

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**VENTAJA COMPETITIVA EN MAQUILADORAS:
OPTIMIZACIÓN EN EL USO DE LA ENERGÍA**

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el GRADO de
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Presenta:

Noé Vargas Betancourt

1942
Director de Tesis:

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

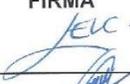
Universidad de Sonora
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Posgrado en Sustentabilidad
Maestría en Sustentabilidad
Especialidad en Desarrollo Sustentable

Hermosillo, Sonora a 20 de Junio del 2016

Dra. Nora Elba Munguía Vega
Coordinadora de Programa
Maestría en Sustentabilidad
Presente.-

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado del alumno (a) Noé Vargas Betancourt con Expediente 214290154, el cual será el día 01 de Julio del 2016 en el aula 102, Edificio 5R a las 10:00 horas.

Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras	
SECRETARIO:	Dr. Javier Esquer Peralta	
VOCAL:	Dra. Nora Elba Munguía Vega	
SUPLENTE:	Dra. Juana Alvarado Ibarra	

ATENTAMENTE

MIEMBROS DEL JURADO

RESUMEN

La ejecución de políticas energéticas eficientes y el manejo adecuado de insumos energéticos se han convertido en elementos esenciales para desarrollar y mantener competitividad en todas las ramas y formas de producción industrial. El objetivo de esta tesis es mostrar si existe y cómo está integrada la gestión energética en maquiladoras mexicanas. Se ha puesto un especial énfasis en develar si la gestión eficiente de energía es una base sólida sobre la cual construir ventajas competitivas sustentables. El estudio que nutrió este trabajo de investigación se realizó en dos maquiladoras de componentes electrónicos. Los datos e información expuestos fueron recopilados siguiendo un modelo de Producción más Limpia adaptado a un Programa de Eficiencia Energética en maquiladoras. Se realizaron también visitas de reconocimiento, charlas con el personal y otros instrumentos de sondeo. Los resultados indican que de las dos maquiladoras, la más grande tiene más y mejores políticas energéticas; esto pudiera estar relacionado a estructuras organizacionales más formales y a la mayor facilidad de acceso a recursos e información. Los resultados aquí expuestos no deben ser vistos como un indicador conclusivo de la situación general de las maquiladoras en México; no obstante, sí ayudan a vislumbrar ciertas tendencias y comportamientos organizacionales comúnmente encontrados en la industria maquiladora mexicana.

ABSTRACT

Energy efficiency policies and the appropriate management of energy supplies have become essential in developing and keeping competitiveness across all industries and forms of industrial production. The objective of this thesis is to show whether and how energy management is integrated in Mexican maquiladoras, a special focus was placed on determining if sustainable competitive advantages can be developed from best practices on energy management. Research was conducted in two Mexican maquiladoras whose main activity is the production of electronic components and whose sole source of energy is electricity; given the number of participants, the study is not conclusive of the general situation of maquiladoras in Mexico. It does however shed light on certain practices and behaviors on energy use that might be commonly found among Mexican manufacturing plants. The study focused on key areas of the companies with high-energy demand and where changes in electricity consumption patterns revealed significant savings on energy. The study followed an integrative approach where decreases on energy use are paired with economic, environmental and social gains. This research highlights the impact that efficient energy management may have on environmental and economic performance, public image, work environment and the overall strategic growth of maquiladoras. It also aims to provide researchers, maquiladora operators as well as any other interested party with relevant information to help them make educated decisions in regards to energy management.

ÍNDICE

Índice de Contenido.

<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
<u>I. Introducción</u>	1
<u>II. Objetivo Estratégico</u>	3
<u>III. Objetivos Específicos</u>	3
<u>IV. Análisis Literario</u>	4
<u>V. Metodología</u>	15
<u>VI. Resultados</u>	18
<u>VII. Discusión</u>	53
<u>VIII. Conclusiones</u>	57
<u>IX. Recomendaciones</u>	58
<u>X. Referencias</u>	59

Índice de Tablas

Tabla 1. Existencia de lineamientos y políticas medioambientales.....	18
Tabla 2. Equipo Verde en Furukawa.....	20
Tabla 3. Equipo verde en Amphenol Alden, Hermosillo.	20
Tabla 4. Consumo de electricidad kWh/mes	22
Tabla 5. Toneladas de CO ₂ emitidas por uso de energía eléctrica por año.....	24
Tabla 6. Factor de conversión de kWh a ton de CO ₂ en México.	24
Tabla 7. Concentración de consumo eléctrico en kWh por área.....	25
Tabla 8. Consumo energético de sistemas de climatización	29
Tabla 9. Consumo eléctrico de iluminación por área.....	30
Tabla 10. Consumo eléctrico de máquinas y equipo de moldeo.....	30
Tabla 11. Consumo eléctrico en sistemas de climatización.....	31
Tabla 12. Consumo eléctrico de sistemas de iluminación por área.	31
Tabla 13. Consumo eléctrico proveniente de máquinas y equipo de producción.	32
Tabla 14. Resumen de las reducciones potenciales en consumo energético y emisiones de CO ₂ (T).....	33
Tabla 15. Gasto en electricidad y CO ₂ y reducción potencial en Furukawa.....	33
Tabla 16. Gasto y reducción potencial en electricidad y CO ₂ en Amphenol Alden	33
Tabla 17. Ahorro potencial de electricidad en equipo de climatización en Furukawa.	34
Tabla 18. Ahorro potencial de electricidad en iluminación ee Furukawa.	34
Tabla 19. Ahorro potencial de electricidad en la maquinaria y equipo instalada en Furukawa.....	35
Tabla 20. Ahorro potencial de electricidad en el equipo de climatización en Alden Amphenol.....	35
Tabla 21. Ahorro potencial de electricidad en la iluminación de Alden Amphenol.	36
Tabla 22. Ahorro potencial de electricidad en la maquinaria y equipo instalada en Alden Amphenol.....	36

Tabla 23. Resumen de ahorros potenciales diarios en kWh por área y toneladas de CO ₂ .	40
Tabla 24. Relación de posibles opciones para sistemas de climatización	42
Tabla 25. Relación de posibles opciones para Iluminación	42
Tabla 26. Relación de posibles opciones para maquinaria y equipo	43
Tabla 27. Relación de posibles opciones para aspectos relacionados con el personal	43
Tabla 28. Relación de posibles opciones para Aspectos Generales	43
Tabla 29. Depuración de opciones	44
Tabla 30. Evaluación Técnica de las opciones	45
Tabla 31. Evaluación Ambiental de las opciones	47
Tabla 32. Ponderación de factibilidad económica	48
Tabla 33. Evaluación Económica de las opciones	48
Tabla 34. Detalle de las opciones más viables en Furukawa	49
Tabla 35. Detalle de las opciones más viables en Amphenol	49
Tabla 36. Alternativas de intervención implementadas en Furukawa	50
Tabla 37. Alternativas de intervención implementadas en Amphenol	51

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema metodológico de Eficiencia Energética (UNEP 2004)	15
Figura 2. Gráfico de la cultura organizacional en gestión energética en Furukawa	19
Figura 3. Gráfico de la cultura organizacional en gestión energética de Amphenol	19
Figura 4. Gráfico de consumo de energía eléctrica 2012-2014 Furukawa México	23
Figura 5. Gráfico de consumo de energía eléctrica 2012-2014 Amphenol	23
Figura 6. Toneladas de CO ₂ emitidas por uso de energía eléctrica por año	24
Figura 7. Plano de la distribución de Furukawa	26
Figura 8. Plano de distribución de Alden Amphenol	26
Figura 9. Diagrama de flujo del primer proceso de moldeo en Furukawa	27
Figura 10. Proceso de producción de la familia Xerox	28
Figura 11. Moldeadora (Amphenol)	37
Figura 12. Moldeadora (Amphenol)	37
Figura 13 Hornos de sellado encendidos en tiempos de inactividad en la producción (Amphenol)	38
Figura 14. Área de compresores (Furukawa)	38
Figura 15. Centro de carga (Furukawa)	38
Figura 16 . Hornos con control de temperatura y periodos de funcionamiento (Furukawa)	39
Figura 17. Pérdidas de calor en hornos (Furukawa)	39
Figura 18. Ligera pérdida de calor en sistemas de escape (Furukawa)	39
Figura 19. Aires acondicionados afuera del edificio (Alden Amphenol)	40
Figura 20. Diagrama de causas y consecuencias de desempeño energético en Furukawa	41
Figura 21. Diagrama de causas y consecuencias de desempeño energético en Amphenol	41

Índice de Anexos

Anexo 1. Matriz de Eficiencia Energética	63
Anexo 2. Delimitación física y distribución de la planta Furukawa.....	64
Anexo 3. Delimitación física y distribución de la planta Alden Amphenol	65
Anexo 4. Proceso de conectores en Furukawa.....	66
Anexo 5. Proceso de terminado automatizado en Furukawa	67
Anexo 6. Proceso de producción Familia Phillips Coil en Alden Amphenol	68
Anexo 7. Proceso de producción Familia Paddles en Alden Amphenol.....	69
Anexo 8. Proceso de producción de ensamble de cables GE en Alden Amphenol	70
Anexo 9. Proceso de producción de conectores moldeados en Alden Amphenol.	71

I. INTRODUCCIÓN

Al tiempo que la competencia empresarial se intensifica debido a la globalización, la industria maquiladora en México se enfrenta a nuevos retos, no sólo frente a los poderosos núcleos industriales del sudeste asiático y China (Ahmad *et al.* 2014), sino también a contendientes nacionales en la pugna por la adquisición de nuevos mercados (Sargent and Matthews 2008). Es entonces primordial que las empresas desarrollen ventajas competitivas estratégicas que aseguren su supervivencia y las herramientas que les permitan despuntar exitosamente respecto a los competidores (Hadjimarcou *et al.* 2013).

Este trabajo se enfoca a examinar y explorar las posibilidades de dos maquiladoras mexicanas para crear ventajas competitivas mediante el uso eficiente de energía. Se hizo una estimación inicial del comportamiento respecto al uso de energía en las maquiladoras mediante el análisis de los patrones de sus consumos históricos de electricidad, recorridos en las instalaciones y un diagnóstico termográfico con imágenes tomadas a equipos y procesos de producción con alta demanda de energía. Para efectos prácticos, el estudio se enfocó en tres áreas principales de las maquiladoras: los sistemas de climatización, de iluminación, y en la maquinaria y equipo.

A pesar de que las maquiladoras participantes operan en el mismo sector productivo, sus volúmenes de producción y estilos gerenciales difieren considerablemente. Esto puede ser atribuido en gran parte al tamaño de las empresas y las exigencias de sus respectivos mercados; que consecuentemente se refleja en niveles de consumo eléctrico contrastantes y que cala también en las políticas energéticas tomadas por cada una de las compañías. Por lo anterior es pertinente e importante hacer hincapié en que los resultados aquí expuestos no deben ser vistos como un indicativo de la situación general de la industria maquiladora. Sin embargo, sí pueden ser útiles para tomar los pasos adecuados en la construcción de políticas energéticas sólidas, para validar la conveniencia de implementar, y en su debido caso optimizar, sistemas de gestión de energía.

Este trabajo de tesis está estructurado por secciones indicadas con números romanos. Las secciones II y III corresponden a los objetivos estratégico y específicos que sirvieron de guía en esta investigación. La sección IV incluye una revisión y análisis de la literatura referente al uso de energía en las maquiladoras y la oportunidad de desarrollar ventajas

competitivas mediante su optimización. Posteriormente, en la sección V se describe la metodología e instrumentos utilizados para recopilar información, incluidos la cámara termográfica y un Programa de Eficiencia Energética adaptado al uso de energía en las maquiladoras. La sección VI presenta los resultados, se muestran las principales causas que entorpecen el desempeño energético de las maquiladoras, así como las reducciones en electricidad y emisiones de CO₂ potenciales en las áreas foco del estudio. Las secciones subsecuentes VII, VIII y IX discuten los resultados del estudio en cada una de las compañías y las implicaciones que esto pudiese suponer para la industria maquiladora en México, se emiten recomendaciones generales y se hace una pronunciación sobre la pertinencia, oportunidad y conveniencia de abundar sobre líneas de investigación que pudieran derivarse de este trabajo.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del consumo de energía generado por la industria maquiladora del giro electrónico a través un incremento de la eficiencia energética, particularmente en las empresas Alden Amphenol de Hermosillo y Furukawa, Inc. de Mexicali.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Llevar a cabo un análisis literario del estado del arte sobre la sostenibilidad de la industria de manufactura, incluyendo, producción más limpia, uso eficiente de energía eléctrica, y tópicos relacionados.
- Medir la eficiencia energética actual del proceso de producción, como parte de un Programa de Sustentabilidad Energética basado en el PNUMA, en las empresas Alden Amphenol de Hermosillo y Furukawa, Inc. de Mexicali.
- Diseñar un Plan de Uso Eficiente de la Energía Eléctrica que sirva como una herramienta para la toma de decisiones.
- Validar el Programa de Sustentabilidad Energética en las empresas

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 Uso de energía y competitividad industrial

En México la industria de las maquiladoras representa uno de los principales motores de la economía del país y, dentro de este sector, las maquilas dedicadas a la producción y ensamblaje de componentes electrónicos son mayoritarias frente a maquiladoras en otras áreas de especialización (Sargent and Matthews 2008, Beltrán Rodríguez *et al.* 2013). No obstante su relevancia para la economía nacional, desde la ascensión de China a la Organización Mundial del Comercio, el número de maquiladoras de componentes electrónicos ha estado en un paulatino pero continuo descenso (Lederman 2013, INEGI 2015).

Al tiempo que la competición empresarial se intensifica debido a la globalización, la industria maquiladora en México se enfrenta a nuevos retos, no sólo frente a los poderosos núcleos industriales del sudeste asiático y China (Ahmad *et al.* 2014), sino también a la competición nacional en la pugna por la adquisición de nuevos mercados (Sargent and Matthews 2008). Es entonces primordial que las empresas desarrollen ventajas competitivas estratégicas que aseguren su supervivencia y las herramientas que les permitan despuntar exitosamente frente a la competencia (Hadjimarcou *et al.* 2013). Se entiende que una ventaja competitiva sustentable es aquella ventaja que una compañía puede sostener durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo, de modo que no pueda ser replicada por los competidores y que genere ganancias económicas por arriba de las de estos. Generalmente, las ventajas competitivas se derivan de competencias básicas y están relacionadas al crecimiento estratégico sustentable de la compañía (Lamb *et al.* 2008, Kumar 2016).

Aun cuando factores como la cercanía geográfica con Estados Unidos, la rápida capacidad de respuesta frente a las fluctuaciones en las demandas de los mercados norteamericanos, y una red de logística sólida han propiciado que México se desarrolle como un importante centro de ensamblaje, estos aspectos ya no son garantía para asegurar el éxito de las maquiladoras mexicanas (Utar and Ruiz 2013); la industrialización de Asia y la apertura de sus economías a los mercados globales, aunado a la disponibilidad de mano de obra barata en el continente asiático, representan para las maquiladoras mexicanas una seria amenaza,

pero también la oportunidad de tener un punto de inflexión para replantear las estrategias, dinámica y directrices que ha de seguir la industria maquila en México (Sargent and Matthews 2009).

En el camino hacia la competitividad industrial, la gestión adecuada de los recursos energéticos surge como una importante fuente sobre la cual desarrollar ventajas competitivas sustentables; su uso óptimo no sólo contribuye a la reducción de costos en producción y disminución de gases de efecto invernadero, sino que también ayuda a las maquiladoras a construir una imagen de prestigio y de empresa socialmente responsable frente a otras empresas del ramo y frente a los ojos de los clientes y la comunidad en general (Buitelaar and Pérez 2000, Cartes 2011). No obstante los beneficios implícitos, son en su mayoría las corporaciones internacionales las más proclives a adoptar medidas de sustentabilidad energética, si acaso tan solo como extensión de políticas similares implementadas en sus países de origen (Flores *et al.* 2004).

Frente a este panorama de ardua competición y competitividad industriales, es imperativo que las maquiladoras concentren esfuerzos y recursos en el desarrollo de sistemas de optimización y uso eficiente de insumos (Sargent and Matthews 2009). Aun cuando los proponentes del *principio de sustitución* sostienen que es viable explotar los recursos naturales hasta su agotamiento y después sustituirlos con nuevos procedimientos y tecnologías, este enfoque requiere de un amplio margen temporal para la capacitación de personal, la adquisición de los insumos de sustitución y la transición a nuevos métodos y formas de producción; algo difícil de garantizar dada la volatilidad del mercado en el que operan las maquiladoras (Boos and Holm-Müller 2012). Por este motivo se debe evitar utilizar la abundancia o fácil acceso a recursos naturales como ventajas competitivas, pues tal acción puede llevar a la industria a la carrera hacia el abismo y, ultimadamente, comprometer su competitividad y poner en jaque su supervivencia misma (Sargent and Matthews 2009, Olney 2013).

4.2 Situación actual del uso de energía en la industria maquiladora en México

México se encuentra en un momento de transición histórico en materia de producción, uso y disposición de recursos energéticos; las reformas legislativas aprobadas por el gobierno

calarán fuertemente en todos los sectores de producción y enfrentarán a las maquiladoras con nuevas formas de abastecimiento y de acceso a una mayor variedad de recursos energéticos (Alemán-Nava *et al.* 2014, Olanrewaju and Jimoh 2014). Esta oportunidad de diferenciación y diversificación lleva implícita también la exposición a una más ardua competencia por mercados y la necesidad de rediseñar y determinar nuevos procesos productivos (Wagner *et al.* 2014).

Dado que casi dos tercios de los recursos energéticos a nivel mundial son utilizados en líneas de producción industrial, la administración de la energía no sólo es una prioridad administrativa y operacional de los empresarios, se ha convertido también en un asunto de carácter político y gubernamental (Al-Shehri 2000). Específicamente en México, la industria de maquilas y manufactura es el segundo consumidor de energía y, al igual que los demás sectores productivos, su demanda por recursos energéticos aumentó durante el periodo 2010-2014; este incremento es similar al de otros países en vías de desarrollo, donde el mayor consumo energético está ligado a mayor producción (Beltrán Rodríguez *et al.* 2013). Contrariamente, la mayoría de las economías desarrolladas registraron menor consumo energético en el mismo período, esta tendencia es el resultado de agresivas políticas energéticas y la transición de actividades de producción y manufactura hacia las de servicios (Al-mullí and Normee Che Sab 2013).

En la industria maquiladora las mayores pérdidas energéticas ocurren durante la transmisión de energía de una tarea a otra dentro de los procesos de producción, por pérdidas de calor en instalaciones con aislación térmica deficiente, y por la utilización de tecnología obsoleta (Glaser 1992, DOE 2015). Estos aspectos están ya claramente identificados y se han desarrollado numerosos procedimientos y estándares con el objeto de que los operadores en las industrias y maquilas estén capacitados para enmendar fallas en estas áreas y, subsecuentemente, reducir el gasto energético y disminuir las emisiones de CO₂ de las empresas (Cancino-Solórzano *et al.* 2010, Abeelen *et al.* 2013).

Sin embargo, uno de los obstáculos que han de ser superados para aumentar la competitividad energética en la industria yace en el hecho de que la mayoría de los estándares y normativas energéticas existentes se enfocan en la eficiencia energética de las partes y componentes individuales de los sistemas y procesos de producción; pero no del sistema en su conjunto, aun cuando mediante la implementación de enfoques

sistémicos e integrales se pueden obtener ahorros mundiales de hasta 7% de la energía utilizada en sistemas industriales motorizados (Bryan and Phelan 2012, DOE 2015). Si bien la utilización de tecnología y componentes diseñados para el ahorro de energía son necesarios, su implementación no es garantía de que un sistema logre una gestión óptima de recursos energéticos (Glaser 1992). De hecho, la mala o inapropiada implementación de tecnología y procedimientos es una ocurrencia común y la causa de que muchos proyectos de eficiencia energética fallen (McKane *et al.* 2008).

En ocasiones han sido justamente los pobres resultados obtenidos tras la implementación de políticas energéticas mal llevadas los que han propiciado cierta incertidumbre entre los administradores y dueños de industrias a la hora de invertir en la actualización de procedimientos y la adquisición de tecnología para la optimización del uso de energía (DOE 2011). El debate costo-beneficio es un tema recurrente en la toma de decisiones presupuestarias, aun cuando hay evidencia suficiente para afirmar que tanto económica, como social y ambientalmente la implementación de medidas para la eficiencia energética rinden beneficios a corto y largo plazo (Sardianou 2008, Bryant and Carlson 2013). Sin embargo, para que estos beneficios sean palpables y duraderos, la gestión de recursos energéticos debe verse y manejarse desde un enfoque sistémico que considere cada aspecto como parte de un todo y no como entes aislados y desconectados entre sí (Cartes 2011, Laitner 2013).

De igual importancia es que los programas de optimización energética sean adaptados e incorporados a la cultura organizacional, para ello el compromiso de la alta gerencia es primordial, deben designarse coordinadores y equipos de trabajo para la conservación de energía que evalúen y monitoreen las políticas pertinentes (Janda 2014). La gestión de recursos energéticos debe ser un proceso permanente, parte de la rutina de las maquiladoras, como lo son el control de inventarios o el mantenimiento de las líneas de producción; y no verse como un episodio eventual, hacerlo así llevaría a conclusiones desatinadas acerca de su efectividad y a resultados poco favorables (Bryant and Carlson 2013, Hadjimarcou *et al.* 2013).

El cambio climático global, la legislación de los países y los ascendentes costos de la electricidad y los combustibles fósiles son, y serán en el futuro, factores determinantes para la competitividad industrial de las maquilas (Beltrán Rodríguez *et al.* 2013, Zimmer *et al.*

2015). En el modelo de manufactura actual los combustibles fósiles son el bastión de la producción, pero los crecientes costos de adquisición, mayor demanda y mayor escasez son factores que ultimadamente determinarán la viabilidad y éxito de la producción en las maquiladoras y la industria en general (Bilgen 2014). La reciente caída en los precios del petróleo es sólo temporal y una alza en el precio del crudo es inminente e inexorable, pretender desarrollar y sustentar una ventaja competitiva sobre este hecho eventual podría culminar en un fracaso rotundo para las compañías; y aun cuando el fenómeno se prolongará, son cada vez más los gerentes y empresarios que hacen hincapié en la importancia de implementar sistemas de gestión energética por beneficios no monetizables pero igualmente relevantes para las empresas, como la imagen pública, la obtención de certificaciones, o requerimientos de clientes y proveedores (Grant 2011, Cui *et al.* 2014).

En México, los precios de energía para uso industrial son similares a los de Estados Unidos y, dependiendo del sector productivo, pueden ser hasta 30% más costosos, por lo que resulta improbable que las maquiladoras mexicanas sean capaces de atraer y retener inversión extranjera utilizando como premisa más bajos costos de producción, al menos en lo concerniente a los costos de energía; por el contrario, esta información debiera servir como aliciente que exhorte a los empresarios y operadores de maquiladoras a desarrollar sistemas integrales de gestión que reduzcan los gastos en energía, al tiempo que maximicen la eficiencia de ésta con el fin de incrementar la competitividad frente a otros actores de la industria maquiladora (Flores *et al.* 2004, Cheung and Fan 2013)

4.3 Barreras para la implementación de medidas de eficiencia energética

Entre las barreras que retrasan la implementación de tecnologías para la optimización de energía están los obstáculos legales, financieros, organizacionales y de información (Chai and Yeo 2012, Sudhakara Reddy 2013). Aparte de estos factores, que pudieran catalogarse como *genéricos* para toda la industria, hay también que analizar los obstáculos específicos a cada maquiladora; dentro de los cuales las barreras culturales y técnicas, o *el know-how*, son igualmente determinantes en el éxito de la implementación de políticas energéticas (Paik and Derick Sohn 1998, Russell 2011).

La distancia cultural entre el país huésped y la corporación trasnacional es un tema ya bien definido y estudiado; en el caso de las maquiladoras asiáticas asentadas en México se ha

identificado que muchas de las fallas en la consecución de objetivos de optimización en el uso de energía tienen que ver con deserción laboral y desobediencia o desapego a mandatos gerenciales y, consecuentemente, a la falta de seguimiento operacional (Paik and Derick Sohn 1998). El trasfondo de estas actitudes es la reacción desfavorable de los empleados mexicanos respecto a los estilos gerenciales autoritarios que imperan en algunos países de Asia, en donde las decisiones de superiores no son cuestionadas y las políticas empresariales son impositivas más que inclusivas (Paik and Derick Sohn 1998, Russell 2011).

Pudiera pensarse que los resultados serían diferentes en sistemas organizacionales occidentales donde la inclusión de los trabajadores en la toma de decisiones es parte del proceso administrativo, al menos en la teoría; sin embargo, operadores de maquiladoras en México y Estados Unidos han declarado que, aunque ellos identifican áreas de oportunidad para el ahorro de energía, sus aportaciones rara vez son tomadas en cuenta por la gerencia (Glaser 1992, McKane *et al.* 2008).

Respecto al enfoque de la sustentabilidad, el meollo del debate entre analistas y expertos en energía reside precisamente en cuán *sustentable* es realmente la eficiencia energética en relación con los procesos productivos; pues se arguye que irremediablemente conducirá a un *efecto rebote* o Paradoja de Jevons, es decir, que mayor eficiencia energética naturalmente conduce a más consumo energético para incrementar la producción y finalmente obtener más ganancias económicas, independientemente del impacto medioambiental que pudiera generarse (Alcott 2005, Polimeni 2012, Dobes 2013). El pensamiento de Jevons, sin embargo, pareciera ignorar la utilización de recursos energéticos renovables y centrarse sólo en los combustibles fósiles, para los que la eficiencia energética queda determinada en función del rendimiento respecto a la cantidad de insumo suministrado y no considera el hecho de que en la utilización de energías limpias esta relación no es necesariamente cierta (Ruiz *et al.* 2008, Sorrell 2009, Li *et al.* 2014).

Puede atribuirse la falta de unificación reglamentaria como una de las causantes de que en México haya fuertes rezagos por parte de los operarios en cuanto al conocimiento y cumplimiento de la normatividad vigente (Flores *et al.* 2004). Entonces, aun cuando la parte técnica y operacional sobre la optimización energética esté incluida en las normas oficiales, es necesario entrenamiento, capacitación e involucramiento de los operadores industriales

y empresarios para que éstas se apliquen de forma adecuada (Chai and Yeo 2012); e igualmente necesaria es la participación de las autoridades con competencia en energía para asegurar el cumplimiento de las normas y de esta manera contribuir a que las maquiladoras mexicanas logren los niveles de desempeño en eficiencia energética de otros países con estándares de gestión de energía similares (Al-mulali and Normee Che Sab 2013, Dongellini *et al.* 2014).

La reglamentación, estipulaciones y requerimientos para el uso de recursos energéticos en México está a la par de otros estándares internacionales, pero a diferencia de estos, la normativa mexicana se encuentra contenida en varios documentos con distintos enfoques y alcance (DOE 2011, Bryan and Phelan 2012). En lo concerniente al uso eficiente de la energía para la industria destacan las siguientes normas oficiales mexicanas, NOM-007-ENER-2014, NOM-008-ENER-2001, NOM-009-ENER-2014, NOM-011-ENER-2006, NOM-018-ENER-2011; cada una de ellas, en menor o mayor medida, trata las principales áreas de consumo energético de las maquilas, tales como calderas, climatización, sistemas automatizados y transporte (SENER 2016)

4.4 Edificaciones sustentables y eficiencia energética

Los resultados de auditorías energéticas en maquiladoras coinciden fundamentalmente en que hay áreas específicas de la planta cuya gestión puede generar reducciones significativas en el consumo de energía, algunas de estas medidas tienen que ver con la instalación y adquisición de nueva tecnología, como el reemplazo de sistemas automatizados o la implementación de dispositivos de control inteligentes (Olanrewaju and Jimoh 2014); otras tienen que ver con principios de producción más limpia, en donde el subproducto de un proceso puede ser utilizado como insumo en otros, por ejemplo, utilizar el calor liberado por los sistemas de calefacción para calentar el agua de las calderas (Al-mulali and Normee Che Sab 2013, Dobes 2013). Aunque indudablemente estas medidas incrementan la eficiencia energética, no deben ser vistas como panacea, toda vez que son medidas correctivas y no preventivas (Nicholas *et al.* 2000, Ocak *et al.* 2004).

Si bien la obsolescencia tecnológica o la mala aplicación de procedimientos contribuyen al aprovechamiento inadecuado de energía, estas no son las principales causas de ineficiencia energética; de hecho, los sistemas motorizados en la industria pueden perder

hasta el 55% del insumo inicial de energía antes de que ésta llegue a los procesos de producción (McKane *et al.* 2008). Se ha encontrado que las más grandes oportunidades de ahorro energético están relacionadas con la configuración del edificio, las instalaciones, los materiales de construcción y el diseño arquitectónico de las naves industriales (Sadineni *et al.* 2011, Pacheco *et al.* 2012).

En la etapa de diseño de los edificios es vital que se consideren factores como el aislamiento térmico, aun en climas cálidos; la orientación del edificio en relación con la radiación solar, el tamaño y forma de la construcción, la demanda energética de los procesos, el sombreado o *shading*, y considerar aspectos como la vegetación o jardinería como elementos de enfriamiento pasivo (Pacheco *et al.* 2012). La caracterización de estos elementos proveerá al equipo gerencial con la información necesaria para hacer un diagnóstico acertado de los requerimientos energéticos de la maquiladora (Sozer 2010). Este enfoque, sin embargo, es general y tendrá sus excepciones; para el diseño específico de cada maquiladora hay también que considerar aspectos externos a la empresa, elementos que no pueden ser controlados pero sí gestionados, tales como la temperatura ambiental, la ubicación geográfica o el acceso a recursos e insumos (Bassi *et al.* 2009, Wang *et al.* 2013).

Aunque pudiera parecer obvia la necesidad de considerar estos últimos factores en la etapa del diseño de los edificios, su inclusión sigue siendo de segunda importancia (Bassi *et al.* 2009, Bryan and Phelan 2012). A pesar de la evidencia de cuán significativa y determinante es la eficiencia energética para el desempeño general de las maquiladoras, el gran eje sobre el que se centran las políticas de gestión interna siguen siendo los costos de producción y los costos energéticos directamente asociados a estos, mientras que otras áreas donde el consumo energético no forma parte explícita del proceso productivo, aunque sí de la configuración del edificio, han recibido menor atención aun cuando su potencial para amortiguar costos pudiera ser mayor (Van Den Wymelenberg *et al.* 2013, Olanrewaju and Jimoh 2014).

Aunado a sus políticas empresariales, muchas maquiladoras transnacionales intentan también construir réplicas físicas de las instalaciones en el país de origen, esto bajo la premisa de que el formato que intentan implantar en el país huésped ha sido probado con éxito en el país de origen y les evita pérdidas de tiempo y dinero en las gestiones de

planeación y diseño; no obstante, es elemental que el equipo gerencial en la maquiladora se asegure de que los materiales de construcción sean adecuados y apropiados para el clima donde se asentará la maquiladora (Utar and Ruiz 2013). La selección errónea de materiales podría resultar contraproducente para la maquiladora e incrementar los costos energéticos considerablemente, así como generar externalidades no sólo en relación a la contaminación generada por el consumo de energía sino por la disposición de los materiales de construcción en el medio ambiente una vez concluido su ciclo de vida útil (Guajardo-Quiroga 1998, Iribarren *et al.* 2015).

4.5 Auditorías energéticas: eficiencia en el uso de energía y gestión integral en maquiladoras

Los ahorros energéticos por sí solos no son, y no deben ser, los principales incentivos en la toma de decisiones en la industria maquiladora, por lo tanto, han de ser vistos como parte integral de los beneficios de las auditorías energéticas y no como el objetivo absoluto de estas (Hadjimarcou *et al.* 2013, Sudhakara Reddy 2013). En otras palabras, las auditorías energéticas deben ser una herramienta indispensable de la gestión en las maquiladoras más allá de los beneficios económicos inherentes que puedan tener; esto porque en términos generales el manejo óptimo de la energía tiene repercusiones también en el ambiente laboral, el desempeño medioambiental, la calidad del producto y del trabajo, y porque su implementación puede develar oportunidades de mejoramiento en otras áreas de la maquila no directamente relacionadas con los insumos energéticos (Water *et al.* 2008, Tanaka 2011).

De hecho, la implementación de medidas de eficiencia energética pudiera representar inicialmente gastos netos para la maquiladora, por lo que la relación costo-beneficio no debe centrarse sólo en el gasto energético, es necesario explorar otras áreas de la maquila que se verán potencialmente afectadas tras la auditoría energética y la implementación de las medidas de eficiencia energética pertinentes (Chai and Yeo 2012, Van Den Wymelenberg *et al.* 2013). Es menester analizar los impactos en el desempeño general de la compañía y no en su estricta relación con la producción o el uso de energéticos; sin embargo, uno de los impedimentos recurrentes en la adopción de medidas de eficiencia energética es precisamente el temor a que su implementación práctica pueda interrumpir la

producción o requerir cambios radicales en los procesos de manufactura (Water *et al.* 2008, Wang *et al.* 2013).

Una de las críticas más severas en la ejecución de auditorías energéticas expone la clara inclinación de los actuales programas de eficiencia de uso de energía a concentrarse en áreas típicas de alto gasto energético, como las calderas, los sistemas de climatización o los sistemas motorizados; el argumento de esta crítica resalta la importancia de tomar un enfoque sistémico que cubra otras áreas cuyo consumo energético es menos aparente (Laitner 2013, Trianni *et al.* 2014). No obstante, otros investigadores rebaten que, si bien los planes de eficiencia energética han de ser genéricos y flexibles en su diseño para incluir el mayor número de variables y poder aplicarse al mayor número de maquiladoras, también establecen que la *especificidad* es una cualidad indispensable, toda vez que las variables incluidas deben estar bien delimitadas, deben ser puntuales y fácilmente medibles (Tanaka 2011, Trianni *et al.* 2014).

Es pertinente hacer una distinción entre conservación de energía y eficiencia energética, que, aunque no son mutuamente excluyentes, tampoco la existencia de una garantiza implícitamente la presencia de la otra (Sudhakara Reddy 2013, Trianni *et al.* 2014). La conservación de energía busca la reducción en el uso de energéticos, independientemente de la calidad del producto o la eficacia de los procesos productivos, mientras que la eficiencia energética tiene como objetivo mantener o incrementar la calidad del producto mediante el aprovechamiento máximo de la energía (Sandberg and Söderström 2003, Van Den Wymelenberg *et al.* 2013).

Los resultados arrojados tras una auditoría energética deben generar recomendaciones encaminadas a fortalecer y fomentar la eficiencia energética por encima de la conservación de energía; aun cuando ésta última tenga un efecto sobre la rentabilidad más inmediato y una disminución directa en los costos de producción, en el largo plazo la eficiencia energética es una alternativa más sólida para el desempeño y crecimiento sostenible de la maquiladora debido a su carácter holístico (Ruiz *et al.* 2008, Sardanou 2008).

La decisión sobre cuál de los dos enfoques adoptar dependerá de los intereses y estrategias de mercado particulares a cada empresa (Tanaka 2011). No obstante, cabe destacar que el mercado de las maquiladoras de componentes electrónicos es de mediana

especialización y por ende no muy sensible a la fluctuación de los precios, por lo que una estrategia de bajos costos de producción no es enteramente justificable; por el contrario, son las maquiladoras con políticas energéticas sustentables las que muestran mayor crecimiento y mejor desempeño industrial (Sandberg and Söderström 2003, Song *et al.* 2014, Zhao *et al.* 2014).

La inclusión de auditorías energéticas ha de ser parte indispensable en la gestión de las maquiladoras, al punto en que la eficiencia energética y conservación de energía forme parte de la visión y esté presente en las fibras estructurales de las compañías. El desarrollo y crecimiento sustentable de la maquiladora debe considerar la eficiencia en el uso de energéticos tomando en cuenta no sólo los beneficios económicos, sino la implementación de políticas energéticas permanentes dirigidas a optimizar la utilización de los insumos energéticos, la eficiencia en los procesos de producción, la exhortación a prácticas sustentables entre los empleados, a involucrar las necesidades de las comunidades en la toma de decisiones, y a adherirse y ser propulsores de medidas energéticas que coadyuven en la reducción de CO₂ y promuevan el crecimiento económico sostenido y sostenible de las maquiladoras.

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El desarrollo del proyecto considera la inclusión y exploración de información cuantitativa y cualitativa, puesto que incorpora aspectos numéricos como índices de desempeño, costos de producción o consumo energético, pero también toma en cuenta las apreciaciones, observaciones y experiencia de operadores y gerentes para complementar la información.

5.2 Diseño metodológico

La estructura metodológica se clasifica como descriptiva y analítica, pues intenta diseccionar, analizar y explicar por medio de herramientas de caracterización las partes componentes de un sistema de eficiencia energética. Para este fin se utilizó un modelo de Producción más Limpia adaptado al Uso Eficiente de la Energía en las maquiladoras (UNEP, 2004). Este modelo es secuencial y cíclico, y se compone de 5 etapas principales (ver Figura 5): *Planeación y organización; pre-evaluación; evaluación; análisis de viabilidad; e implementación y continuidad.*



Figura 1. Esquema metodológico de Eficiencia Energética (UNEP 2004).

En el estudio se efectuaron intervenciones para que las recomendaciones emitidas sean implementadas, parcial o totalmente, y coadyuven al incremento en la eficiencia energética y al mejoramiento del desempeño general de las maquiladoras. Como complemento se utilizaron los lineamientos de la norma ISO 50001, un estándar enfocado a los sistemas de gestión energética.

5. 3 Alcance

Se ejecutaron Programas de Eficiencia Energética en maquiladoras en las ciudades de Mexicali, Baja California, y Hermosillo, en Sonora. El programa se desarrolló de octubre del 2014 a Junio del 2016.

5. 4 Objeto de estudio

El objeto de estudio se compone dos naves de producción industrial, la primera de ellas en la ciudad de Hermosillo, Sonora con procesos de ensamble de cables y conectores utilizando la electricidad como su principal suministro energético. La otra nave se encuentra en la ciudad de Mexicali, Baja California y está dedicada a la producción de componentes electrónicos, donde la electricidad es igualmente la única fuente de energía.

5.5 Preguntas de investigación

- *¿En un enfoque sistémico, que áreas de las maquiladoras participantes tienen mayor impacto en el consumo energético?*
- *¿Pueden desarrollarse ventajas competitivas mediante la gestión de recursos energéticos en las maquiladoras participantes?*

5.6 Selección del sitio del objeto de estudio

El proyecto comprende el análisis e investigación de maquiladoras de componentes electrónicos cuya selección ha sido determinística, a conveniencia, dado el interés de las maquiladoras seleccionadas de participar en este.

5.7 Instrumentos de recolección y manejo de datos

- Para la parte cualitativa se desarrollaron preguntas estándares en un formato de matriz que permita a gerentes y operadores expresar sus apreciaciones acerca de la gestión de recursos energéticos.
- Los instrumentos utilizados para la recopilación de datos son recibos de energía eléctrica, información técnica de manuales del equipo y maquinaria y cualquier información pertinente que provenga del equipo de trabajo de la compañía u observación directa.
- Para el manejo de información se utilizaron gráficos y hojas de cálculo que facilitaron su manejo.
- Cámara termográfica marca FLIR modelo E5. La utilización de esta herramienta fue esencial para identificar pérdidas de calor de los equipos, de los sistemas de aislamiento del edificio y de las centrales de carga eléctrica.

VI. RESULTADOS

A continuación se describen los resultados del Programa de Eficiencia Energética (PEE) llevado a cabo en las empresas Alden Amphenol y Furukawa.

6.1. Fase 1. Planeación y organización

6.1.1. Involucramiento y obtención del compromiso de la alta gerencia.

El acercamiento con los departamentos de Seguridad e Higiene Industrial en las maquiladoras y el involucramiento posterior de la alta gerencia de las empresas culminó en la elaboración y firma de un convenio en donde se establecen las responsabilidades conjuntas de la Universidad de Sonora y las maquiladoras participantes. Este documento avala la ejecución de la auditoría energética en las maquiladoras y compromete a ambas partes a trabajar en colaboración y cooperación mutua.

Como parte de su compromiso al proyecto, ambas maquiladoras ofrecieron cursos de inducción a los auditores y se les proveyó con el personal, recursos y facilidades necesarias para que desempeñen su trabajo adecuadamente.

Las maquiladoras difieren en tamaño, organización y perspectivas medioambientales. La siguiente tabla muestra la inclusión y existencia de políticas medioambientales en el *ethos* corporativo de las maquiladoras.

Tabla 1. Existencia de lineamientos y políticas medioambientales.

Empresa	Misión (Sí / No)	Visión (Sí / No)	Política Ambiental (Sí / No)
Empresa 1	No	No	Sí
Empresa 2	No	No	Sí

Matriz de percepciones del desempeño energético en la organización

Aparte de las observaciones empíricas durante los recorridos de reconocimiento, era importante conocer las impresiones, opiniones y conocimiento de los empleados y gerentes sobre la importancia de la conservación de la energía y la actitud de su empresa al respecto.

Para tal fin se utilizó una matriz de comportamiento organizacional en la gestión energética, la matriz considera 6 rúbricas: *políticas y sistemas, organización, motivación, sistemas de información, concienciación, e investigación* (Véase anexo 1). El equipo gerencial y el gerente general, así como los representantes del equipo verde valoraron cada una de estas áreas otorgándoles rangos del 0-4, donde el 4 representa la existencia de fuertes políticas e iniciativas energéticas integradas en la cultura de la organización. El nivel 0 denota la total carencia o desconocimiento de políticas energéticas en la organización. Los resultados del ejercicio se pueden apreciar en las figuras 2 y 3 que se presentan a continuación para cada una de las maquiladoras.

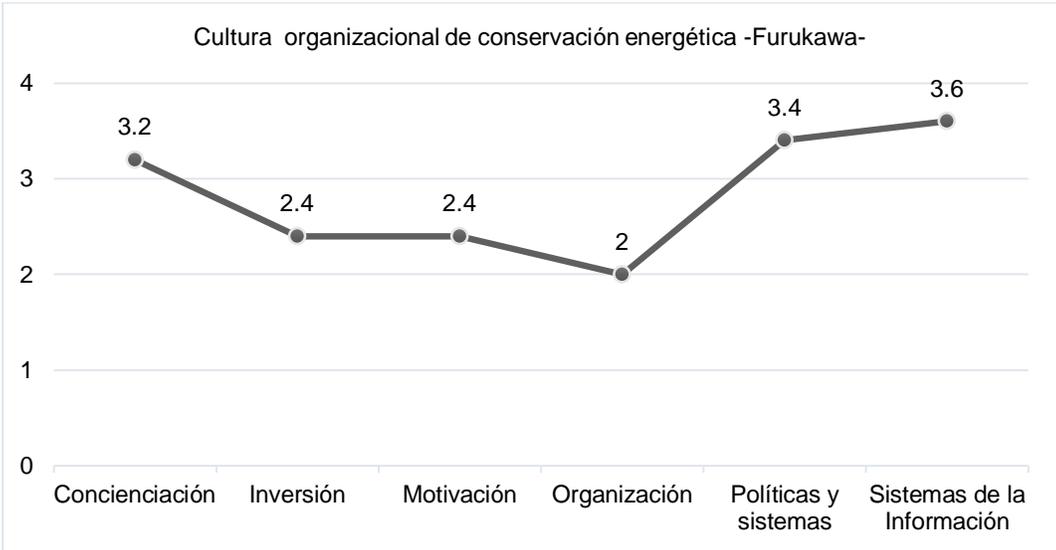


Figura 2. Gráfico de la cultura organizacional en gestión energética en Furukawa

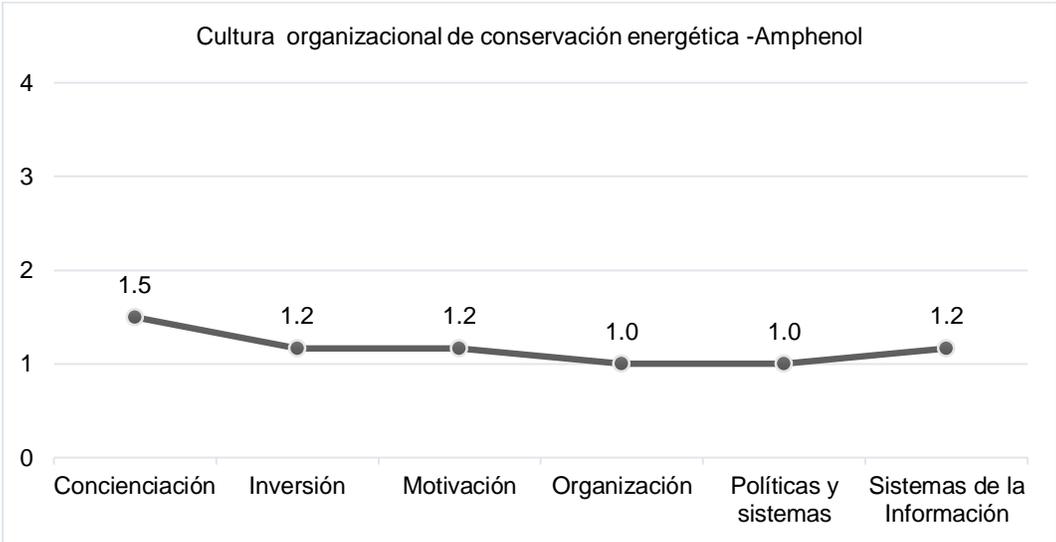


Figura 3. Gráfico de la cultura organizacional en gestión energética de Amphenol

6.1.2 Involucramiento de trabajadores y creación de equipos verdes

El compromiso de la alta gerencia y su interés genuino en el proyecto facilitó el acercamiento con empleados, supervisores y gerentes operacionales. Este enfoque multinivel es idóneo para que el proyecto tenga un alcance integral que se nutra de las diferentes habilidades, observaciones y contribuciones en todos los niveles jerárquicos de la organización. La composición de los equipos de trabajo quedó dispuesta de la siguiente manera. Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Equipo Verde en Furukawa

Furukawa	
Puesto	Responsabilidad
Gerente de Salud e Higiene industrial	Coordinar el proyecto en la maquiladora.
Gerente de Mantenimiento	Proveer con información técnica de las instalaciones y los equipos
Coordinador de Salud e Higiene industrial	Coordinar reuniones y servir de nexo entre los departamentos de la compañía.
Auxiliar de mantenimiento	Asistir con información técnica de equipo y materiales de trabajo
Operadores	Poner en práctica recomendaciones y aportar información del desempeño del programa.
Auditor	Ejecutar la auditoria energética.

Tabla 3. Equipo verde en Amphenol Alden, Hermosillo.

Amphenol	
Puesto	Responsabilidad
Coordinador de Salud e Higiene industrial	Coordinar el proyecto en la maquiladora.
Gerente de Mantenimiento	Proveer con información técnica de las instalaciones y los equipos
Operadores	Poner en práctica recomendaciones y aportar información del desempeño del programa.
Auditor	Ejecutar la auditoria energética.

Siguiendo el enfoque de Eficiencia Energética de Producción más Limpia, se identificó que las empresas auditadas mantienen políticas medioambientales y de reducción de eficiencia energética. En el caso de Furukawa, los lineamientos y políticas de optimización de energía están contenidos en los estatutos corporativos de la empresa y tienen impacto en todos los aspectos de las actividades de la maquiladora. Respecto a Alden, sus políticas medioambientales son manejadas de forma aislada por el departamento de Seguridad e Higiene Industrial, es necesario integrar a otros departamentos e involucrar a más empleados.

6.1.3 Compilación de información básica

Furukawa México es parte de un conglomerado de empresas dedicadas a proveer, distribuir y generar productos y servicios para la industria automotriz. La planta objeto de este estudio está ubicada en la ciudad de Mexicali, Baja California. Sus actividades principales son la producción de cables, bobinas, dispositivos eléctricos y electrónicos de automóviles. La empresa cuenta entre sus clientes a gigantes como Suzuki, Toyota, GM y otros. La planta está distribuida en un área de 16 770 m² como se muestra en el anexo 2. Al momento de la auditoría la compañía contaba con 1 947 empleados que laboraban en tres turnos de producción. El tercer turno corresponde al horario nocturno es el que cuenta con menores exigencias de producción, el suministro de insumos, empleados y materias primas están adecuados a esta menor demanda.

El sitio de esta maquiladora es moderno y tiene tecnología de aislamiento térmico adecuado, la maquinaria en la planta está bien organizada y distribuida de acuerdo a los requerimientos de producción y tipo de producto. Actualmente cuentan con fuertes políticas energéticas y dos veces por año se llevan a cabo evaluaciones de consumo energético; más de lo establecido por la legislación mexicana que requiere una de estas evaluaciones anuales. Furukawa utiliza la electricidad como su único insumo energético.

La otra maquiladora, Alden Amphenol, es una empresa de alta especialización, dedicada principalmente a la fabricación y ensamblaje de componentes eléctricos para dispositivos utilizados en la medicina, la aeronáutica, las telecomunicaciones y las fuerzas armadas. Entre las diferentes familias de producción sobresale la elaboración de un componente para los desfibriladores, cada pieza se construye de manera individual y personalizada utilizando

para ello tecnología microscópica. Debido al cuidado con que se fabrica cada una de las partes, sólo se producen entre 45 y 50 piezas al día a un costo de aproximadamente 200 dólares cada una.

La infraestructura de la compañía no está completamente adecuada a las actividades ejercidas en la planta y muchos cambios físicos y administrativos han sido implementados para que el edificio sea apto para los requerimientos de producción. En general, la maquiladora carece de fuertes políticas energéticas y los sistemas de aislamiento térmico pudieran no ser los adecuados, pues no comprenden la totalidad del edificio. La maquila no tiene una política medioambiental a nivel corporativo, pero sí existe a nivel departamental. Esta pequeña maquiladora tiene 139 empleados que trabajan en un solo turno. La superficie que ocupa es de 2, 358 m², la distribución de las áreas del predio se puede apreciar al final del documento en el anexo 3.

Historial de consumo de energía eléctrica en las maquiladoras

Tabla 4. Consumo de electricidad kWh/mes

	2012		2013		2014	
	Furukawa	Amphenol	Furukawa	Amphenol	Furukawa	Amphenol
Enero		42 720	523 092	42 347	634 900	45 616
Febrero	440 125	35 648	485 860	40 273	621 950	44 944
Marzo	534 800	40,176	579 946	49 288	719 950	51 920
Abril	502 425	43 168	652 901	46 224	726 950	54 378
Mayo	643 825	51 312	702 450	65 512	779 800	75 547
Junio	658 524	53,664	687 250	73 440	767 200	79 472
Julio	652 197	45 728	737 975	77 904	844 025	87 040
Agosto	768 717	52 320	787 675	77 408	841 575	85 168
Septiembre	679 602	50 240	726 425	69 072	835 100	76 288
Octubre	660 505	58 997	718 725	11 376	805 463	72 576
Noviembre	561 356	52 000	654 500	51 888	731 271	47 152
Diciembre	431 028	44 241	500 675	45 024	576 319	45 520
Total	6 533 104	570 214	7 757 474	649 756	8 884 503	765 621

Representaciones gráficas del consumo de electricidad histórico por maquiladora

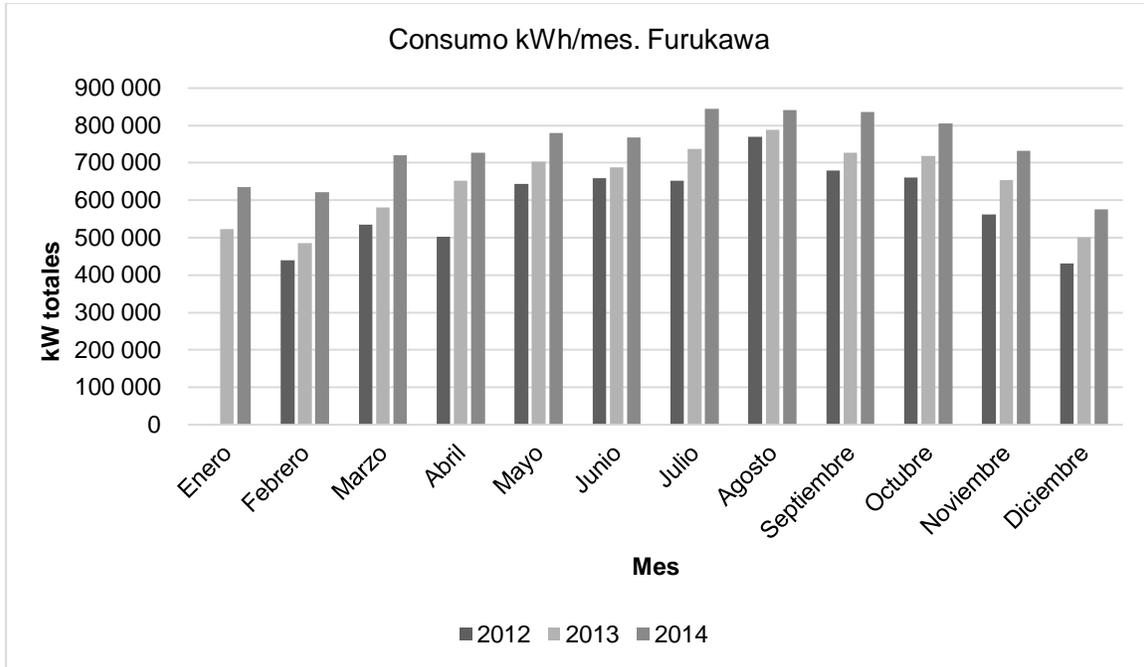


Figura 4. Gráfico de consumo de energía eléctrica 2012-2014 Furukawa México.

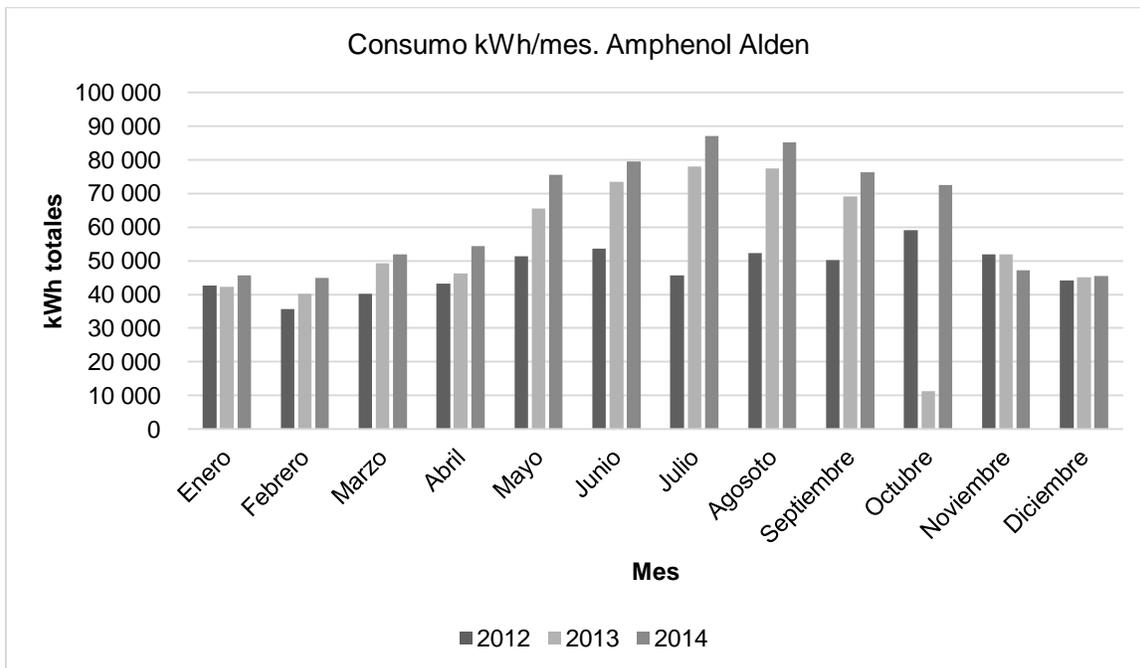


Figura 5. Gráfico de consumo de energía eléctrica 2012-2014 Amphenol.

La emisión de CO₂ de las maquiladoras al medio ambiente es calculada con base en su consumo energético y utilizando los factores de conversión de GEI México (Ver tabla 5). Los resultados se pueden observar en la tabla 4 y figura 8 respectivamente.

Tabla 5. Toneladas de CO₂ emitidas por uso de energía eléctrica por año.

Año	Furukawa México	Amphenol
2012	3 374.35	294.52
2013	3 877.96	324.81
2014	4 041.56	348.28
Total	11 293.87	967.61

Tabla 6. Factor de conversión de kWh a ton de CO₂ en México.

Año	Factor
2012	0.5165
2013	0.4999
2014	0.4549

Programa GEI México (SEMARNAT 2015)

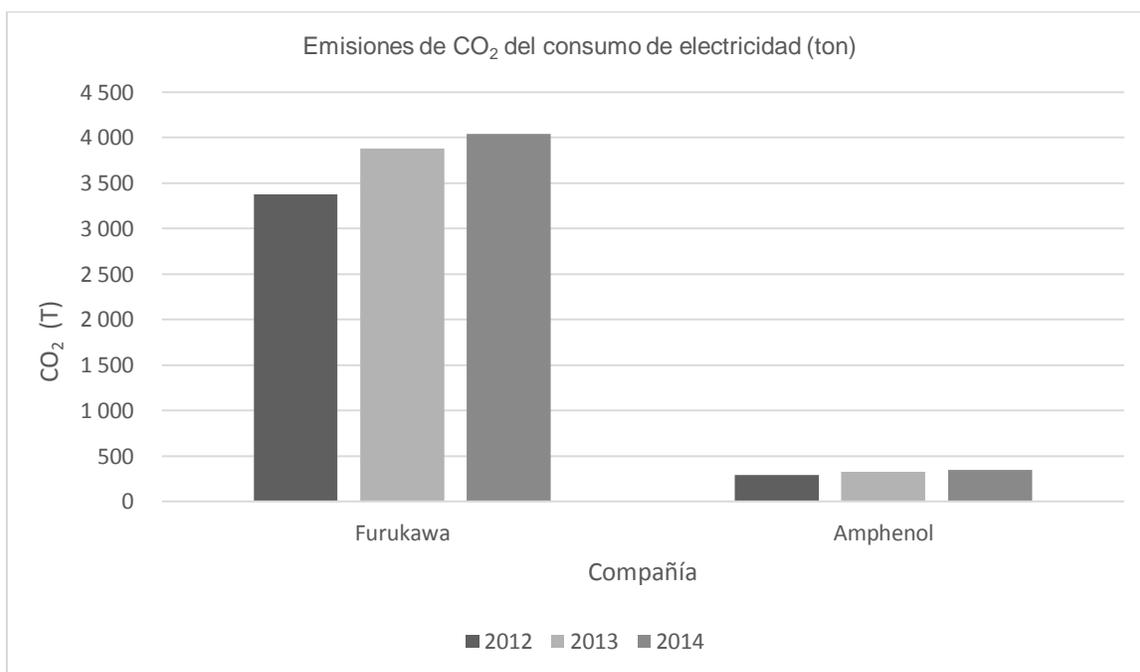


Figura 6. Toneladas de CO₂ emitidas por uso de energía eléctrica por año.

Maquinaria y Equipo

La evaluación del consumo energético quedó dividida en tres categorías, esto con fines de identificar más adecuadamente las áreas que demandan mayor uso de electricidad. Para ello se realizó un inventario de maquinaria, de iluminación y de equipos de climatización. Obsérvese esta disposición en la tabla 7 que se muestra a continuación.

Tabla 7. Concentración de consumo eléctrico en kWh por área.

	Equipos de climatización	Sistemas de Iluminación	Maquinarias de producción
Furukawa	11 071	1 514	16 961
Amphenol	405	204	4 544

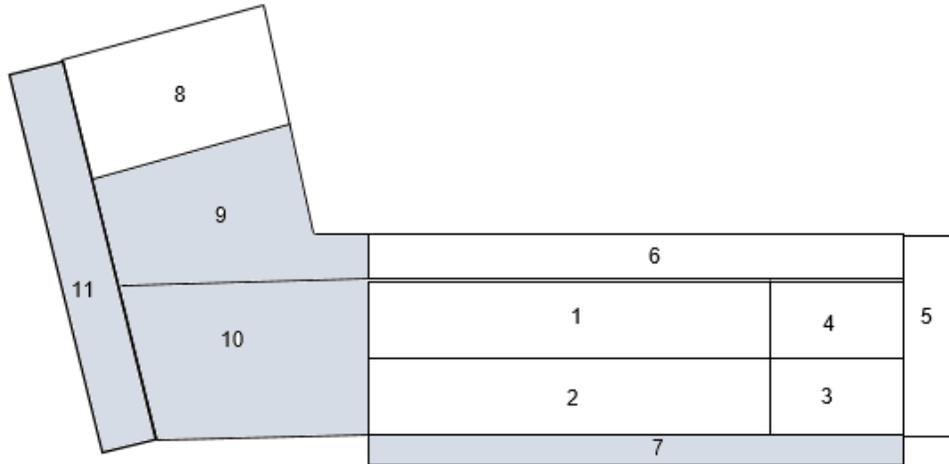
6.1.4 Determinación del enfoque del estudio

Alcance

En ambas maquiladoras se ha establecido que el estudio se enfocará a los procesos de producción y los subsistemas que los soportan. En el caso de la maquiladora Furukawa se tomará la parte final del proceso de producción que corresponde a moldeo, se determinó que esta fase de producción concentra la mayor demanda de electricidad.

Énfasis del estudio

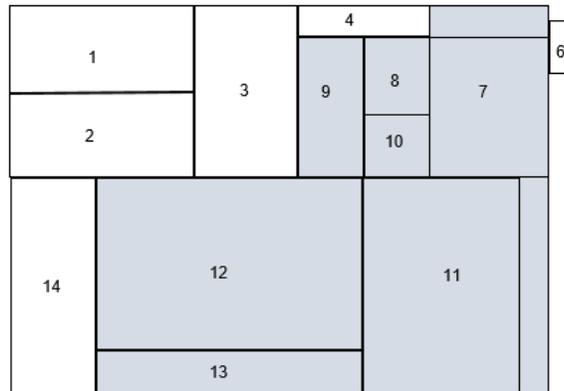
En las dos maquiladoras el énfasis debe ser el equipo y maquinaria utilizados en los procesos; la iluminación de la planta; y, los sistemas de climatización. En Furukawa, en la rúbrica de maquinaria y equipo, la contabilización de consumo energético se centra sólo en las áreas de sobremoldeo y hornos. A continuación se presentan la distribución de las plantas Furukawa y Amphenol en las figuras 7 y 8, respectivamente. Los recuadros resaltados muestran los espacios físicos donde se localizan los procesos auditados.



- | | | |
|-----------------------|-------------------|------------------|
| 1. Producción SCR | 5. Almacén | 9. Sobremoldeado |
| 2. Amés | 6. Administración | 10. Hornos |
| 3. Honda | 7. Compresores | 11. Compresores |
| 4. Control de calidad | 8. Almacén dos | |

Figura 7. Plano de la distribución de Furukawa

La segunda planta estudiada fue Alden Amphenol, cuya distribución física se muestra en la figura 8 a continuación.



- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. Recibos | 9. Corte |
| 2. Embarques | 10. Phillips Paddle |
| 3. Almacén | 11. Moldeo Boy |
| 4. Mantenimiento | 12. Phillips |
| 5. Moldeo MBR | 13. Xerox |
| 6. Desecho | 14. Administración |
| 7. Secado | 15. Hornos |
| 8. Ensamblaje | |

Figura 8. Plano de distribución de Alden Amphenol

6.2. Fase 2. Pre-evaluación

6.2.1. Diagramas de proceso.

En Furukawa existen tres principales procesos de producción para todos los productos. Se han considerado estos procesos para el estudio debido a la significativa demanda de recursos energéticos que requieren. A continuación se muestra el primer proceso de moldeo. Figura 9. Los otros dos diagramas pueden consultarse en los anexos 4 y 5.

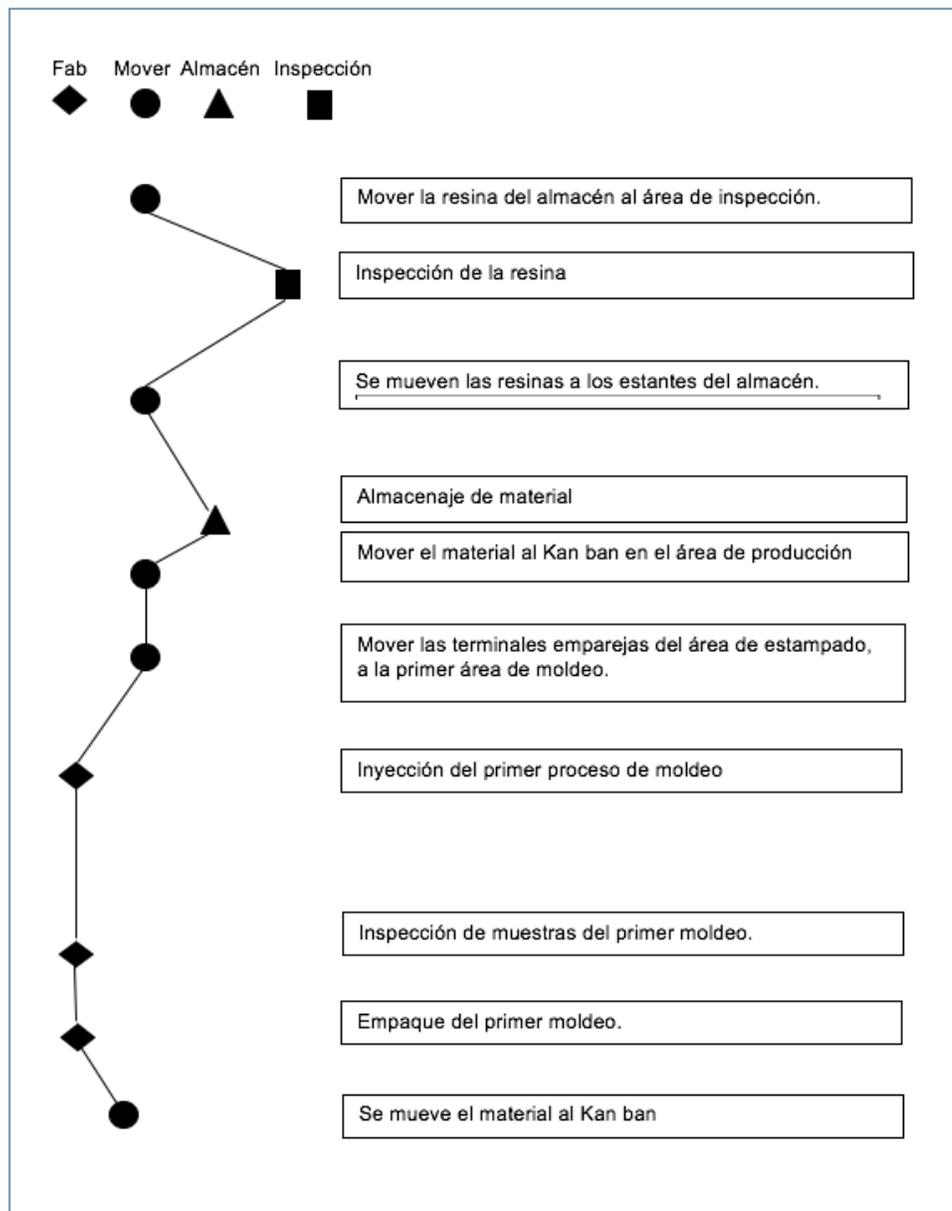


Figura 9. Diagrama de flujo del primer proceso de moldeo en Furukawa.

En Amphenol la producción está dividida en familias, para efectos ilustrativos se presenta el proceso de la familia Xerox que es el más largo y complejo (Figura 10). El resto de los procesos pueden verse en los anexos 6, 7, 8 y 9.

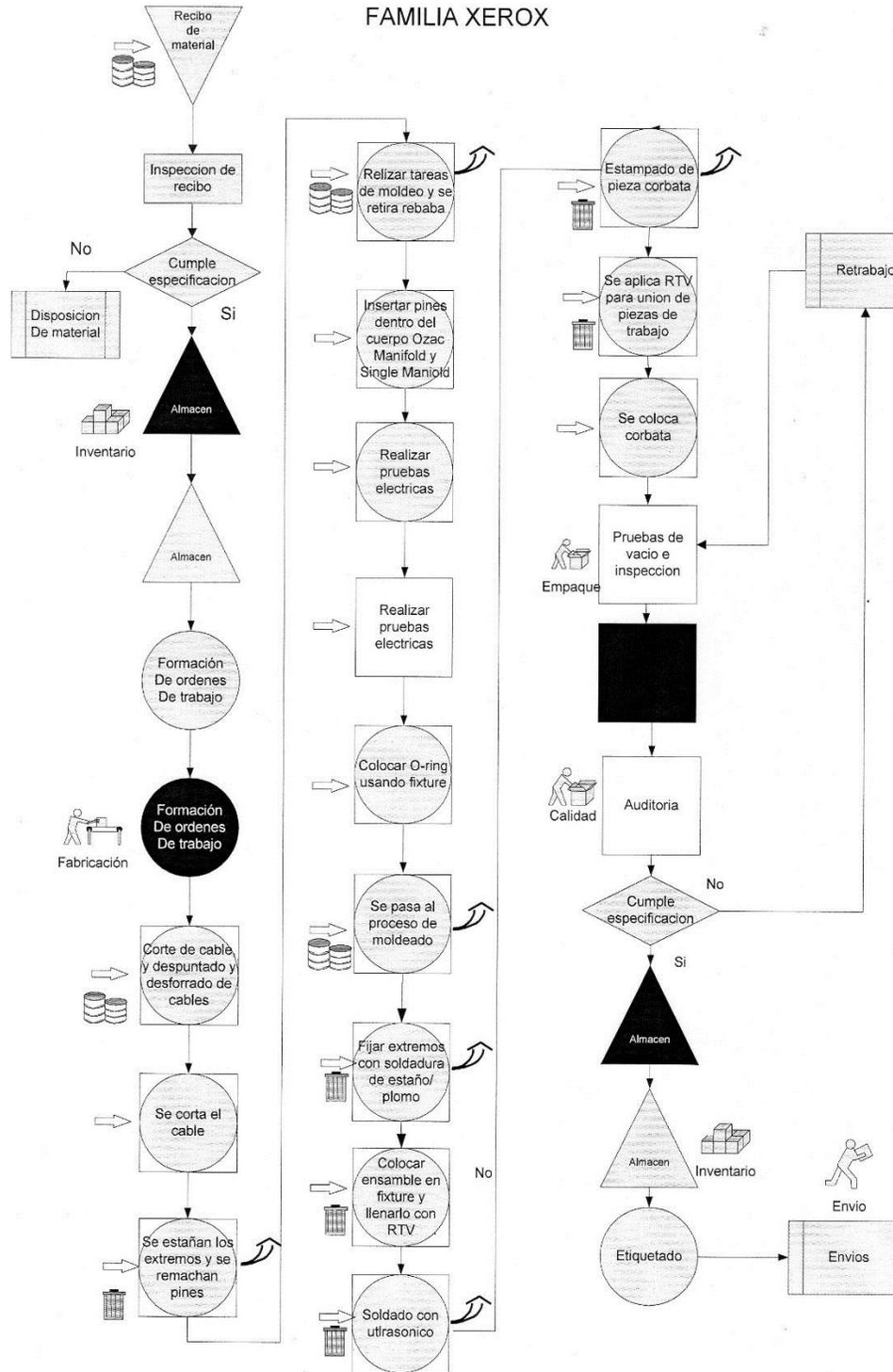


Figura 10. Proceso de producción de la familia Xerox.

6.2.2. Cuantificación y caracterización de Entradas-Salidas de energía

En ambas compañías se determinó hacer la contabilización del consumo energético en tres áreas fundamentales: sistemas de climatización, maquinaria y equipo, y la iluminación. Los resultados encontrados se muestran a continuación.

A) Furukawa

Sistemas de climatización

Tabla 8. Consumo energético de sistemas de climatización

Cantidad de Equipos	Toneladas	kWh	Área	Horas de operación diaria	Consumo diario en (kWh)
1	5	6.90	Sala de gerencia	20	138.00
1	5	6.90	Comedor	12	82.80
2	15	27.60	Oficinas	12	331.20
1	20	27.60	Comedor	12	331.20
2	14	23.00	Oficinas	12	276.00
1	20	27.60	Ingeniería	18	496.80
1	20	32.20	Envíos	24	772.80
1	20	20.24	TMR 34	18	364.32
7	20	141.68	Producción	24	3 400.32
2	10	5.45	Baños	24	130.79
9	20	178.02	Producción	24	4 272.48
4	20	19.78	Moldeo	24	474.72
TOTAL kWh					11 071.43
* Total de Toneladas de CO₂					5.04
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

Sistemas de Iluminación

Tabla 9. Consumo eléctrico de iluminación por área

Área	Cantidad de lámparas	Watts por lámpara	Horas de operación diaria	Consumo diario (kWh)
Producción	700	35	21	539.00
Almacén	277	35	19	193.90
Final de Producción	20	35	1	0.70
Ingeniería	45	35	10	17.33
Hornos y Moldeo	430	35	24	361.20
Moldeo	78	35	24	65.52
Over-molding	400	35	24	336.00
TOTAL kWh				1 513.65
* Total de Toneladas de CO₂				.69
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6				

Maquinaria y equipo

Tabla 10. Consumo eléctrico de máquinas y equipo de moldeo

Cantidad	Equipo	kWh	Área	Horas de operación diaria	Consumo diario (kWh)
4	Hornos	29.12	Moldeo	20	582.40
34	Moldeadora	388.96	Moldeo	22	8 557.12
12	Moldeadora	184.80	Moldeo	22	4 065.60
1	Moldeadora	48.00	Moldeo	20	960.00
12	Moldeadora de Inyección	55.20	Over-molding	22	1 214.40
37	Secadores	5.54	Moldeo	22	121.90
12	Secadores	1.80	Over-molding	22	39.54
2	Estampadora	41.60	Estampado	20	832.0
1	Prensa estampadora	23.00	Estampado	22	506.00
1	Blower	3.40	Cortado	24	81.60
TOTAL kWh					16 960.56
* Total de Toneladas CO₂					7.72
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

B) Amphenol Alden

Sistemas de climatización

Tabla 11. Consumo eléctrico en sistemas de climatización

Equipo	Toneladas	kWh	Área	Horas de operación diaria	Consumo diario (kWh)
1	1	0.98	Oficina	8	7.85
2	5	4.97	Cuarto limpio	10	49.75
3	25	7.43	Producción/central	10	74.27
4	25	7.22	Producción/central	10	72.18
5	25	6.53	Producción/central	10	65.28
6	1	0.94	Servidores	24	22.51
7	5	5.87	Oficina	10	58.73
8	5	2.63	Producción/central	10	23.33
9	5	2.80	Producción/central	10	28.04
TOTAL kWh					404.94
* Total de Toneladas CO ₂					.18
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

Sistemas de Iluminación

Tabla 12. Consumo eléctrico de sistemas de iluminación por área.

Área	Cantidad de lámparas	Watts	Horas de operación diaria	Consumo diario (kWh)
Producción	128	60	24	184.32
Almacén	14	60	10	8.40
Almacén	2	30	10	0.60
Cuarto de moldeo	2	60	10	1.20
Cuarto de moldeo	1	30	10	0.30
Cuarto limpio	4	60	10	2.40
Baños	3	60	24	4.32
Mantenimiento	4	30	24	2.88
TOTAL kWh				204.42
* Total de Toneladas CO ₂				.09
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6				

Maquinaria y equipo

Tabla 13. Consumo eléctrico proveniente de máquinas y equipo de producción.

Cantidad	Equipo	Área	kWh	Horas de operación diaria	Consumo diario (kWh)
9	Secador	Producción/ Moldeo	104.35	15	1 565.30
17	Moldeadora	Moldeo	141.94	10	1 419.36
3	Hi-pot	Producción	6.07	10	60.72
11	Remachadora Electro-neumática	Producción	7.59	10	75.90
2	Chiller	Producción	12.95	10	129.54
2	Ultrasónica	Producción	5.76	10	57.60
1	Máquina soldadora en frío	Producción	24.20	10	242.00
2	Hornos	Producción	9.20	15	138.00
1	Pistola de iones	Producción	11.50	10	115.00
5	Probador de corriente	Producción	14.30	10	143.00
16	Crisol	Producción	9.60	10	96.00
1	Refrellidora de vapor	Producción	8.32	10	83.20
1	Soldadora	Producción	5.50	10	55.00
4	Peinadores	Producción	4.60	10	46.00
3	Cortadora de Cable	Corte	3.30	10	33.00
1	Marcadora de Láser	Producción	1.92	10	19.20
7	Trenzadora	Producción	0.81	10	8.05
TOTAL kWh					4 286.87
* Total de Toneladas CO ₂					1.95
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

6.2.3. Generación de la Línea Base y Proyección de ahorros potenciales

Los turnos de operación de las maquiladoras son variados, mientras que en Furukawa se trabajan tres turnos completos para dar una operación diaria de 24 horas, en Amphenol sólo existe un turno, sin embargo, la preparación de la maquinaria, el calentamiento de los hornos y las moldeadoras requieren que éstas estén encendidas horas antes de que comience la producción. Después del análisis de funcionamiento de las maquilas, del

levantamiento *in situ* de los datos de consumo, y de entrevistas con gerentes y supervisores de las líneas de producción, se han pronosticado ahorros potenciales en las rúbricas analizadas. La información se muestra a continuación:

Tabla 14. Resumen de las reducciones potenciales en consumo energético y emisiones de CO₂ (T)

	Reducción en kWh	Reducción en (T) CO ₂
Furukawa	3 992	1.82
Alden Amphenol	755	.34

A continuación se presentan los ahorros potenciales diarios de consumo y reducción de CO₂ divididas por área. Tablas 15 y 16.

Tabla 15. Gasto en electricidad y CO₂ y reducción potencial en Furukawa

Rubro	Consumo Diario (kWh)	Contribución Diaria de CO ₂ (T)	Ahorro Potencial (Alto / Medio / Bajo)
Climatización	11 071	5.04	Medio
Iluminación	763	0.69	Bajo
Maquinaria y Equipo	16 961	7.72	Medio

Tabla 16. Gasto y reducción potencial en electricidad y CO₂ en Amphenol Alden

Rubro	Consumo Diario (kWh)	Contribución Diaria de CO ₂ (T)	Ahorro Potencial (Alto / Medio / Bajo)
Climatización	405	0.18	Medio
Iluminación	204	0.09	Alto
Maquinaria y Equipo	4 287	1.95	Medio

6.3. Evaluación

6.3.1. Balance detallado de material y de energía

a) Furukawa

Sistemas de climatización

Tabla 17. Ahorro potencial de electricidad en equipo de climatización en Furukawa.

No. De equipos	Toneladas	Área	Horas operación	Horas efectivas de uso	Ahorro potencial diario (kWh)
2	10	Baños	24	20	21.80
4	20	Moldeo	24	20	79.12
1	5	Sala de gerencia	20	19	6.90
1	5	Comedor	12	10	13.80
2	15	Oficinas	12	10	55.20
1	20	Comedor	12	10	55.20
2	14	Oficinas	12	10	46.00
1	20	Ingeniería	18	17.5	13.80
1	20	Envíos	24	23	32.20
7	20	Producción	24	20	566.72
9	20	Producción	24	20	712.08
TOTAL kWh					1 602.82
* Total de Toneladas CO ₂					0.73
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

Sistemas de iluminación

Tabla 18. Ahorro potencial de electricidad en iluminación en Furukawa.

Área	Cantidad de lámparas	kWh totales	Horas operación	Horas efectivas requeridas	Ahorro potencial diario (kWh)
Producción	700	539.00	22	21	24.50
Almacén	277	193.90	20	19	9.69
Ingeniería	45	17.33	11	10	1.58
Hornos y Moldeo	430	361.20	24	22.8	18.06
Moldeo	78	65.52	24	23.7	0.82
Over-molding	400	336.00	24	23.7	4.20
TOTAL kWh					58.85
* Total de Toneladas CO ₂					.03
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

Maquinaria y equipo

Tabla 19. Ahorro potencial de electricidad en la maquinaria y equipo instalada en Furukawa.

Área	Nombre de equipo	No. De equipos	kWh totales	Horas operación	Horas efectivas requeridas	Ahorro potencial diario (kWh)
Moldeo	Hornos	4	582.40	20	18	58.24
Moldeo	Moldeadora	34	8 557.12	22	17.5	1 750.32
Moldeo	Moldeadora	12	4 065.60	22	20	369.60
Moldeo	Moldeadora	1	960.00	20	19.5	24.00
Over-molding	Moldeadora de Inyección	12	1 214.40	22	21	55.20
Moldeo	Secadores	37	121.90	22	17.5	24.94
Over-molding	Secadores	12	39.54	22	21	1.80
Estampado	Estampadora	2	832.00	20	19.7	12.48
Estampado	Prensa estampadora	1	506.00	22	21	23.00
Cortado	Blower	1	81.60	24	21	10.20
TOTAL kWh						2 329.77
* Total de Toneladas CO₂						1.06
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6						

b) Alden Amphenol

Sistemas de climatización

Tabla 20. Ahorro potencial de electricidad en el equipo de climatización en Alden Amphenol.

No. De equipos	Toneladas	Área	Horas operación	Horas efectivas requeridas	Ahorro potencial diario (kWh)
2	5	Cuarto frío	10	8	9.95
5	25	Producción/central	10	8	53.22
1	5	Oficina	10	8	11.75
TOTAL kWh					74.92
* TOTAL (T) CO₂					.03
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

Sistemas de iluminación

Tabla 21. Ahorro potencial de electricidad en la iluminación de Alden Amphenol.

Área	Cantidad de lámparas	kWh totales	Horas operación	Horas efectivas requeridas	Ahorro potencial diario (kWh)
Producción	128	184.32	24	10	107.52
Almacén	16	9.00	10	4	5.40
Cuarto de moldeo	3	1.50	10	8	0.30
Baños	3	4.32	24	3	3.70
Mantenimiento	4	2.88	24	10	1.60
TOTAL kWh					117.42
* TOTAL (T) CO₂					.05
* El factor de conversión se tomó del año 2014 de la tabla 6					

Maquinaria y equipo

Tabla 22. Ahorro potencial de electricidad en la maquinaria y equipo instalada en Alden Amphenol.

Área	Nombre de equipo	No. De equipos	kWh totales	Horas operación	Horas efectivas requeridas	Ahorro potencial diario (kWh)
Producción	Remachadora electro-neumática	11	75.90	10	8	15.18
Moldeo	Moldeadora Newbury	4	24.96	10	9	2.50
Moldeo	Moldeadoras	13	1 394.40	10	7	418.32
Producción	Hipot	3	60.72	10	8	12.14
Producción	Pistola de iones	1	115.00	10	7	34.50
Producción	Probador de corriente	5	114.40	10	8	28.60
Producción	Ultrasónica	1	24.00	10	6	9.60
Producción	Hornos	2	138.00	15	11	36.80
Producción	Peinadores	4	46.00	10	9	4.60
Producción	Trenzadora	7	8.05	10	9	0.81
TOTAL kWh						563.05
* TOTAL (T) CO₂						0.26
* El factor de conversión se tomó del año 20xx de la tabla x						

c) Análisis de Termografía

La utilización de la cámara termográfica para tomar radiación calórica de puntos estratégicos en la maquiladora reveló fugas significativas de calor, sobre todo en las áreas de moldeo y producción; asimismo sirvió para respaldar observaciones que eran evidentes a simple vista, como algunos centros de carga en mal estado o la falta de aislamiento térmico adecuado en zonas donde hay maquinaria que funciona a altas temperaturas.

La disparidad en las actividades y naves industriales de las maquilas se reflejan también en la construcción y configuración de sus edificios. Furukawa, por ejemplo, está localizada en instalaciones modernas y con zonas de producción claramente demarcadas y aisladas. En contraste, en Alden Amphenol todas las actividades de producción se realizan en la misma nave industrial; hay maquinaria funcionando a temperaturas de hasta 350° C junto a equipo y personal que requieren aire acondicionado. La carencia de barreras de aislamiento físicas adecuadas compromete la eficacia de los sistemas de climatización. Las figuras 11 y 12 a continuación muestran pérdidas de calor en máquinas de moldeo.



Figura 11. Moldeadora (Amphenol).



Figura 12. Moldeadora (Amphenol).

En algunas maquiladoras se observó que en ocasiones el equipo y maquinaria permanecían encendidos incluso durante periodos de inactividad en la producción, aunado a esto, los equipos tenían aislamiento térmico deficiente y se encontraban en áreas con refrigeración. Véase figura 13.



Figura 13 Hornos de sellado encendidos en tiempos de inactividad en la producción (Amphenol).

En Furukawa, de manera general, las instalaciones están en buen estado y con mantenimiento constante, como se observa en las siguientes imágenes de centros de carga y área de compresores en las figuras 14 y 15.

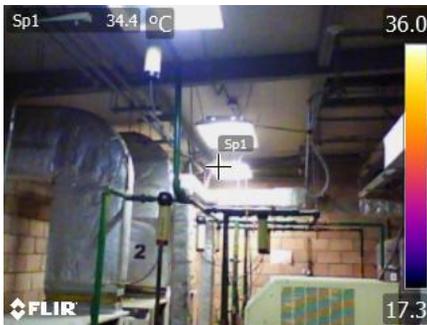


Figura 14. Área de compresores (Furukawa)



Figura 15. Centro de carga (Furukawa).

En esta maquiladora también hay controles de gasto de energía puestos en práctica, como se aprecia en la figura 16, donde se observa que los hornos de secado tienen estrictos registros de temperatura y tiempo de secado de material. Sin embargo, también se encontró maquinaria con pérdidas de calor, como se ve en la figura 17.



Figura 16 . Hornos con control de temperatura y periodos de funcionamiento (Furukawa).



Figura 17. Pérdidas de calor en hornos (Furukawa).

Observaciones del estudio de termografía

Las instalaciones en Furukawa son modernas y los sistemas de climatización están adecuadamente mantenidos para soportar las operaciones de la maquila. Las fotografías térmicas no revelan grandes pérdidas de calor, ni en los compresores ni en los motores que los operan. Se observaron temperaturas elevadas en algunos de los ductos de escape, pero aun así se mantiene dentro de los límites aceptables. Ver figura 18.

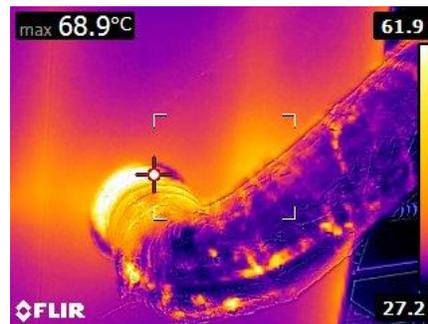


Figura 18. Ligera pérdida de calor en sistemas de escape (Furukawa).

En Alden Amphenol, los aires acondicionados están expuestos a las inclemencias de la intemperie, no están situados en áreas techadas ni tienen ningún tipo de protección del sol. Aunque las máquinas operan a temperaturas normales, la exposición a la lluvia, el viento y el sol pudieran mermar su vida útil considerablemente. Figura 19.



Figura 19. Aires acondicionados afuera del edificio (Alden Amphenol).

En Furukawa también hay aires acondicionados en el exterior de la planta, pero en contraste con Alden Amphenol, estos están protegidos con casetas hechas expresamente para ese propósito.

d) Resumen de ahorros potenciales

El resumen de los ahorros potenciales en kWh y CO₂ se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 23. Resumen de ahorros potenciales diarios en kWh por área y toneladas de CO₂.

	Aires (kWh)	Iluminación (kWh)	Equipos (kWh)	Total (kWh)	Total CO ₂ (T)
Furukawa	1 603	59	2 330	3 991	1.82
Amphenol	75	118	563	755	0.34

6.3.2. Diagnóstico de causas

En cada una de las maquiladoras se analizaron las posibles causas que merman el desempeño energético, el foco fueron las tres áreas anteriormente discutidas: sistemas de climatización, de iluminación, y de maquinaria y equipo. Adicionalmente se analizaron las tendencias actitudinales del personal respecto a la implementación de políticas y normas internas para la conservación de la energía; sus perspectivas, conocimiento y disposición para acatarlas y aplicarlas.

Los diagramas de Ishikawa en las figuras 20 y 21, de Furukawa y Amphenol respectivamente, muestran gráficamente las principales causantes identificadas que potencialmente impiden el óptimo desempeño energético en las maquiladoras.

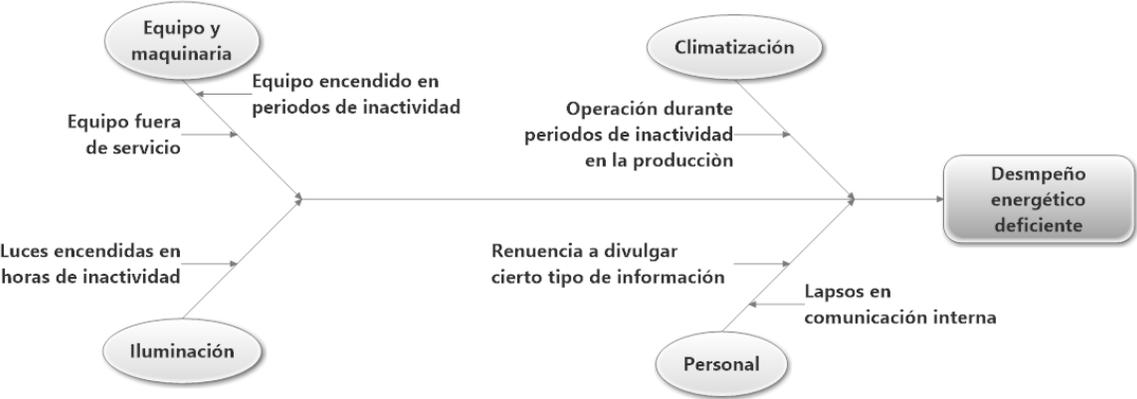


Figura 20. Diagrama de causas y consecuencias de desempeño energético en Furukawa.

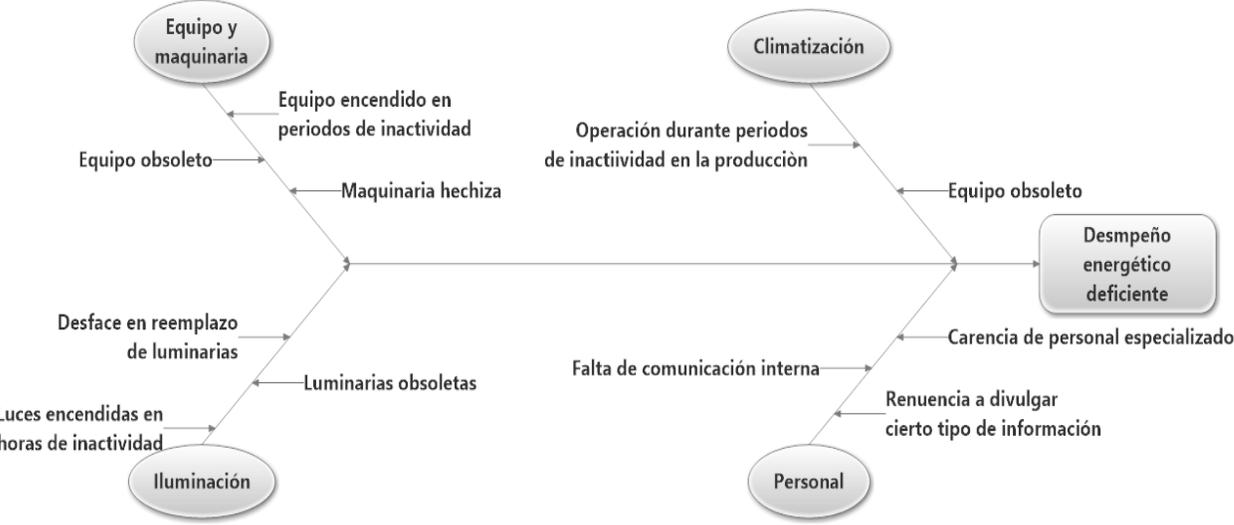


Figura 21. Diagrama de causas y consecuencias de desempeño energético en Amphenol

6.3.3. Generación de opciones

En la generación de opciones para la implementación se tomaron en cuenta los datos recopilados durante los recorridos en las instalaciones, los datos arrojados por el estudio termográfico, la identificación de barreras a la implementación de PEE; y también fue de particular importancia la información generada por la matriz de cultura organizacional en materia energética, obtenida tras reuniones con el equipo gerencial y equipo verde de ambas empresas.

Sistemas de climatización

Tabla 24. Relación de posibles opciones para sistemas de climatización

Causa	Posible Solución	Aplica a	Referencia de Opción
Equipo obsoleto	Sustitución por equipo con mayor eficiencia energía	Empresa 1	C1
		Empresa 2	C2
Equipo encendido en periodos de inactividad	Apagar en tiempos de inactividad en la producción	Empresa 1	C3
		Empresa 2	C4
	Instalar temporizadores automáticos/programados en aires acondicionados	Empresa 1	C5
		Empresa 2	C6
Áreas refrigeradas sin aislamiento térmico	Aislar áreas mediante instalación de barreas físicas	Empresa 2	C7
	Aislar maquinaria	Empresa 2	C8
Equipo de refrigeración centralizado en algunas áreas	Instalación de ductos seccionados	Empresa 2	C9
	Instalación de mini-splits	Empresa 2	C10

Sistemas de iluminación

Tabla 25. Relación de posibles opciones para Iluminación

Causa	Posible Solución	Aplica a	Referencia de Opción
Luminarias obsoletas	Reemplazo a T5/LED	Empresa 1	I1
		Empresa 2	I2
Desfase en el reemplazo de luminarias	Plan de reemplazo detallado	Empresa 2	I3
Luces encendidas en horarios de inactividad	Coordinar horas de actividades con departamento de producción	Empresa 1	I4
		Empresa 2	I5
Luminarias no sectorizadas	Instalar interruptores locales	Empresa 2	I6

Maquinaria y Equipos

Tabla 26. Relación de posibles opciones para maquinaria y equipo

Causa	Posible Solución	Aplica a	Referencia de Opción
Equipo encendido en periodos de inactividad en la producción	Apagar equipos durante inactividad en las operaciones	Empresa 1	ME1
		Empresa 2	ME2
Equipo obsoleto	Reemplazo por maquinaria y equipos con eficiencia de energía	Empresa 2	ME3
Maquinaria y equipo fuera de servicio/ineficiente	Mantenimiento preventivo	Empresa 2	ME4
	Adquisición de nuevo equipo		ME5
Maquinaria hechiza/improvisada	Adquisición de maquinaria adecuada.	Empresa 2	ME6
	Rediseño de procesos		ME7

Personal

Tabla 27. Relación de posibles opciones para aspectos relacionados con el personal

Causa	Posible Solución	Aplica a	Referencia de Opción
Falta de comunicación interna	Alineación en la comunicación interdepartamental	Empresa 1	P1
		Empresa 2	P2
Renuencia a divulgar información	Enfatizar el carácter confidencial a la empresa	Empresa 1	P3
		Empresa 2	P4
Carencia de personal especializado en gestión de energía o sin injerencia en la toma de decisiones	Entrenamiento de personal	Empresa 2	P5
	Creación de puesto de gestor energético o afín		P6
	Alinear puesto en la jerarquía estratégica de la compañía		P7
Falta de involucramiento de empleados y supervisores	Habilitar talleres de concienciación ecológica	Empresa 2	P8

Aspectos Generales

Tabla 28. Relación de posibles opciones para Aspectos Generales

Causa	Posible Solución	Aplica a	Referencia De Opción
Sin políticas energéticas definidas	Incorporación a la cultura organizacional	Empresa 2	AG1
Acercamientos informales con empleados	Formalización de programa de eficiencia energética	Empresa 2	AG2
Inversión limitada	Enfatizar los beneficios no monetizables a largo plazo.	Empresa 1	AG3
	Involucramiento de tomadores de decisiones	Empresa 2	AG4

6.3.4. Depuración de opciones

A continuación en la tabla 29 se muestran las opciones propuestas para implementación, clasificadas respecto a la facilidad con que pueden ser implementadas en dos categorías generales: de implementación rápida y directa, que concierne las alternativas cuya implementación no requiere inversión ni cambios sustanciales que pudieran alterar las actividades diarias de producción; y alternativas que requieren de un mayor análisis para su implementación. Las alternativas en ésta última rúbrica por lo general requieren del involucramiento directo y activo de la gerencia, pues implican inversiones y potenciales cambios en los modelos de producción.

Tabla 29. Depuración de opciones

Referencia De Opción	Implementación Rápida Y Directa	Requieren De Mayor Análisis
C1		X
C2		X
C3	X	
C4	X	
C5		X
C6		X
C7		X
C8	X	
C9		X
C10		X
I1		X
I2		X
I3		X
I4		X
I5		X
I6		X
ME1	X	
ME2	X	
ME3		X
ME4	X	
ME5		X
ME6		X
ME7		X
P1	X	
P2	X	
P3	X	
P4	X	
P5		X
P6		X
P7		X
P8		X
AG1	X	
AG2	X	
AG3	X	
AG4		X

6.4. Análisis de Factibilidad

En este apartado se lleva a cabo el análisis de factibilidad de las opciones de la columna “Requieren de mayor análisis” de la tabla 30.

Cada una de las opciones se analiza respecto a los principales aspectos técnicos, económicos y ambientales. Para determinar el nivel de impacto de cada aspecto se pondera de la siguiente manera:

- (3) de alto impacto positivo,
- (1) de bajo impacto positivo,
- (0) sin impacto significativo o no aplica,
- (-1) de bajo impacto negativo,
- (-3) de alto impacto negativo.

Cuanto mayor sea el número en el resultado total, mayores son los beneficios en la implementación de dicha solución.

6.4.1. Evaluación Técnica

Tabla 30. Evaluación Técnica de las opciones

Ref. De Opción	REQUERIMIENTO TÉCNICO				IMPACTO (-3 / -1 / 0 / +1 / +3)				Peso otorgado
	Requerimiento de Equipo, Instrumentos o Accesorios	Mano de Obra	Disponibilidad de Espacio	Disponibilidad Técnica	Tasa de Producción	Calidad del Producto	Mantenimiento	Seguridad	
C1	Aires acondicionados	Sí	Sí	Sí	0	1	1	0	2
C2	Aires acondicionados	Sí	Sí	Sí	0	1	1	0	2
C5	Temporizadores automáticos	Sí	Sí	Sí	0	0	1	1	2
C6	Temporizadores automáticos	Sí	Sí	Sí	0	0	1	1	2
C7	Aislar áreas mediante instalación de barreas físicas	Sí	Sí/No	Sí	1	1	1	1	4

C9	Instalación de ductos seccionados	Sí	Sí	Sí	0	0	1	0	1
C10	Instalación de mini-splits	Sí	S	Sí	0	0	-1	1	0
I1	Luminarias, taladros	Sí	Sí	Sí	0	0	1	2	3
I2	Luminarias, taladros	Sí	Sí	Sí	0	0	1	2	3
I3	Plan de reemplazo detallado	Sí	No	Sí	0	1	2	2	5
I4	Moción administrativa	Sí	No	No	0	0	0	0	0
I5	Moción administrativa	Sí	No	No	0	0	0	0	0
I6	Interruptores locales	Sí	No	Sí	0	0	-1	1	0
ME3	Moldeadoras	Sí	No	No	1	1	1	3	6
ME5	Moldeadoras /hornos	Sí	No	No	1	1	3	1	6
ME6	Etiquetadora / impresoras	Sí	No	No	1	1	1	3	6
ME7	Rediseño de procesos	Sí	No	Sí	-1	0	0	3	2
P5	Aulas	Sí	No	Sí	1	1	1	1	4
P6	Oficina / Lugar de trabajo	Sí	Sí/ No	Sí	1	1	1	1	4
P7	Moción administrativa	Sí	No	Sí	1	1	1	1	4
P8	Moción administrativa	Sí	Sí	Sí	1	1	1	1	4
AG4	Involucramiento de tomadores de decisiones	Sí	Sí	Sí	1	1	1	1	4

6.4.2. Evaluación Ambiental

Tabla 31. Evaluación Ambiental de las opciones

Ref. De Opción	Gases de Efecto Invernadero	Consumo de No Renovables	Nivel de Ruido	Peso otorgado
C1	3	3	1	7
C2	3	3	1	7
C5	1	1	1	3
C6	1	1	1	3
C7	0	1	1	2
C9	1	1	1	3
C10	1	1	1	3
I1	1	1	N/A	2
I2	1	1	N/A	2
I3	1	1	N/A	2
I4	1	1	N/A	2
I5	1	1	N/A	2
I6	1	1	N/A	2
ME3	1	2	1	4
ME5	1	1	1	3
ME6	1	1	1	3
ME7	1	1	1	3
P5	1	1	1	3
P6	N/A	N/A	N/A	0
P7	N/A	N/A	N/A	0
P8	1	1	1	3
AG4	1	1	1	3

6.4.3. Evaluación Económica

La capacidad financiera de las empresas y la flexibilidad presupuestaria determinan en gran grado la factibilidad de implementación de las alternativas propuestas. Tomando como base la estructura de las maquiladoras, el tamaño de sus operaciones, y por entrevistas y pláticas con gerentes y jefes de línea se ha establecido un esquema de ponderación de factibilidad económica.

Tabla 32. Ponderación de factibilidad económica.

Rango en pesos mexicanos	Ponderación	Valor numeral
De 0 a 20 000	Muy Factible	2
De 21 000 a 50 000	Factible	1
Arriba de 50 000	Muy poco factible	0

Tabla 33. Evaluación Económica de las opciones

Ref. De Opción	Inversión (Pesos)	Valor otorgado	Notas
C1	800 000	0	Reemplazo sistemático y permanente de 5 aires acondicionados por año hasta completar las 33 unidades de la empresa
C2	55 000	0	Cambio de ductos de aire acondicionado
C5	18 000	2	9 controladores de temperatura inalámbricos en las áreas principales
C6	1 000	2	Programación de aires acondicionados en bitácora. Registro de horas de producción
C7	13 500	2	Instalar paredes de aislantes entre zonas de producción/ áreas de actividades.
C9	4 500	2	Instalar interruptores locales, programar en bitácora.
C10	52 500	0	Instalación de mini-splits en secciones clave de la compañía.
I1	15 000	2	Terminar de reemplazar luces led
I2	26 250	1	Reemplazo de lámparas en toda la nave
I3	1 000	2	Registro, mantenimiento preventivo y programa gradual y cíclico de reemplazo de luminarias.
I4	1 000	2	Apagar luces en horarios de inactividad, hablar con producción, registro en bitácoras y seguimiento.
I5	1 000	2	Apagar luces en horarios de inactividad, hablar con producción, registro en bitácoras y seguimiento.
I6	7 200	2	Instalaciones de interruptores de electricidad locales.
ME3	80 000	0	Adquirir dos nuevos hornos de secado
ME5	240 000	0	Reemplazar moldeadoras por otras con aislamiento térmico.
ME6	15 000	2	Reemplazar estampadoras hechizas por equipo adecuado
ME7	1 000	2	Coordinar operaciones de maquinaria pesada con departamentos de producción
P5	---		Charlas de concienciación en cursos de inducción y semestralmente cursos de actualización. El costo debe calcularse como tres horas del salario base de cada empleado que tome el curso.
P6	200 000	0	Sueldo anual para un gestor energético
P7	----		Hacer que el puesto tenga injerencia directa en las decisiones de la compañía
P8	-----		Talleres de exposición y avances sobre cultura de conservación energética. El costo debe calcularse con base a tres horas de salario de cada uno de los empleados que tomen el curso.
AG4	----		Involucrar a tomadores de decisiones estratégicos.

6.4.5 Selección de opciones más viables.

Dadas las diferencias sustanciales en cada una de las maquiladoras en cuanto a operaciones, tamaño y organización, se presentan a continuación y en tablas separadas correspondientes a cada una de las maquiladoras las opciones de implementación más factibles.

Tabla 34. Detalle de las opciones más viables en Furukawa

Ref. De opción	Solución	Ponderación		
		Técnica	Ambiental	Económica
C1	Reemplazar 4 aires acondicionados		7	100 000
C5	Temporizadores automáticos	2	3	18 000
I1	Reemplazo por luces LED	3	2	15 000
I4	Coordinar con producción horarios de encendido de luces	0	2	1 000

Tabla 35. Detalle de las opciones más viables en Amphenol

Ref. De opción	Solución	Ponderación		
		Técnica	Ambiental	Económica
C2	Cambio de ductos de aire acondicionado	2	7	55 500
C6	Programación de aires acondicionados en bitácora	2	3	1 000
C7	Aislar áreas mediante instalación de barreas físicas	4	2	13 500
C9	Instalación de ductos seccionados/interruptores locales	1	3	27 000
C10	Instalación de mini-splits en secciones clave de la compañía.	0	3	52 500
I2	Terminar de reemplazar luces led en toda la nave	3	2	26 250
I3	Plan detallado de reemplazo	5	2	1 000
I5	Apagar luces en horarios de inactividad, hablar con producción, registro en bitácoras y seguimiento.	0	2	1 000
I6	Instalaciones de interruptores de electricidad locales.	0	2	7 200
ME3	Adquirir dos nuevos hornos de secado	6	4	450 000
ME5	Reemplazar moldeadoras por unas con mayor eficiencia	6	3	240 000
ME6	Reemplazar estampadoras hechizas	6	3	15 000
ME7	Coordinar operaciones de maquinaria pesada con departamentos de producción	2	3	1 000
P5	Charlas y talleres de concienciación (información)	4	3	Varia*
P6	Creación de puesto de gestión energético	4	0	200 000
P7	Hacer que el puesto tenga injerencia directa en las decisiones de la compañía	4	0	N/A
P8	Charlas y talleres de concienciación (involucramiento de personal)	4	3	Varia*
AG4	Involucrar a tomadores de decisiones estratégicos.	4	3	N/A

* El costo de 3 horas de trabajo por cada uno de los empleados asistentes al taller de acuerdo a sus salarios.

6.5 Implementación y Continuidad

Una vez analizadas las opciones de implementación se convocó a los dirigentes del equipo verde en las empresas para presentarles las alternativas de intervención específicas a cada una de las maquiladoras. De acuerdo a sus políticas internas, las posibilidades financieras y capacidad técnica, las maquiladoras tomaron la decisión sobre cuáles estrategias de mejora implementar.

A) Furukawa

Furukawa ya cuenta con un Sistema de Gestión de Energía (SGE), en su programa de continuidad se retomaron y reafirmaron algunas de las observaciones que se les hicieron, en otras ocasiones las recomendaciones emitidas no habían sido previamente advertidas por la maquiladora.

Tabla 36. Alternativas de intervención implementadas en Furukawa.

Opción	Descripción	Actividades	Tiempo de implementación	Responsable	Porcentaje completado
C1	Reemplazo de unidades de aire acondicionado	<ul style="list-style-type: none">- Adquisición e instalación de aires acondicionados, dos unidades cada seis meses.- Instalación a cargo del proveedor	1 año	Gerente de Mantenimiento	50%
I1	Reemplazo por luces LED	<ul style="list-style-type: none">- Instalación de 908 lámparas LED.- Coordinar con áreas de producción horarios de transición	6	Gerente de Mantenimiento	30 %
I4	Coordinar con producción	<ul style="list-style-type: none">- Establecer horarios de inactividad.- Documentar desaceleres en la producción	1 semana	Gerente de producción Gerente de HSE	100 %

Para las alternativas de implementación referente a la climatización (C1), se contempla el reemplazo anual de por lo menos 4 unidades de aires acondicionados, hasta contemplar todas las 32 unidades de la maquiladora. Este enfoque permitirá a Furukawa estar a la vanguardia en tecnología de climatización sin que el hecho represente un impacto relevante al presupuesto anual dedicado a la adquisición de dispositivos para el control de la energía. Es destacable mencionar que, bajo este régimen, el gasto eléctrico en aires acondicionados pasó de ser el principal consumidor de energía de la empresa al segundo lugar, por detrás de las áreas de moldeo que ahora ocupan el primer lugar. Este cambio se dio en sólo cinco años en el periodo de 2010 a 2014. Es previsible que manteniendo este ritmo y con monitoreo constante, las reducciones en el consumo de electricidad y emisión de gases de efecto invernadero del área de climatización seguirán siendo palpables.

Respecto a las alternativas propuestas para los sistemas de iluminación. Ambas opciones, I1 e I4, han sido contempladas en el plan de gestión de energía de la compañía. En el año 2015 se concluyó el cambio de lámparas T8 a T5, quedando pendientes áreas específicas de Control de Calidad y pasillos anexos. Bajo el esquema de propuestas presentadas a Furukawa, la gerencia ha autorizado la transición completa a LED para toda la planta y las diligencias para el reemplazo comenzaron en el tercer trimestre de 2015 en las áreas administrativas. Las áreas actualmente con lámparas T8 migrarán a LED sin pasar por la fase de T5. Después de mantener juntas e intercambio de opiniones con el equipo verde interno de Furukawa, liderado por el gerente de Seguridad e Higiene, se ha establecido un plan de acción con el departamento de producción que permita coordinar y controlar el uso innecesario de luminarias durante periodos de inactividad en algunas de las líneas de producción, especialmente durante el tercer turno cuando la planta funciona al 25% de su capacidad.

B) Amphenol

Tabla 37. Alternativas de intervención implementadas en Amphenol.

Opción	Descripción	Actividades	Tiempo de implementación	Responsable	Porcentaje completado
C2	Aires acondicionados seccionados / interruptores locales	<ul style="list-style-type: none"> - Seccionar la nave industrial. - Instalación de nuevas unidades de aire acondicionado - Instalación de ductos con mejor aislamiento térmico - Instalación de interruptores locales 	6 semanas	Gerente general. Jefe de mantenimiento	20%
I2 e I9	Reemplazo de luces LED	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación de luminarias por parte de los proveedores - Coordinación con producción para evitar rezagos 	4 semanas	Jefe de mantenimiento Jefe de producción	30 %
I6	Instalación de interruptores locales	<ul style="list-style-type: none"> - Seccionar las áreas estratégicamente - Instalación por parte del proveedor 	1 semana	Jefe de mantenimiento	20 %
P5	Charlas y talleres de concienciación	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar el contenido de los programas - Establecer fecha de capacitación - Establecer límites y objetivos - Ejecutar charlas de actualización 	1 mes / permanente	Coordinador de Seguridad e Higiene Industrial	85%
AG4	Involucramiento de tomadores de decisiones	<ul style="list-style-type: none"> - Juntas con gerentes y personal clave en la compañía - Seguimiento a acuerdo pactados e implementación de un programa de gestión energética 	N/A	Coordinador de Seguridad e higiene. Gerente general	100%

Las medidas preventivas y correctivas para incrementar la eficiencia energética en Amphenol fueron igualmente sopesadas y seleccionadas en conjunto con la gerencia de la compañía. Aun sin tener un plan de gestión específico para el uso de energía, la compañía ya había advertido sobre la necesidad de hacer cambios en los sistemas de climatización;

sin embargo, el equipo gerencial estaba incierto sobre cuáles y cómo efectuarlos. Estas interrogantes, así como otras áreas de mejora, fueron esclarecidas tras la auditoría energética. El departamento de mantenimiento le da continuidad al plan de reemplazo de luminarias que comenzó en 2014 y tras las observaciones emitidas la maquiladora determinó que la migración total a luminarias LED es viable y su instalación completa está estimada para el segundo trimestre de 2017. Las áreas que no habían cambiado de luz halógena, que se limitan a áreas puntuales de la nave industrial, no pasarán por las fases de lámparas T8 o T5 y se reemplazarán en su totalidad por tecnología LED. Con estas mejoras en los sistemas de iluminación se esperan ahorros potenciales de hasta el 55% respecto al consumo actual.

En lo concerniente a los aspectos actitudinales y de concienciación del personal, se ha implementado una campaña interna. Durante el último cuarto de 2015 se llevaron a cabo sesiones con gerentes, personal clave y jefes de departamento. El seguimiento del programa involucra también a los empleados, la campaña de concienciación diseñada contempla las áreas foco del estudio: sistemas de climatización, de iluminación, y maquinaria y equipo; así como el ahorro en áreas administrativas y áreas comunes. Los cursos se imparten a los nuevos empleados durante la inducción inicial y posteriormente como charlas de actualización.

La gerencia de la compañía se mostró interesada en la adopción y adaptación de un programa de gestión energética para la maquiladora. El involucramiento de los tomadores de decisiones es una piedra angular para asegurar el seguimiento, y al final el éxito, del PEE. La intervención en este sentido se dio mediante acercamientos directos con la gerencia y con la ayuda del departamento de Seguridad e Higiene industrial.

VII. DISCUSIÓN

Los motivos que llevan a las maquiladoras a adoptar un SGE son múltiples y están en su mayoría relacionados con incrementos en la rentabilidad y mejoras en la imagen pública de las empresas. No obstante, hay igualmente un número significativo de circunstancias que frenan a las maquiladoras para invertir o transitar hacia formas de producción con mayor eficiencia energética; muchas de las cuales tienen que ver con falta de conocimiento, falta de involucramiento de los directivos de las compañías, o limitaciones presupuestarias. En el caso específico de las maquiladoras estudiadas, en una de las compañías por gobernanza corporativa no se aprueban proyectos con más de un año de retorno a la inversión; en la otra maquiladora, la desconexión aparente entre la unidad de producción local y la casa matriz contribuye a la falta de involucramiento de los directivos corporativos.

Desde el inicio del proyecto se identificaron ciertas carencias y rezagos respecto a la cultura de conservación de la energía; particularmente en Amphenol, donde las políticas energéticas no estaban debidamente divulgadas entre los empleados, y en donde la gestión energética no figuraba dentro la visión y misión corporativa. Este hecho quedó posteriormente puesto de relieve tras cotejar los resultados de la Matriz de Eficiencia Energética. En la escala de 0-4, Amphenol quedó en el nivel 1 con un promedio de 1.1, la otra maquiladora sumó en total un promedio de 2.9, evidenciando así las diferencias sustantivas respecto a las percepciones del manejo de energía en ambas compañías; diferencias que pudieran en parte ser explicadas por la existencia de un SGE en Furukawa. Durante las visitas iniciales de reconocimiento y la formación de equipos verdes se observó que Furukawa ya contaba con personal asignado a la gestión de energía, si bien este nombramiento no tenía carácter formal ni estaba incluido en el organigrama de la compañía, su existencia habla ya de una preocupación gerencial por maximizar y optimizar los recursos energéticos.

Respecto a los patrones de consumo de electricidad, Furukawa alcanzó un máximo histórico de 913 497 kW en julio de 2015, siguiendo la tendencia en años anteriores de incrementos proporcionales en los meses de verano. La tendencia es similar en Amphenol donde se observan incrementos de casi el 100% en el verano. Las diferencias en los totales de consumo eléctrico en las compañías obedecen a los volúmenes de producción y las actividades y características propias de cada una de las maquiladoras, y no necesariamente

a mayor eficiencia energética en sus respectivos procesos productivos, aun cuando este factor pudiera influir directamente sobre los patrones de consumo identificados.

No está por demás recalcar que los resultados de este estudio son específicos y puntuales a las circunstancias de las maquiladoras auditadas, por lo que no deben ser tomados como indicativos de la situación general de la industria maquiladora en México. No obstante la anterior aseveración, se encontró que los resultados coinciden fuertemente con la información citada en la literatura, tal es el caso de los ahorros potenciales en el gasto de electricidad después de la auditoría energética de hasta 14% para Furukawa y de 16% para Amphenol, que equivalen a reducciones de CO₂ de 1.82 toneladas y 0.34 toneladas respectivamente (Bryan and Phelan 2012).

Asimismo, otro aspecto que concuerda con casos mencionados en la literatura y que también se reflejó en una de las maquiladoras, específicamente en Furukawa, fue la importancia y los beneficios de implementar un SGE, pues en esta compañía era evidente la mayor concienciación de empleados y gerentes respecto al uso de energía y los esfuerzos de la maquiladora en éste ámbito se veían replicados en otras áreas, tales como producción, control de calidad o mantenimiento. Por el contrario, en Amphenol, donde no existía un SGE, se encontraron más oportunidades de mejora.

El estudio termográfico resulta ilustrativo como una herramienta comparativa entre ambas maquiladoras, específicamente las figuras 16 y 17 que son tomadas a hornos de sellado en Furukawa y Amphenol respectivamente, dejan ver a grandes rasgos cómo una y otra compañía gestionan aspectos del consumo energético. En el horno de Furukawa se aprecian bitácoras para el control de tiempos y registro de temperaturas, además de que el horno se encuentra en un área designada a maquinaria con alta demanda de electricidad. En contraste, la figura 17 muestra una imagen tomada a un horno en Amphenol, donde se aprecia que no hay registro o control de temperaturas y donde además es evidente la pérdida de calor debido a aislamiento térmico pobre o inadecuado. Esta pérdida de calor también ocurre en otros hornos y moldeadoras de la empresa localizados en áreas refrigeradas, hecho que compromete la eficacia general de los sistemas de climatización en la maquila.

No obstante las diferencias significativas respecto al tamaño, actividades, estructura y estilos gerenciales en cada una de las compañías, en el análisis de las causas que frenan el desempeño energético se observa que son, de forma genérica, las mismas circunstancias en las dos maquiladoras las causantes de rezagos, entre ellas las siguientes: equipo obsoleto, equipo improvisado o hechizo, equipo de poco rendimiento efectivo, equipo en mal estado. Aparte de las áreas foco del estudio, se hizo también un análisis de aspectos generales que incluyen al personal, las mayores causas de rezago en este ámbito tienen que ver con brechas en la comunicación interna, como es el caso de Furukawa, donde ya había un SGE pero no todos los departamentos estaban al tanto de su existencia. En Amphenol las inquietudes respecto al consumo energético tampoco eran comunicadas a la gerencia o no se usaban los canales apropiados. En las dos maquiladoras se encontraron también barreras actitudinales, específicamente en lo referente a proporcionar y divulgar información.

Adicionalmente se determinó que en ambas compañías la falta de un puesto formal de *gestor de energía* o su equivalente era un factor que contribuía negativamente a que no se diera la importancia necesaria a temas relacionados con el uso de la energía y a que las iniciativas para optimizar su gestión estuvieran aisladas y desarticuladas.

A pesar de que las causas de rezagos en el desempeño energético eran, *grosso modo*, las mismas para ambas maquiladoras, sus formas de producción, dimensiones, estructura y capacidades hicieron necesario que se diseñara un esquema de implementación de alternativas específico a cada una de las compañías, que cubriera sus demandas particulares y se ajustara a sus necesidades concretas. Para tal efecto se hizo una evaluación de las alternativas ponderando su viabilidad técnica, medioambiental y económica, y estas fueron posteriormente presentadas a las maquiladoras para que de manera conjunta se seleccionaran aquellas opciones que podían ser implementadas. Dentro de las barreras de implementación sobresalen las presupuestarias; en el caso de Furukawa se logró integrar las alternativas propuestas con los proyectos existentes dentro del SGE de la compañía, logrando así una sinergia y superando las limitaciones financieras que impone la compañía a nuevos proyectos de inversión.

En el caso de Amphenol, los mayores obstáculos tenían que ver con la flexibilidad de la maquiladora para hacer cambios profundos, pues, aunque las dos compañías son parte de corporaciones internacionales, las dimensiones y ritmo de trabajo de Furukawa le confieren más autonomía; Amphenol funge más como una unidad satélite y está más enfocada a seguir directrices de la matriz que no siempre reflejan las necesidades locales de la planta. Este panorama adverso fue superado al involucrar directamente al gerente de la compañía quien participó activamente en proponer ideas para opciones de mejora y gestionó las diligencias necesarias para su implementación.

Los planes de crecimiento estratégico en las maquiladoras deben considerar el desarrollo y mantenimiento ventajas competitivas que superen el desempeño de competidores, tanto los nuevos como los ya existentes. La optimización de la gestión energética puede ser la base sobre la cual desarrollar estas ventajas y puede consolidarse al trabajar sobre los avances de proyectos de energía actuales o pasados, al responder de manera adecuada a los crecientes costos de energía, al robustecer la imagen pública de la compañía mediante campañas de Responsabilidad Social, al superar las limitaciones presupuestarias para inversión en energía, y al conseguir el involucramiento activo de la alta gerencia.

VIII. CONCLUSIONES

Los resultados indican que de las tres áreas foco de este estudio, el área de moldeo/producción tiene la mayor demanda de electricidad en ambas maquiladoras, seguida por los sistemas de climatización, y finalmente los sistemas de iluminación requieren el menor uso de electricidad en ambas compañías.

Las maquiladoras que tomaron parte en el estudio son grandes consumidores de electricidad dentro del sector de la manufactura, la adopción de medidas energéticas sustentables representó considerables ahorros en el gasto energético; incluso la ejecución de controles administrativos tuvo un impacto positivo. Si bien los cambios implementados han rendido ya frutos palpables, el trabajo hacia la optimización energética es una tarea permanente. Amphenol especialmente requerirá una mayor concentración y coordinación de esfuerzos, pues es ahí donde se identificaron mayores áreas de oportunidad. Es con revisión constante y mejoras continuas en el uso de energía que las maquiladoras auditadas podrán desarrollar y mantener ventajas competitivas verdaderamente sustentables y duraderas.

La inclusión de auditorías energéticas ha de ser parte indispensable en la gestión de las maquiladoras, al punto en que la eficiencia energética y conservación de energía forme parte de la visión y esté presente en las fibras estructurales de las compañías. El desarrollo y crecimiento sustentable de la maquiladora debe considerar la eficiencia en el uso de energéticos tomando en cuenta no sólo los beneficios económicos, sino la implementación de políticas energéticas permanentes dirigidas a optimizar la utilización de los insumos energéticos, la eficiencia en los procesos de producción, la exhortación a prácticas sustentables entre los empleados, a involucrar las necesidades de las comunidades en la toma de decisiones, y a adherirse y ser propulsores de medidas energéticas que coadyuven en la reducción de CO₂ y promuevan el crecimiento económico sostenido y sostenible de las maquiladoras.

IX. RECOMENDACIONES

Cada una de las maquiladoras deberá esforzarse por consolidar y robustecer sus sistemas de gestión energética con sus particularidades, entre ellas las siguientes.

Amphenol:

La gerencia debe seguir trabajando en lograr mayor autonomía respecto a directrices centralizadas de la matriz corporativa; es primordial que se formalice un puesto de gestor de energía y que los empleados estén involucrados activamente en la ejecución de políticas energéticas. Respecto a los aspectos técnicos, la sectorización de la nave industrial o, de ser posible, la reestructuración completa de su espacio físico podría develar oportunidades inexploradas de ahorros potenciales en el gasto eléctrico.

Furukawa:

La maquiladora logró consolidar su equipo de gestión energética y es importante que siga revisando continuamente sus objetivos para mantener o incrementar su desempeño en este ámbito. También se deberá seguir trabajando en la articulación de objetivos interdepartamentales compartidos y por robustecer la comunicación y divulgación de políticas energéticas.

Recomendaciones generales

- El alcance de la investigación deberá ampliarse y considerar otras áreas aparte de las estudiadas en este documento – climatización, maquinaria y equipo, iluminación-, e incluir al mayor número de maquiladoras posibles.
- Profundizar y considerar otros aspectos, tales como la innovación tecnológica o el comportamiento de empleados respecto al cumplimiento de políticas energéticas.
- Las maquiladoras se beneficiarán al incluir las auditorías energéticas como una herramienta indispensable en su gestión diaria.
- El desempeño energético debe ser prioritario y estar presente en la visión y estrategia de crecimiento corporativo de las maquiladoras.
- Los planes de desempeño energético que desarrollen las maquiladoras deben considerar la inclusión de empleados, la sociedad y las necesidades medioambientales.

X. REFERENCIAS

- Abeelen, C., Harmsen, R. and Worrell, E. (2013) 'Implementation of energy efficiency projects by Dutch industry', *Energy Policy*, 63, 408-418.
- Ahmad, M. F., Zakuan, N., Jusoh, A., Yusof, S. M. and Takala, J. (2014) 'Moderating Effect of Asean Free Trade Agreement between Total Quality Management and Business Performance', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 129, 244-249.
- Al-mulali, U. and Normee Che Sab, C. (2013) 'Energy consumption, pollution and economic development in 16 emerging countries', *Journal of Economic Studies*, 40(5), 686-698.
- Al-Shehri, A. (2000) 'A simple forecasting model for industrial electric energy consumption', *International Journal of Energy Research*, 24(8), 719-726.
- Alcott, B. (2005) 'Jevons' paradox', *Ecological Economics*, 54(1), 9-21.
- Alemán-Nava, G. S., Casiano-Flores, V. H., Cárdenas-Chávez, D. L., Díaz-Chavez, R., Scarlat, N., Mahlkecht, J., Dallemand, J.-F. and Parra, R. (2014) 'Renewable energy research progress in Mexico: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140-153.
- Bassi, A. M., Yudken, J. S. and Ruth, M. (2009) 'Climate policy impacts on the competitiveness of energy-intensive manufacturing sectors', *Energy Policy*, 37(8), 3052-3060.
- Beltrán Rodríguez, L., Estrada Estrada, J., Herrera Romero, J., Ojeda Galicia, O. and Marín Enriquez, J. C. (2013) *Balance Nacional de Energía*, México DF: Secretara de Energía.
- Bilgen, S. (2014) 'Structure and environmental impact of global energy consumption', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 890-902.
- Boos, A. and Holm-Müller, K. (2012) 'A theoretical overview of the relationship between the resource curse and genuine savings as an indicator for "weak" sustainability', *Natural Resources Forum*, 36(3), 145-159.
- Bryan, H. and Phelan, P. E. (2012) 'A COMPARISON OF INDUSTRIAL ENERGY CONSUMPTION AMONG U.S. AND MEXICAN MANUFACTURERS IN THE BORDER REGION', 2-26.
- Bryant, J. A. and Carlson, K. (2013) 'Short term energy monitoring: a road to long term energy savings?', *Facilities*, 20(10), 303-313.
- Buitelaar, R. M. and Pérez, R. P. (2000) 'Maquila, Economic Reform and Corporate Strategies', *World Development*, 28(9), 1627-1642.
- Cancino-Solórzano, Y., Villicaña-Ortiz, E., Gutiérrez-Trashorras, A. J. and Xiberta-Bernat, J. (2010) 'Electricity sector in Mexico: Current status. Contribution of renewable energy sources', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 454-461.
- Cartes, D. (2011) 'Energy Systems, Economics, and Sustainability' in *Experiments on Energy, the Environment, and Sustainability* 213-222.
- Chai, K.-H. and Yeo, C. (2012) 'Overcoming energy efficiency barriers through systems approach—A conceptual framework', *Energy Policy*, 46, 460-472.
- Cheung, M. and Fan, J. (2013) 'Carbon reduction in a high-density city: A case study of Langham Place Hotel Mongkok Hong Kong', *Renewable Energy*, 50, 433-440.
- Cui, Q., Kuang, H.-b., Wu, C.-y. and Li, Y. (2014) 'The changing trend and influencing factors of energy efficiency: The case of nine countries', *Energy*, 64, 1026-1034.
- Dobes, V. (2013) 'New tool for promotion of energy management and cleaner production on no cure, no pay basis', *Journal of Cleaner Production*, 39, 255-264.

- Department of Energy (2011) *Energy-Saving Opportunities for Manufacturing Enterprises (International English Fact Sheet)* Disponible en: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1035717/> [consultado 16/I/2015].
- Department of Energy (2015) *Energy Efficiency | Department of Energy* [online], disponible en: <http://energy.gov/science-innovation/energy-efficiency> [consultado 16/I/2015].
- Dongellini, M., Marinosci, C. and Morini, G. L. (2014) 'Energy Audit of an Industrial Site: A Case Study', *Energy Procedia*, 45, 424-433.
- Flores, C. E., Phelan, P. E., Mou, J. I. and Bryan, H. (2004) 'Forecasting the electricity consumption of the Mexican border states maquiladoras', *International Journal of Energy Research*, 28(7), 641-660.
- Glaser, C. (1992) *INDUSTRIAL ENERGY AUDITING: AN OPPORTUNITY FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND INDUSTRIAL COMPETITIVENESS*, Washington D.C.
- Grant, N. (2011) Being energy efficient is key to being competitive [online], The Guardian, disponible en: <http://www.theguardian.com/sustainable-business/british-gas-energy-efficiency-competitive-advantage> [consultado 01/III/2016]
- Guajardo-Quiroga, R. G. (1998) 'ASSESSING THE IMPACT OF THE MAQUILADORA INDUSTRY IN MEXICO: AN INTERINDUSTRY ANALYSIS', *Review of Urban & Regional Development Studies*, 10(2), 109-122.
- Hadjimarcou, J., Brouthers, L. E., McNicol, J. P. and Michie, D. E. (2013) 'Maquiladoras in the 21st century: Six strategies for success', *Business Horizons*, 56(2), 207-217.
- INEGI (2015) *Banco de Información Económica (BIE)* [online], Industria manufacturera, maquiladora y de servicios de exportación (IMMEX), disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserpadre=11601310#D11601310> [consultado 16/1/2015].
- Iribarren, D., Marvuglia, A., Hild, P., Guiton, M., Popovici, E. and Benetto, E. (2015) 'Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls', *Journal of Cleaner Production*, 87, 707-716.
- Janda, K. B. (2014) 'Building communities and social potential: Between and beyond organizations and individuals in commercial properties', *Energy Policy*, 67, 48-55.
- Kumar, D. (2016) *Building Sustainable Competitive Advantage: Through Executive Enterprise Leadership*, New York: Routledge, 2016.
- Laitner, J. A. S. (2013) 'An overview of the energy efficiency potential', *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 9, 38-42.
- Lamb, C. W., Hair, J. F. and McDaniel, C. (2008) *Essentials of Marketing*, Cengage Learning.
- Lederman, D. (2013) 'México: Los trabajadores de las maquilas son víctimas de las crisis por partida doble', [online], disponible en: <http://blogs.worldbank.org/latinamerica/es/m-xico-los-trabajadores-de-las-maquilas-son-vctimas-de-las-crisis-por-partida-doble> fdp: 2015-01-28T15:27-05:00 [consultado 02/II/2015].
- Li, L., Wang, J., Tan, Z., Ge, X., Zhang, J. and Yun, X. (2014) 'Policies for eliminating low-efficiency production capacities and improving energy efficiency of energy-intensive industries in China', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 312-326.
- McKane, A., Williams, R., Perry, W. and Li, T. (2008) 'Setting the Standard for Industrial Energy Efficiency', *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 70(9), 1-10.
- Nicholas, M. J., Cliff, R., Azapagic, A., Walker, F. C. and Porter, D. E. (2000) 'Determination of 'Best Available Techniques' for Integrated Pollution Prevention and Control: A Life Cycle Approach', *Process Safety and Environmental Protection*, 78(3), 193-203.

- Ocak, M., Ocak, Z., Bilgen, S., Keleş, S. and Kaygusuz, K. (2004) 'Energy utilization, environmental pollution and renewable energy sources in Turkey', *Energy Conversion and Management*, 45(6), 845-864.
- Olanrewaju, O. A. and Jimoh, A. A. (2014) 'Review of energy models to the development of an efficient industrial energy model', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 661-671.
- Olney, W. W. (2013) 'A race to the bottom? Employment protection and foreign direct investment', *Journal of International Economics*, 91(2), 191-203.
- Pacheco, R., Ordóñez, J. and Martínez, G. (2012) 'Energy efficient design of building: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3559-3573.
- Paik, Y. and Derick Sohn, J. H. (1998) 'Confucius in Mexico: Korean MNCs and the maquiladoras', *Business Horizons*, 41(6), 25-33.
- Polimeni, J. M. (2012) *The Jevons Paradox and the Myth of Resource Efficiency Improvements*, Taylor & Francis.
- Ruiz, B. J., Rodríguez-Padilla, V. and Martínez, J. H. (2008) 'Renewable energy sources in the Mexican electricity sector', *Renewable Energy*, 33(6), 1346-1353.
- Russell, C. (2011) *Overcome Organizational Obstacles to Improve Energy Efficiency* [online], disponible en: <http://www.sustainableplant.com/2011/07/overcome-organizational-obstacles-to-improve-energy-efficiency/> [consultado 30/XII/2014].
- Sadineni, S. B., Madala, S. and Boehm, R. F. (2011) 'Passive building energy savings: A review of building envelope components', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617-3631.
- Sandberg, P. and Söderström, M. (2003) 'Industrial energy efficiency: the need for investment decision support from a manager perspective', *Energy Policy*, 31(15), 1623-1634.
- Sardianou, E. (2008) 'Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece', *Journal of Cleaner Production*, 16(13), 1416-1423.
- Sargent, J. and Matthews, L. (2008) 'Capital Intensity, Technology Intensity, and Skill Development in Post China/WTO Maquiladoras', *World Development*, 36(4), 541-559.
- Sargent, J. and Matthews, L. (2009) 'China versus Mexico in the Global EPZ Industry: Maquiladoras, FDI Quality, and Plant Mortality', *World Development*, 37(6), 1069-1082.
- SEMARNAT (2015) 'Programa GEI México', *Factor de Emisión Eléctrico*.
- SENER (2016). Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía –CONUEE–. Normas de Eficiencia Energética Vigentes. SECRETARÍA DE ENERGÍA. [online], disponible en: http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/normas_de_eficiencia_energetica_vigentes [consultado 5/III/2016]
- Song, C., Li, M., Wen, Z., He, Y.-L., Tao, W.-Q., Li, Y., Wei, X., Yin, X. and Huang, X. (2014) 'Research on energy efficiency evaluation based on indicators for industry sectors in China', *Applied Energy*, 134, 550-562.
- Sorrell, S. (2009) 'Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency', *Energy Policy*, 37(4), 1456-1469.
- Sozer, H. (2010) 'Improving energy efficiency through the design of the building envelope', *Building and Environment*, 45(12), 2581-2593.
- Sudhakara Reddy, B. (2013) 'Barriers and drivers to energy efficiency – A new taxonomical approach', *Energy Conversion and Management*, 74, 403-416.
- Tanaka, K. (2011) 'Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector', *Energy Policy*, 39(10), 6532-6550.

- Trianni, A., Cagno, E. and De Donatis, A. (2014) 'A framework to characterize energy efficiency measures', *Applied Energy*, 118, 207-220.
- United Nations Environment Programme (2004) *Cleaner Production - Energy Efficiency (CP-EE) Manual*, Oxford, UK: Words and Publications.
- Utar, H. and Ruiz, L. B. T. (2013) 'International competition and industrial evolution: Evidence from the impact of Chinese competition on Mexican maquiladoras', *Journal of Development Economics*, 105, 267-287.
- Van Den Wymelenberg, K., Brown, G. Z., Burpee, H., Djunaedy, E., Gladics, G., Kline, J., Loveland, J., Meek, C. and Thimmanna, H. (2013) 'Evaluating direct energy savings and market transformation effects: A decade of technical design assistance in the northwestern USA', *Energy Policy*, 52, 342-353.
- Wagner, A., Röser, P., Rufer, R., Hilber, S., Gressot, M., Wackernagel, M. and Grunewald, N. (2014) *THE SIGNIFICANCE OF GLOBAL RESOURCE AVAILABILITY TO SWISS COMPETITIVENESS*, Basilia: Federal Office for Spatial Development (ARE), Sustainable Development Section.
- Wang, N., Goel, S., Gorrissen, W. J. and Makhmalbaf, A. (2013) 'Understanding Building Infrastructure and Building Operation through DOE Asset Score Model: Lessons Learned from a Pilot Project', *ASHRAE Transactions*, 13.
- Water, T., Whatley, S. and Berry, A. (2008) 'Overall energy efficiency practices', *World Pumps*, 2008(500), 56-58.
- Zhao, Y., Ke, J., Ni, C. C., McNeil, M., Khanna, N. Z., Zhou, N., Fridley, D. and Li, Q. (2014) 'A comparative study of energy consumption and efficiency of Japanese and Chinese manufacturing industry', *Energy Policy*, 70, 45-56.
- Zimmer, A., Jakob, M. and Steckel, J. C. (2015) 'What motivates Vietnam to strive for a low-carbon economy? — On the drivers of climate policy in a developing country', *Energy for Sustainable Development*, 24, 19-32.

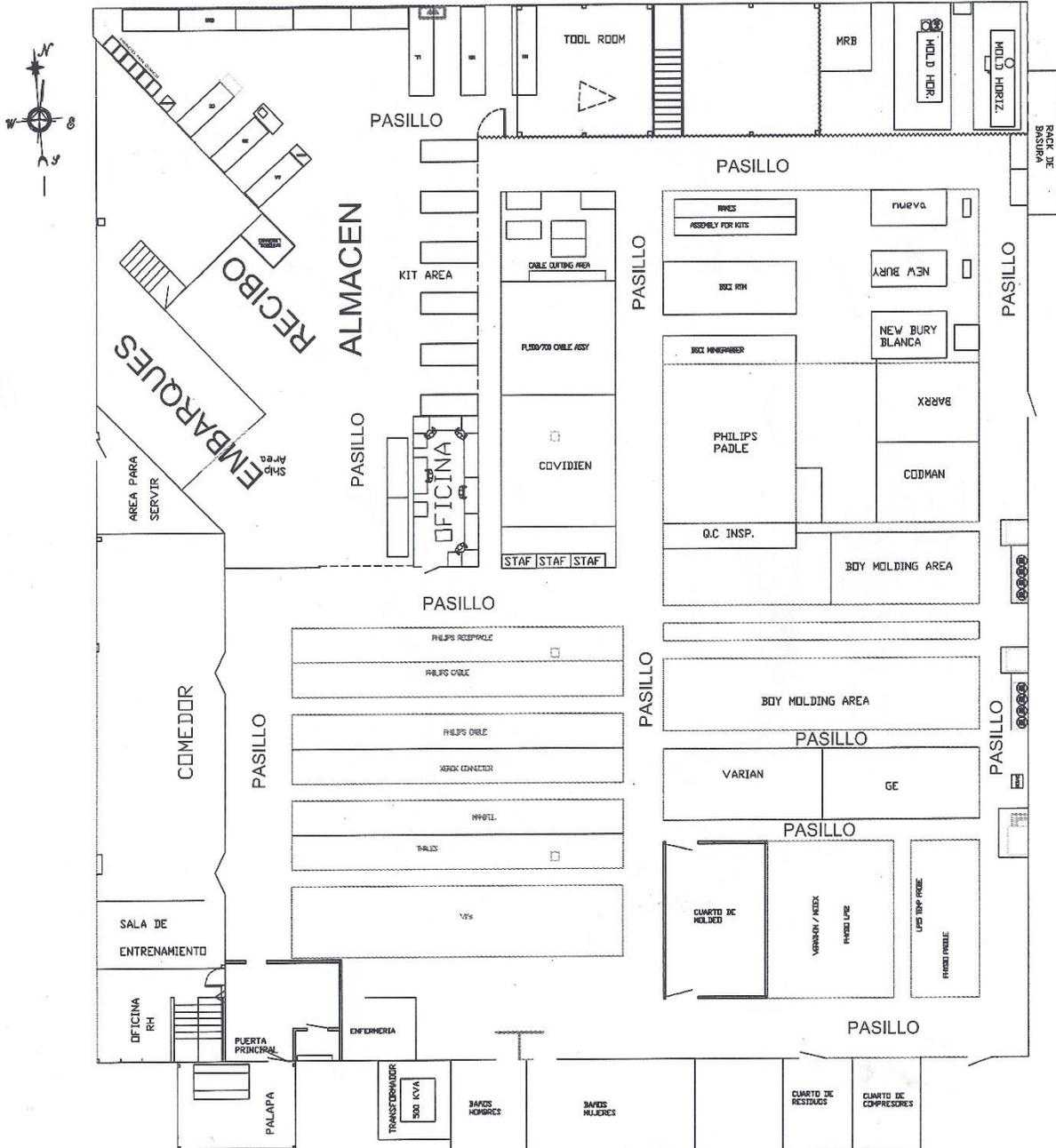
XI. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Eficiencia Energética

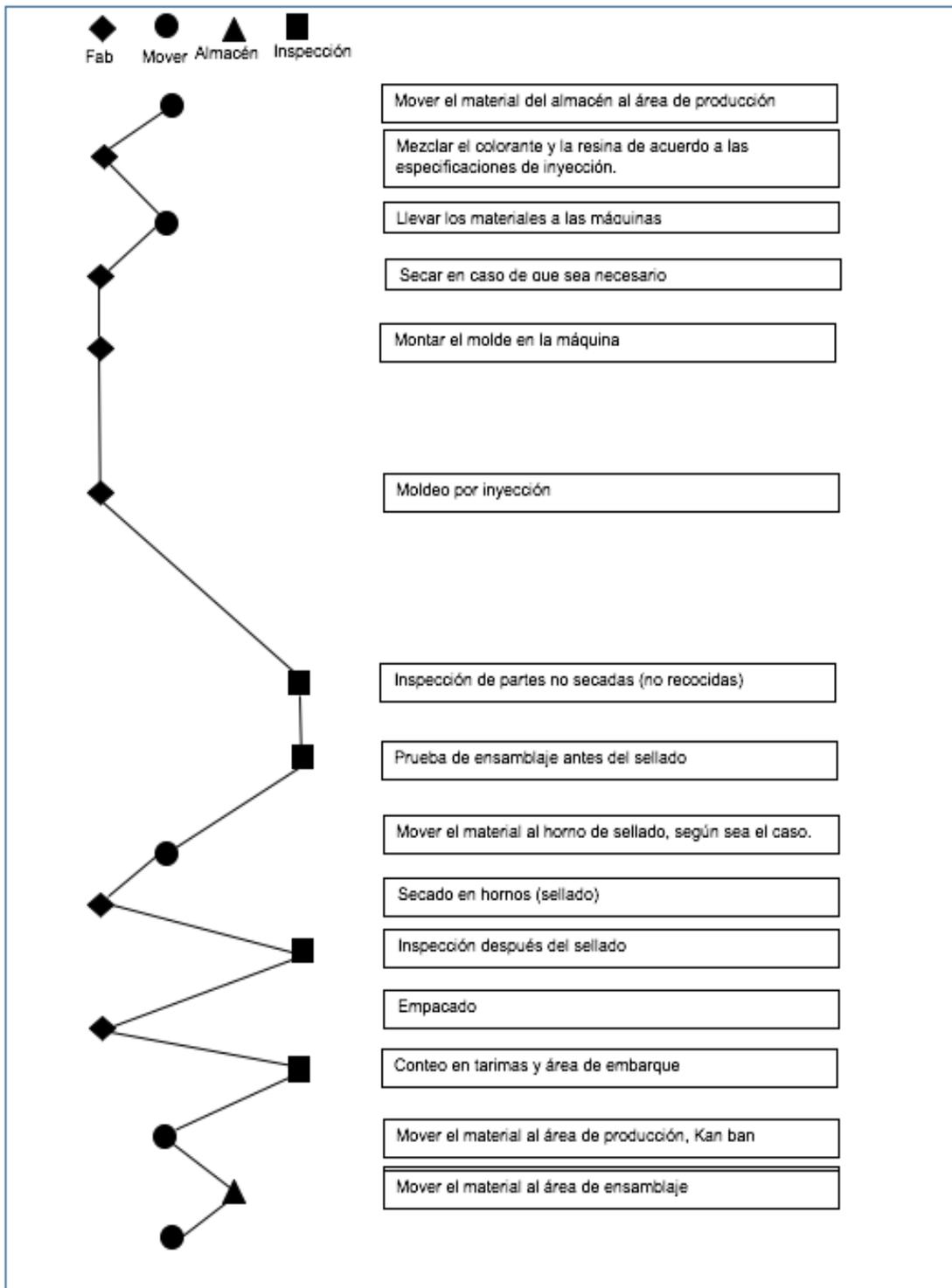
Matriz de comportamiento organizacional de gestión energética						
Nivel	Políticas y sistemas	Organización	Motivación	Sistemas de la Información	Concienciación	Investigación
4	Sistemas de conservación y gestión energética implementados. Reuniones con la alta gerencia para analizar avances como parte de la estrategia corporativa en el compromiso de la eficiencia energética	Sistema de gestión de energía completamente integrado en la estructura de la compañía, con responsables claramente asignados e identificables.	Canales de comunicación formales e informales usados con regularidad por el responsable de gestión de energía y los empleados en todos los niveles.	Sistema con objetivos claros: monitorea el uso de materiales y energía, los desechos y las emisiones.; identifica fallas, cuantifica costos y ahorros; monitorea los presupuestos.	Promover el valor e importancia de la eficiencia energética; y de la gestión del desempeño medioambiental	Cuando hay oportunidades de inversión en la creación de nuevas plantas/departamentos se da preferencia a aquellos planes con esquemas detallados de conservación de energía y materiales
3	Políticas medioambientales/energéticas pero sin un sistema formal de manejo energético y sin compromiso activo de la alta gerencia.	Gerente medioambiental reporta al comité de energía, presidido por un miembro de la dirección.	El comité medioambiental energético es utilizado como el canal principal junto con contacto directo de los mayores usuarios.	Monitoreo y reportes de áreas separadas de la planta por medio de medidores locales, pero los ahorros no son reportados efectivamente a esas áreas.	Programas de concienciación y capacitación para empleados	Misma política en cuanto al período de retorno de la inversión que en otros proyectos. Evaluación superficial de nuevas mejoras a la planta y edificios.
2	Política medioambiental/energética desarrollada por el gerente de gestión energética no ha sido adoptada o no es oficial.	Gerente medioambiental/ de energía reporta a un comité informal, pero sin tener una autoridad oficial definida.	El contacto con las áreas de mayor consumo energético es al azar, y el responsable un supervisor con antigüedad.	El monitoreo y objetivos energéticos se hace mediante los recibos de electricidad. Los empujados encargados de las cuestiones energéticas no están directamente involucrados en el establecimiento de presupuestos.	La concienciación y capacitación a empleados es infrecuente o esporádica	Las nuevas inversiones se hacen con proyectos que tengan el menor período de retorno de la inversión.
1	Políticas medioambientales no definidas/ no escritas	El (los) encargado (s) de gestión energética solo se dedican parcialmente al proyecto o son personas sin influencia directa en la organización.	Las charlas de eficiencia energética se dan de manera informal y esporádica con algunas de las áreas de producción	La elaboración del reporte de costos se hace con base en los recibos de consumo energético. El encargado cumple con los reportes para uso interno dentro de su departamento.	Acercamientos informales con empleados para promover la eficiencia energética y la conservación de recursos.	Sólo se aprueban proyectos de bajo costo.
0	Sin política medioambiental explícita	No existe un gerente o encargado del área de conservación energética.	No existe retroalimentación con las áreas consumidoras de energía.	No existe un sistema de información donde se reporte el consumo y desecho de materiales y energía.	No se promueve la conservación y uso eficiente de la energía.	No hay inversión para incrementar la eficiencia energética en el edificio o instalaciones.

Anexo 3. Delimitación física y distribución de la planta Alden Amphenol

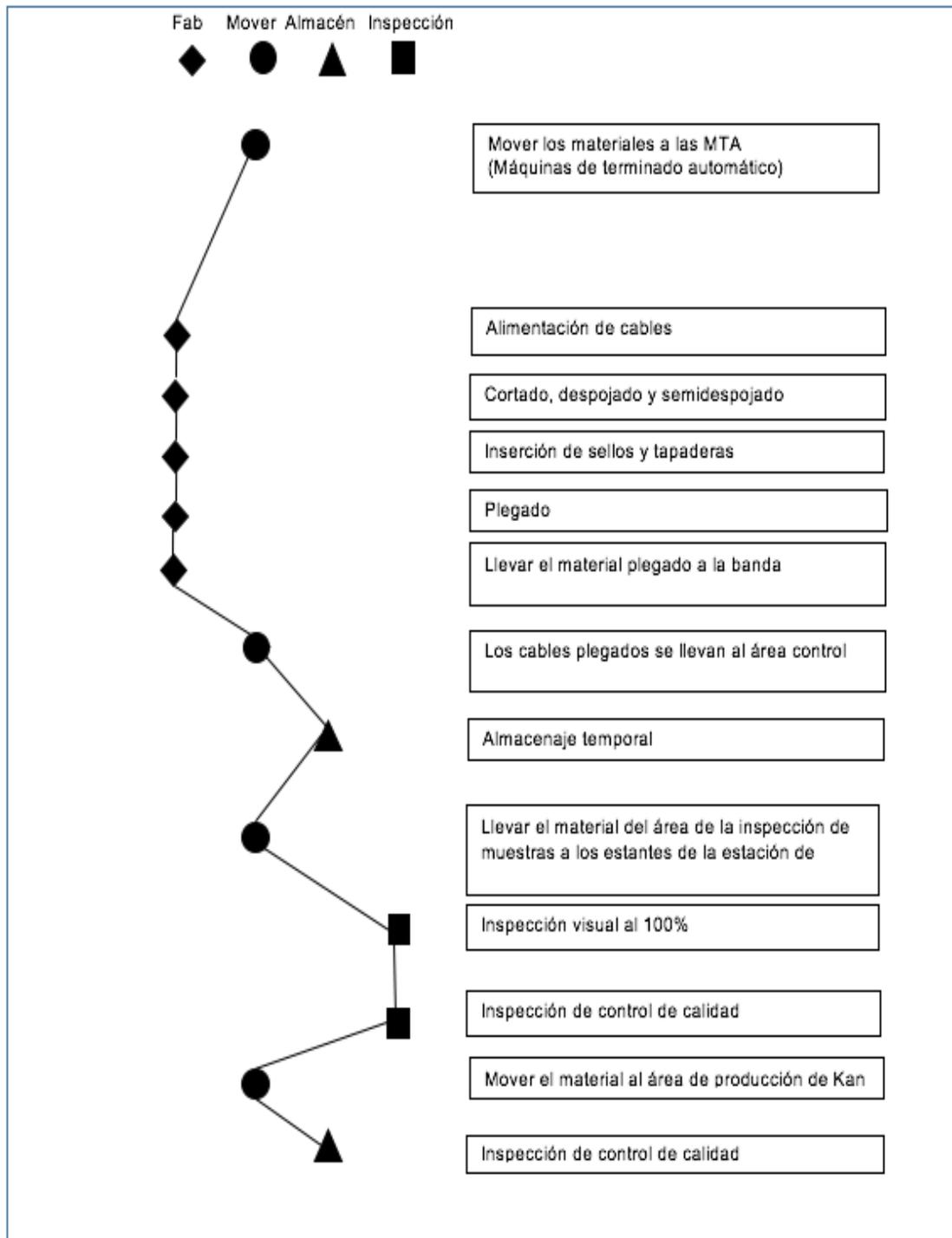
DISTRIBUCION DE AREAS DE LA PLANTA ALDEN



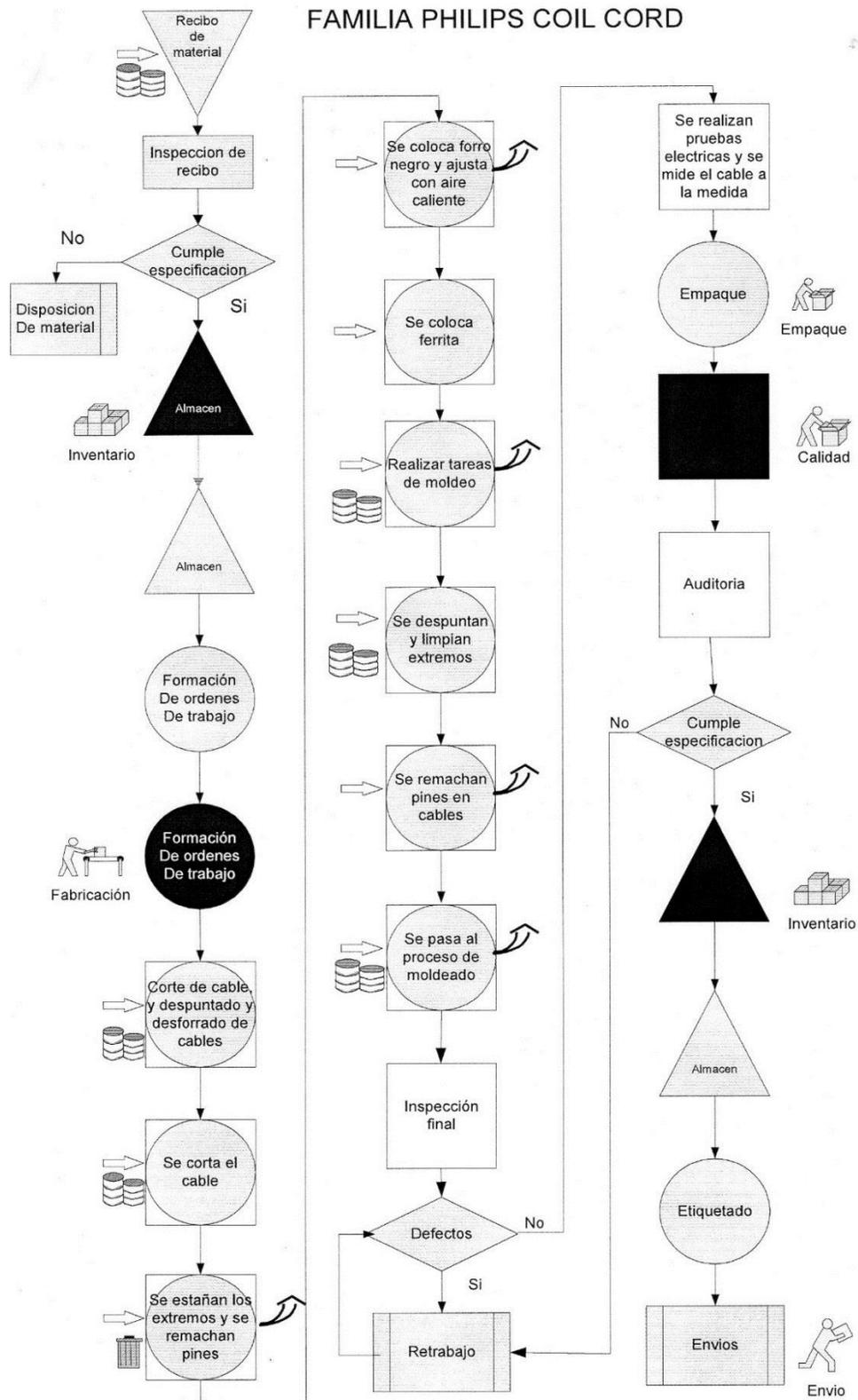
Anexo 4. Proceso de conectores en Furukawa.



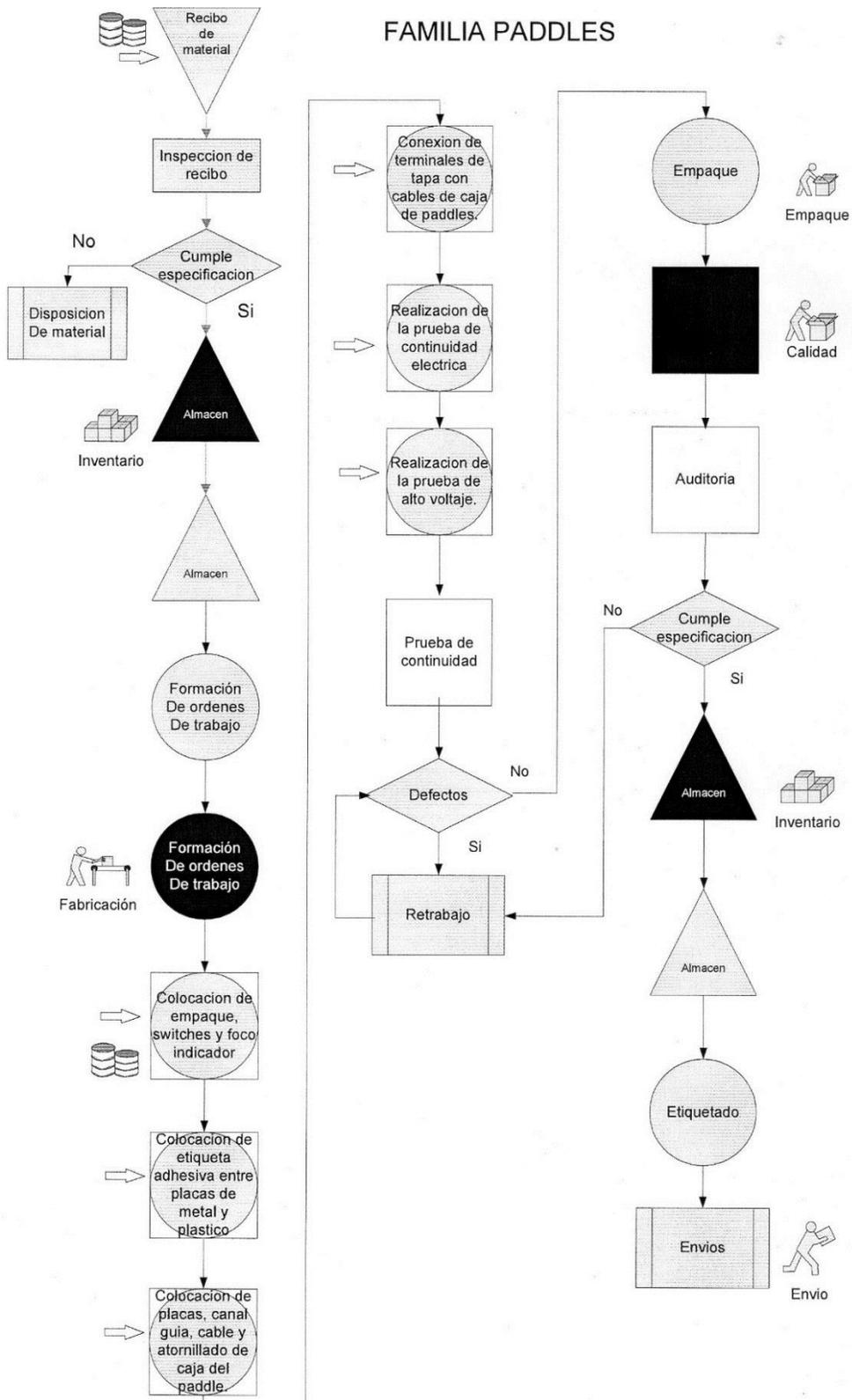
Anexo 5. Proceso de terminado automatizado en Furukawa



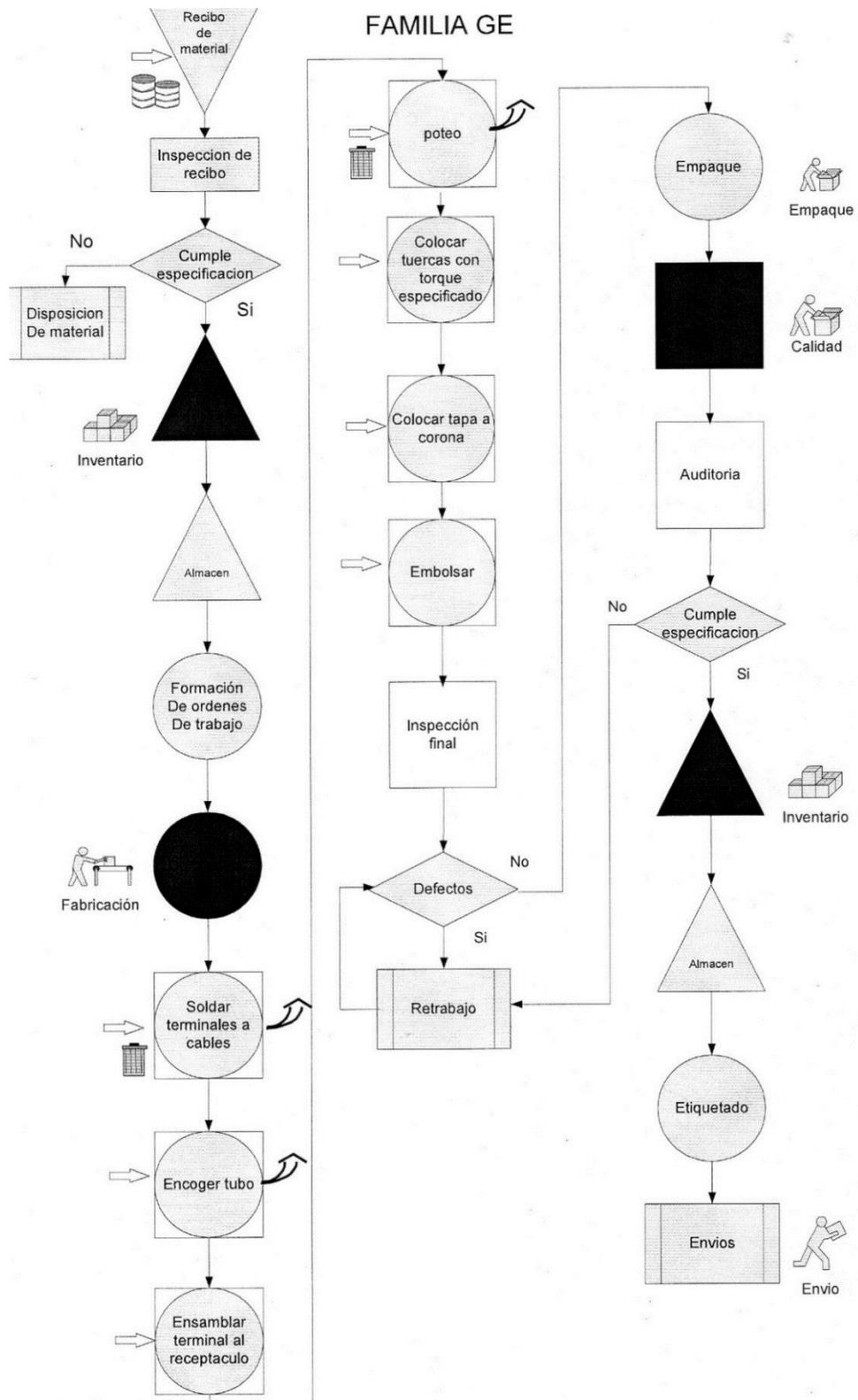
Anexo 6. Proceso de producción Familia Phillips Coil en Alden Amphenol



Anexo 7. Proceso de producción Familia Paddles en Alden Amphenol



Anexo 8. Proceso de producción de ensamble de cables GE en Alden Amphenol



Anexo 9. Proceso de producción de conectores moldeados en Alden Amphenol.

FAMILIA DE CONECTORES MOLDEADOS

