas a lo largo de las que diversos insumos sufren algún tipo de transformación, hasta la constitución de un producto final (bien o servicio) y su colocación en el mercado.

Cadena de valor: la cadena de valor es una herramienta de análisis estratégico que ayuda a determinar la ventaja competitiva de la empresa

Ciclo de vida: etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta disposición final.

Eficiencia energética: consiste en optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios.

Evaluación del impacto del ciclo de vida: fase del análisis del ciclo de vida dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuan significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de todo el ciclo de vida del producto.

Impacto ambiental: cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización.

Insumos: productos utilizados en un proceso industrial que no forman parte del bien a producir como parte intrínseca del mismo, sino que constituyen un aporte auxiliar integrado al proceso (energía eléctrica, combustibles, consumibles de producción, etc.).

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación (originalmente Instituto de Racionalización Argentino de Materiales).

ISO: siglas en inglés de International Organization for Standardization, Organización Internacional de Estandarización.

Lista de verificación: (checklist), es una herramienta de ayuda en el trabajo diseñada para reducir los errores provocados por los potenciales límites de la memoria y la atención en el ser humano.

Layout: término utilizado en inglés para referirse a la “distribución o disposición” de un sitio.

Materias primas: la materia prima es todo aquel elemento que se transforma e incorpora en

un producto final.

Metalmecánica: actividad derivada de la industria metalúrgica que se encarga de transformar materias primas de origen siderúrgico ferroso y/o no ferroso en productos que pueden constituir en sí mismos bienes de capital o bienes de uso que a su vez intervienen en otros procesos productivos como partes integrantes de nuevos productos o elementos transformadores de nuevas materias primas para nuevos productos.

Política ambiental: es la preocupación y desarrollo de objetivos con fines para mejorar el medio ambiente, conservar los principios naturales de la vida humana y fomentar un desarrollo sostenible.

Procedimientos: instructivos de acciones destinadas a lograr un objetivo previamente determinado.

Proceso: un proceso de fabricación, también denominado proceso industrial, manufactura o producción, es el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas.

PYME: (pequeña mediana empresa) en cuanto a volumen de ingresos, valor del patrimonio y número de trabajadores.

Registros: documentos que contienen información relevante y alineada con los objetivos del sistema de gestión.

Siderúrgica: sector de la industria del metal que se ocupa de extraer el hierro y trabajarlo.

Sistema de gestión: conjunto de reglas y principios relacionados entre sí de forma ordenada, para contribuir a la gestión de procesos generales o específicos de una organización.

Sistema del producto: conjunto de procesos unitarios con flujos elementales y flujos de producto, que desempeña una o más funciones definidas, y que sirve de modelo para el ciclo de vida de un producto.

Subproceso: conjunto de actividades que tienen una secuencia lógica para cumplir un propósito. Es un proceso por sí mismo, cuya finalidad hace parte de un proceso más grande.

Sub-sector: rama o ámbito de una determinada actividad económica integrado en otro más amplio.

Unidad Funcional: desempeño cuantificado de un sistema del producto para su utilización como unidad de referencia.

Valor agregado: es el valor adicional que adquieren los bienes y servicios al ser transformados durante el proceso productivo. El valor agregado o producto interno bruto es el valor creado durante el proceso productivo.

REFERENCIAS

- D. Martínez Krahmer. (2015). Seminario taller para la promoción de la sustentabilidad, Unidad de Medio Ambiente, ADIMRA. Presentación: algunas alternativas para reducir el empleo de fluidos de corte en los procesos por arranque de viruta.
- Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. (2005). Prevención de la contaminación del en el subsector del mecanizado de metal. Plan de acción para el mediterráneo. Barcelona.
- Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. (2001). Mecanizado de Metal IHOBE. Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones. España.
- Antonio Ángel Fernández Pérez. (2014). Revisión de metodologías y aplicaciones de Benchmarking Energético en la industria. Departamento de Ingeniería Energética. Universidad de Sevilla. España.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2003). Industria pesada y construcciones metálicas. Manual de las buenas prácticas ambientales en la familia profesional. España.
- Gerdau Aza. (2002). Manual del proveedor de chatarra. Tercera edición 2008. Chile.
- INTI Diseño Industrial. (2017). Diagnóstico de diseño para el desarrollo de productos. Conceptos Básicos para la Gestión del Diseño. Programa de Formación. Buenos Aires.
- UNEP 2007. Diseño para la sostenibilidad. Un enfoque práctico para economías en desarrollo. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. París.
- Secretaría de Medio Ambiente del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente, Consorcio Parque Industrial Alvear, Asociación de Industriales Metalúrgicos de Rosario y Centro Tecnológico José Censabella. (2009). Guía de Buenas Prácticas Ambientales. Mecanizado con Arranque de viruta. Santa Fe.
- Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética. (2017). Guía de eficiencia energética para motores eléctricos. Ministerio de Energía y Minería. Buenos Aires.
- INTI Diseño Industrial. (2016). Introducción a la Innovación Sustentable. Capacitación.
- Superintendencia de Riesgo del trabajo. (2016). Manual de Buenas Prácticas Industria Metalmeccánica. Buenos Aires.
- Executive Summary OKUMA. (2015) Energy-Efficient machine tool technologies, for any size shop. TECH-WHP-Energy-Efficient-1-0116-0. Estados Unidos.
- Yohei Oda et al. / Procedia CIRP 4 120 - 124. (2012). Energy Consumption Reduction by Machining Process Improvement. Yohei Odaa, Yoshikazu Kawamura, Makoto Fujishimaa.
- The Toxics Use Reduction Institute.
http://www.cleanersolutions.org/?action=static_page&page=demos
- Massachusetts Institute of Technology. <http://ehs.mit.edu/greenchem/>
- RTI Internacional. Solvent Alternatives Guide.
<http://infohouse.p2ric.org/ref/19/18161/index.cfm.htm>
- SUBSPORT Substitution Support Portal. <https://www.subsport.eu/substitution-steps>

- Eco-Innovate! A guide to eco-innovation for SMEs and business coaches. Eco-Innovation observatory. European Commissions. https://research.uca.ac.uk/3139/7/SME_eco-innovation_guide_2nd_edition.pdf
- Ellen Macarthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- DMD Soluciones integrales eficientes para el uso de Aire Comprimido Industrial <http://www.dmdcompresores.com.ar/>
- The Biomimicry Institute-Inspiring Sustainable Innovation. <https://biomimicry.org/>
- Guía de Buenas prácticas de diseño. Centro de Diseño Industrial INTI. https://www.inti.gov.ar/disenoidustrial/pdf/publicaciones/GBP_completo.pdf
- Alex Diener. (2010). Afterlife: an essential guide to design for disassembly.
- Kangala Chipasa, PhD. Best Practice Guide for the Disposal of Water-mix Metalworking Fluids. United Kingdom Lubricants Association. <https://www.ukla.org.uk>
- E. Brinksmeier, D. Meyer a, *, A.G. Huesmann- Cordes a , C. Herrmann. (2015). Metalworking fluids—Mechanisms and performance. CIRP Annals - Manufacturing Technology. Volume 64, Issue 2, 2015, Pages 605-628.
- Rainwater Harvesting Association of Australia-Urban Water Cycle Solutions. (2018). Rainwater Harvesting -Residential Design Specification. Australia.
- Compressed Air & Gas Institute, CAGI. <http://www.cagi.org/working-with-compressed-air/benefits/10-steps-to-savings.aspx>
- Professor Peter Coombes. (2006). Guidance on the use of rainwater harvesting systems. School of Environment and Life Sciences, University of Newcastle, Callaghan NSW. Australia.
- Proyecto Fitema - Antena de transferencia de tecnología - Disolventes. http://www.istas.net/risctox/gestion/estructuras/_3085.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (Julio 2015). Plantilla de Buenas Prácticas. <http://www.fao.org/3/a-as547s.pdf>
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2016). Guía Técnica Contaminantes https://www.srt.gob.ar/wpcontent/uploads/2016/10/Guia_Tecnica_Contaminantes.pdf
- Naciones Unidas (2013). Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos. https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2018/06/01_SGA_Rev.5.pdf
- Real Decreto 379/2001. <http://www.boe.es/buscar/pdf/2001/BOE-A-2001-8971-consolidado.pdf>
- Legislación nacional: <http://www.infoleg.gob.ar/>

*Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
Guía para una producción sustentable : sector metalmecánico. - 1a ed. -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2019
Libro digital, PDF*

*Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-46796-4-2*

*1. Desarrollo Sustentable. 2. Aspectos Ambientales. I. Título.
CDD 620.4*

ISBN 978-987-46796-4-2



9 789874 679642