

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

ESCUELA DE POSGRADO



**Ingeniería inversa para la adaptación tecnológica en una
empresa manufacturera peruana, estudio de caso.**

Tesis para optar el grado de Magister en Gestión y Política de la Innovación
y la Tecnología.

Presentado por: Rony Martin Cabrera Donayre.

Asesor: Mg. Cesar Augusto Corrales Riveros.

Pando, 2015

RESUMEN

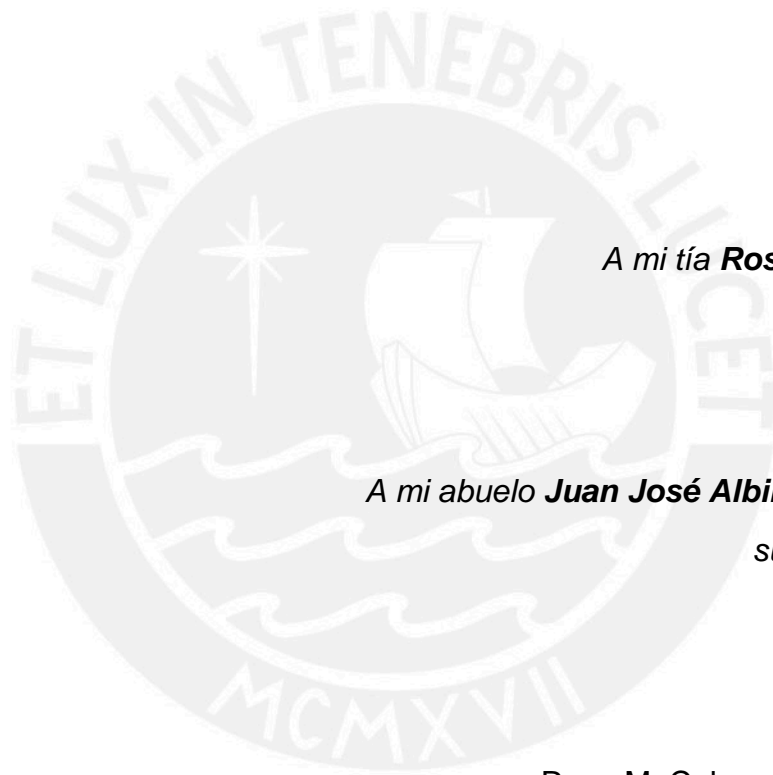
La presente tesis analiza el proceso de ingeniería inversa de una empresa manufacturera peruana que posee un taller de manufactura para la creación de sus máquinas e ingenieros y técnicos con una buena capacidad absorbente. La ingeniería inversa es utilizada para la creación y adaptación de máquinas industriales exógenas destinadas a su proceso productivo, es decir, uso no comercial. Además, la investigación hace énfasis en la necesidad de contar con un proceso sistematizado de ingeniería inversa como medio para entender a profundidad el funcionamiento y los principios de solución del sistema técnico, evitar perder tiempo y recursos durante el proyecto y almacenar los resultados de la ingeniería inversa en una base de datos para su consulta en cualquier momento. Se utiliza el estudio de caso como metodología en esta investigación. Entre sus hallazgos destacan que el proceso de ingeniería inversa en la empresa es desorganizado y se utiliza con el objetivo de crear máquinas de producción y reducir costos; además, verifica que la ingeniería inversa puede ser aplicada como una fuente de información para realizar adaptaciones tecnológicas.

Palabras claves: ingeniería inversa, adaptación tecnológica, importación de máquinas, tecnología endógena y empresa manufacturera.



“A ningún hombre debe obligársele a hacer el trabajo que puede hacer una máquina”
Henry Ford, 1863-1947.

“¿Quieres vender agua azucarada toda tu vida, o quieres venir conmigo y cambiar el mundo?”
Steve Jobs, 1955-2011.



Dedicatoria

A mi tía **Rosio Donayre** por
su gran cariño.

Q.E.P.D

A mi abuelo **Juan José Albino Donayre** por
su gran fortaleza.

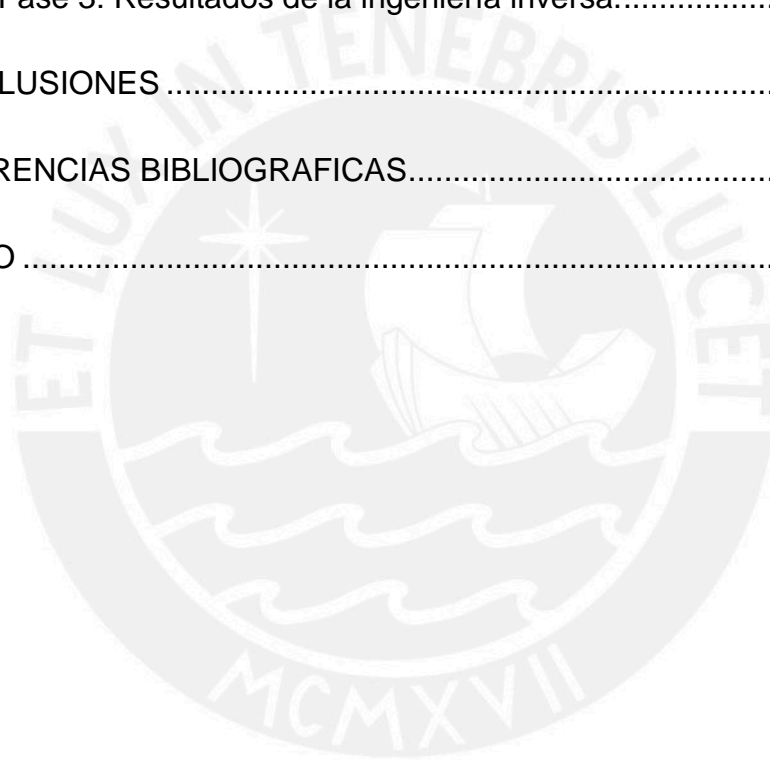
Q.E.P.D

Rony M. Cabrera Donayre, R17.

INDICE

RESUMEN	II
INDICE.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS	VIII
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1: MARCO TEORICO	7
1.1 Adaptación Tecnológica.	7
1.1.1 Definiciones de Adaptación Tecnológica.....	7
1.1.2 Tipos de tecnologías adaptativas.....	9
1.1.3 Proceso de Adaptación Tecnológica.	12
1.2 Ingeniería Inversa.....	20
1.2.1 Definiciones de Ingeniería Inversa.	20
1.2.2 Aplicaciones de la Ingeniería Inversa.....	23
1.2.3 Aspectos legales de la Ingeniería Inversa.	28
1.2.4 Proceso de Ingeniería Inversa.....	31
1.3 Modelo de Ingeniería Inversa.	44
CAPITULO 2: ESTUDIO DE CASO	47
2.1 Metodología.....	47
2.2 Descripción de la organización.....	56
2.3 Descripción de la parte de estudio.	59

2.4 Análisis de la parte de estudio.....	62
2.5 Síntesis de la parte de estudio.	73
2.6 Discusión de los resultados.....	79
CAPITULO 3: PROPUESTA.....	95
3.1 Fase 1: Inicio del proceso de ingeniería inversa.	99
3.2 Fase 2: Análisis del sistema técnico.....	101
3.2 Fase 3: Resultados de la ingeniería inversa.....	103
CONCLUSIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	112
ANEXO	118



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo propuesto por Leonard-Barton.	15
Figura 2. Proceso discontinuo de adaptación tecnológica.	18
Figura 3. Niveles de abstracción en el desarrollo de software.	24
Figura 4. Ingeniería Inversa como instrumento de apoyo al proceso de desarrollo de soluciones de productos.	26
Figura 5. Proceso de Ingeniería Inversa propuesta por Montanha J.	33
Figura 6. Proceso de Ingeniería Inversa propuesta por Otto y Wood	38
Figura 7. Modelo de Ingeniería Inversa.	45
Figura 8. Organigrama del Área de Ingeniería y Mantenimiento.	60
Figura 9. Porcentaje de proyectos realizados con ingeniería directa e inversa en el Área de Ingeniería y Mantenimiento.	62
Figura 10. Diagrama de flujo de proyectos de ingeniería directa del Área de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa BBA.	96
Figura 11. Proceso de Ingeniería Inversa propuesta para la empresa BBA.	98
Figura 12. Fase 1: Inicio del proceso de ingeniería inversa.	100
Figura 13. Fase 2: Análisis del sistema técnico.	103
Figura 14. Fase 3: Resultados de la Ingeniería Inversa.	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de tecnología según Arthur D. Little.	11
Tabla 2. Preguntas realizadas en las entrevistas según clasificación de colaboradores.	54
Tabla 3. Componentes del estudio de caso.	55
Tabla 4. Características de la empresa BBA.	58
Tabla 5. Ficha técnica del proyecto 1.	63
Tabla 6. Ficha técnica del proyecto 2.	64
Tabla 7. Ficha técnica del proyecto 3.	65
Tabla 8. Ficha técnica del proyecto 4.	66
Tabla 9. Ficha técnica del proyecto 5.	67
Tabla 10. Ficha técnica del proyecto 6.	68
Tabla 11. Ficha técnica del proyecto 7.	69
Tabla 12. Ficha técnica del proyecto 8.	71
Tabla 13. Ficha técnica del proyecto 9.	72
Tabla 14. Ficha técnica del proyecto 10.	73
Tabla 15. Tabla general de los proyectos de estudio.	74
Tabla 16. Número de tecnologías claves y básicas según los elementos del modelo de ingeniería inversa.	75
Tabla 17. Porcentaje de tecnologías claves y básicas desarrolladas por ingeniería inversa.	81
Tabla 18. Cuadro con recomendaciones de diseño.	104

INTRODUCCION

Si no fuera por la manufactura, no podríamos disfrutar de todos los bienes y artículos que utilizamos a diario desde aquellos más rudimentarios hasta los dispositivos electrónicos que se elaboran como resultado de un proceso de evolución tecnológica. De la misma manera, las inversiones en infraestructura y empresas de manufactura han tenido la responsabilidad de levantar países e impulsarlos a ser potencias mundiales y jugadores importantes en la economía global.

Este sector se ha convertido en uno de los ejes de la economía peruana por sus altas tasas de crecimiento a partir de la liberación comercial de la década de los noventa generando nuevos empleos, ingresos fiscales y desarrollo de pequeñas empresas que producen partes y servicios para este sector. Evidentemente, su crecimiento y competitividad está fuertemente relacionado con la innovación tecnológica porque un 65,5% de las empresas manufactureras desarrolló al menos una actividad de innovación en el periodo 2009-2011 (CONCYTEC, 2013). Este resultado puede sonar alentador, sin embargo, la tendencia a innovar no es homogénea en todas las empresas. Cabe destacar que estas actividades de innovación tienen como objetivo final mejorar los resultados de la empresa al desarrollar y poner en marcha nuevos productos y procesos (OCDE, 2005). Estas van desde actividades en investigación y desarrollo interno y externo, transferencia tecnológica, adquisiciones de bienes de capital y TIC's, capacitación, hasta las de diseño e ingeniería industrial.

A propósito, el resultado de la primera Encuesta Nacional de Innovación en la Industria Manufacturera muestra que el 78,4% de las empresas centran sus esfuerzos en la adquisición de bienes de capital (INEI, 2012). Esta falta de equilibrio entre las actividades de innovación, pone en riesgo el desarrollo de capacidades endógenas y es un factor que explica el subdesarrollo tal como señala Máximo Vega (2003, p. 32): “una indagación global e histórica sobre las causas del subdesarrollo llevó a evaluar la relación de las economías subdesarrolladas con las desarrolladas (...) se trata esta vez de la dependencia como forma de relación con resultados predeterminados y distribución no equitativa de los frutos”. A partir de esta visión otro autor expresa que “se ha abandonado el esfuerzo interno por crear tecnologías y se ha justificado la compra indiscriminada de maquinarias y equipo inapropiados, de máquinas llave en mano y de procesos cerrados (...) se necesitará de tecnología exógena por un buen tiempo” (Villarán, 1989, p. 36).

Pero como señala el Manual de Oslo estas adquisiciones son “necesarias para poner en marcha innovaciones de producto y proceso” (OCDE, 2005, p. 97) y son preferidas por las organizaciones porque obtienen ventajas competitivas inmediatas, teniendo un mejor posicionamiento en los mercados sin tener que preocuparse por sus capacidades tecnológicas internas (Lugones, Peirano, & Giudicatti, 2004). Asimismo, Odagiri, Goto, Sunami y Nelson (2010, p. 15) recalcan su importancia al señalar que “para alcanzar el estado de arte de la tecnológica, un país tiene que adquirir tecnologías (extranjeras) de diferentes formas” y coincide con lo planteado por Olivares (2004, p. 17) al decir que “se tiene que aprovechar los conocimientos y

tecnologías que se van produciendo en el resto del mundo, evaluarlos, mejorarlos y adaptarlos a nuestras necesidades de productividad y competitividad”.

Por otro lado, estas adquisiciones conllevan a realizar un proceso de adaptación al contexto de la organización debido a que las nuevas tecnologías casi nunca se encuentran perfectas en la etapa de introducción inicial, originándose problemas y contingencias que no fueron anticipadas antes de la misma (Rosenberg, 1982). De esta manera, los usuarios de la tecnología son obligados a realizar ajustes o cambios para alcanzar una buena eficiencia operativa de la misma (Hollander & Knox, 1966).

La adaptación de tecnología siempre implicará beneficios para las organizaciones como la reestructuración de sus operaciones, la competitividad y en el incremento de los conocimientos en sus empleados (Leonard-Barton, 1988). En apoyo este punto cabe mencionar el planteamiento de Odagiri *et al.* (2010, p. 3) “la importación de equipos y maquinaria contribuyen en parte por aumentar la productividad y en parte por proveer de oportunidades para hacer ingeniería inversa”. Esto concuerda con lo señalado por Gonzáles y Tansini (2002, p. 534) al estudiar la relación entre la importación y creación de tecnología propia en las empresas señalando que pueden ser actividades complementarias y se reflejaría en que “las empresas que importan tecnología realizan mayores esfuerzos en I+D interno para adaptar y asimilar la tecnología adquirida, por lo que la importación de

tecnología se convierte en un estímulo a la generación de tecnología propia en las empresas. En este caso las empresas que realizan actividades de I+D tendrían mayor capacidad tecnológica de adoptar tecnologías importadas”.

En ese mismo orden de ideas, la ingeniería inversa es usada en las organizaciones como una fuente de información para planificar e implementar adaptaciones técnicas y rediseños (Montanha, Ogliari, & Black, 2007). En Japón, la ingeniería inversa fue una importante fuente de adquisición de conocimientos antes de la Segunda Guerra Mundial, por ejemplo, se menciona que Toyota empezó el desarrollo de automóviles al desamblar y copiar carros importados como Chevrolet y Fiat sin tener problemas en propiedad intelectual porque su presencia en el mercado era más pequeña, en ese tiempo, que General Motor y otras marcas (Odagiri *et al.*, 2010). En el caso Taiwán, antes de ser miembro de la Organización Mundial del Comercio (OMC), la falta de leyes y tratados de propiedad intelectual permitieron que la industria crezca por la ingeniería inversa e imitación de tecnología proveniente de países desarrollados (Wu, Chiu, & Lee, 2010). Simultáneamente, Corea del Sur promovió el flujo de tecnología sin fomentar la inversión extranjera directa ni los licenciamientos extranjeros porque “las tecnologías maduras iban a ser obtenidas por otros métodos, más notablemente por ingeniería inversa, y porque esto permita a Corea del Sur mantener independencia frente a los países avanzados y sus tecnológicas” (Bozeman *et al.*, 2003, p. 33). Además, anota que en lugar de licenciamiento Corea del Sur prefirió la importación de bienes de capital de países desarrollados como un método más productivo de transferencia tecnológica.

Según esto, no muchos son los trabajos que describen de qué forma las empresas peruanas importan tecnología y llevan adelante su proceso de ingeniería inversa y cómo se organizan para superar los obstáculos que esto conlleva. A partir del interés en ahondar la mirada sobre los aspectos empíricos de estos procesos, se plantea la necesidad de incorporar mayores investigaciones a partir de la cual se analiza la situación en un momento concreto con alusiones a la herencia del pasado. Por tales motivos, el objetivo general de la presente tesis es analizar el proceso de ingeniería inversa aplicado a la adaptación tecnológica en una empresa grande del sector manufacturero peruano denominada BBA. Los objetivos específicos de la presente investigación son los siguientes:

- Realizar un estudio teórico de la ingeniería inversa y la adaptación tecnológica.
- Identificar las características del proceso de ingeniería inversa aplicado a la adaptación tecnológica en la empresa BBA.
- Conocer las razones del uso de la ingeniería inversa en la empresa BBA.
- Elaborar una propuesta de sistematización de ingeniería inversa eficiente para la empresa BBA.

La metodología utilizada es de tipo cualitativo-descriptivo en un estudio de caso con la siguiente interrogante general: ¿Cómo y por qué la empresa BBA realiza ingeniería inversa? El estudio de caso está basado sobre el proceso de ingeniería inversa con la finalidad de definir qué aspectos del modelo actual son susceptibles de ser mejorados.

La tesis se organiza en tres capítulos: en el capítulo 1 se revisan los principales conceptos teóricos con especial atención en los estudios sobre adaptación tecnológica e ingeniería inversa, el capítulo 2 gira entorno a la descripción del caso de estudio de la empresa manufacturera BBA y se analizan e interpretan las evidencias a la luz del esquema metodológico diseñado, el capítulo 3 muestra un planteamiento de modelo sistematizado de ingeniería inversa y por último se presentan las conclusiones y recomendaciones.

Para finalizar, no puedo dejar de agradecer a mi asesor el Mg. Cesar Corrales y al director de la maestría el Dr. Domingo González, esto sonará altanero e incluso zalamero, pero me parece importante mencionar que es un director docente perspicaz, intuitivo, inteligente, repentino, admirable y con una gran experiencia para la investigación. Creo que la PUCP posee el prestigio que tiene gracias a profesores como él. Además, agradecer a la estupenda compañía de mis compañeros que, a pesar de haber sido el más joven de la clase, me han tratado de manera profesional y me han enriquecido con sus años de experiencia. Estoy completamente seguro de que cada uno de ellos aportará mucho al Perú desde el lugar donde se encuentren porque, como mencionó la Dra. Marta Tostes, ya no existe el término “fuga de cerebros” sino ahora es “cerebros en circulación”.

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

1.1 Adaptación Tecnológica.

En este apartado se explican las diferentes definiciones de adaptación tecnológica que se encuentran en las bases teóricas; así como, los tipos de tecnología adaptativas que las empresas pueden utilizar para cumplir sus objetivos productivos.

1.1.1 Definiciones de Adaptación Tecnológica.

La selección de tecnología se refiere a la decisión, tomada por las empresas manufactureras, de adquirir o utilizar una determinada tecnología existente en el mercado. Es decir, se trata de elegir entre las innovaciones tecnológicas pasadas y generalmente exógenas a los países subdesarrollados (Villarán, 1989). Después de realizada la mejor elección en relación al presupuesto disponible, se procede a la adquisición y posteriormente puesta en marcha de la tecnología. Esta introducción supone una serie de desafíos que la empresa debe afrontar. De acuerdo con Rosenberg (1982) las nuevas tecnologías no se encuentran nunca perfectas en su introducción inicial. De la misma manera Leonard-Barton (1988, p. 265) coincide al manifestar que “la tecnología nunca encajará exactamente en el ambiente del usuario”; por ende, se originan problemas o contingencias que no fueron contemplados antes de su introducción requiriéndose: adaptación tecnológica.

Adaptación tecnológica (también llamada endogenización de la tecnología externa), según Katz citado por Villarán (1989), se trata de un tema relacionado en función de los procesos de industrialización dependientes como parte de una secuencia de procesos que comprende las siguientes etapas: transferencia de tecnología, aprendizaje local, asimilación de tecnología y adaptación a las condiciones locales. Esto coincide con los planteamientos de Jiménez (2010, p. 100), manifestando que el proceso de transferencia tecnológica ocurre con la adopción y adaptación de la nueva tecnología donde adopción consiste en “la utilización o implementación de productos o procesos nuevos” y la adaptación en “modificar la tecnología producida en otros países al contexto en el cual será adoptada”.

Así pues, las diversas definiciones de adaptación tecnológica siempre tienen como atributo la modificación, los cambios o los ajustes que se le realiza a una tecnológica en el ambiente del usuario. En el caso de Tyre y Orlikowski (1994, p. 99) precisan que este proceso se refiere a “los ajustes y cambios seguidos de la instalación de una nueva tecnológica en un lugar determinado”. También Majchrzak, Rice, Malhotra, King y Ba (2000, p. 570) advierten que los “usuarios manipulan y reformulan sus tecnológicas para cumplir con el trabajo”, así mismo expresa que tales acciones tienen repercusiones en el contexto social donde se encuentran. Por último, Johnson y Rice (1987), además de equilibrar el concepto de adaptación con reinención, agrega que es un proceso donde los usuarios, grupos y organizaciones modifican, reinventan, apropian o adaptan determinadas propiedades o usos de una nueva tecnología.

A causa de estas alteraciones, los usuarios llegan a reinventan la tecnología y sus procesos alrededor de estos formando parte del proceso de innovación (Rice & Everett, 1980) y a su vez mejorando su satisfacción con la nueva tecnología (Johnson & Rice, 1987). Sin embargo, es importante indicar que Leonard-Barton D. (1988) expresa que este proceso requiere una mutua adaptación entre la tecnología y la compañía adaptadora, que ocurre comúnmente en el proceso de adopción. En otras palabras, su éxito está determinado por la cooperación activa entre los usuarios y los desarrolladores o inventores de la tecnológica.

Como consecuencia, estas adaptaciones generan diversos cambios no solo en la tecnología en uso, sino también en el contexto físico y organizacional de la empresa (Leonard-Barton, 1988). Esto concuerda con lo señalado por Van de Ven (1986, p. 591) que una vez en uso, la nueva tecnología “no solo se adapta al ambiente organizacional e industrial sino que también transforman las estructuras y prácticas de estos ambientes”. Adicionalmente, Von Hippel (1988) advierte que estas adaptaciones ayudan a concebir actividades adicionales de investigación y desarrollo, creando nuevos conocimientos en los trabajadores.

1.1.2 Tipos de tecnologías adaptativas.

Las organizaciones son sistemas abiertos que necesitan gestionarse cuidadosamente y equilibrar sus necesidades internas y adaptarse a las

circunstancias ambientales o del entorno (Morgan, 1990). Por ello, es importante que las organizaciones deban “tener y saber utilizar las diferentes estrategias de adaptación tecnológica dependiendo del ciclo de vida tecnológica en la que se encuentren” (Merino & Sepúlveda, 2010, p. 61).

No obstante, no todas las tecnológicas están en condiciones de ofrecer ventajas competitivas a la empresa que las utiliza, puesto que dependerá de la naturaleza de la tecnología en particular y del grado de madurez del sector donde se pretenda utilizar. Según esto, Hidalgo, Serrano y Pavón (2002) señalan que el éxito de una tecnología en un determinado contexto social, se produce cuando se dan tres condiciones: una necesidad social de la población, disponibilidad de capital, materiales y personal calificado y un contexto social receptivo a nuevas ideas.

Por otra parte, Arthur D. Little citado por Escorsa y Valls (2003) clasifica, desde una perspectiva estratégica, la tecnología entendida como la capacidad para producir nuevos o mejores productos en cuatro tipos cuyas características principales se resumen en la Tabla 1:

- Tecnologías básicas: son bien conocidas por todos los competidores del sector porque sin ellas la fabricación no es posible. No ofrecen, por tanto, ninguna ventaja competitiva, a diferencia de las tecnologías claves. Sin embargo, con el paso del tiempo, las tecnologías claves se convertirán en básicas.

- Tecnologías claves: son las que permiten a la empresa que las domina diferenciarse de las otras por su mayor calidad, prestaciones superiores o costes más bajos. Son, por tanto, las que tienen un impacto más grande sobre la competitividad del producto.
- Tecnologías incipientes: se encuentran todavía en una etapa inicial de su desarrollo pero han demostrado su potencial para cambiar las bases de la competición. Sin embargo, las tecnologías incipientes se convertirán en las tecnologías claves.
- Tecnologías emergentes: se encuentran en la etapa inicial pero su impacto potencial es desconocido, aunque se observan algunos indicios prometedores.

Tabla 1. Tipos de tecnología según Arthur D. Little.

Tipos de tecnología	Característica principal
Básicas	Tecnologías maduras, no se considera ventaja competitiva.
Claves	Tecnologías del momento esenciales para competir en el mercado.
Incipientes	Tecnologías en su etapa inicial pero con gran potencial para cambiar las bases de la competición
Emergentes	Tecnologías en su etapa inicial, pero su impacto es desconocido.

Fuente: Escorsa *et al.* (2003)

La adaptación tecnológica permite la utilización de alguno o varios de los tipos de tecnologías enunciados para alcanzar los objetivos de producción en la organización.

Cabe destacar que, sin considerar el tipo de tecnología adaptativa, las características que debe poseer la organización para que este proceso sea eficiente ha sido descrita por Merino *et al.* (2010) diferenciando las características de las organizaciones burocráticas, que es una estructura rígida de alta formalización y poca participación de los empleados en la toma de decisiones, con las organizaciones orgánicas la cual son una estructura muy adaptable y flexible donde los equipos tienen la autoridad de tomar decisiones. Como señala Chiavenato (1999) los sistemas orgánicos son adaptables a las condiciones del entorno inestable permitiendo que se implementen mejoras en proceso y se tenga una política de innovación permanente.

1.1.3 Proceso de Adaptación Tecnológica.

Al tratar el proceso de adaptación tecnológica Tyre *et al.* (1994, p. 98) expresan que es importante estudiarlo por diferentes razones:

- Ayudan a generar nuevas actividades en investigación y desarrollo (Von Hippel, 1988).
- No solo afectan a la tecnología en uso sino también al contexto físico y organizacional de la empresa (Leonard-Barton, 1988).
- La eficiencia operativa lograda después de la adaptación depende fuertemente de las modificaciones de los empleados (Hollander & Knox, 1966).

En torno al último enunciado señalado, el proceso de adaptación tecnológica tiene como factor central al hombre porque participa activamente en cada una de las etapas del proceso para lograr los objetivos de la empresa y su posicionamiento en el mercado. Además, estas actividades permiten a los trabajadores sentirse parte de un equipo que contribuye en la búsqueda de soluciones empresariales que tienen un impacto en la sociedad. En apoyo a este punto, cabe mencionar el planteamiento de Merino *et al.* (2010, p. 61) donde menciona que “la tecnología (hasta este punto de la historia) requiere de la intervención directa y continua del hombre”.

En efecto, el factor humano y la cultura organizacional se encuentran relacionadas con la tecnología. Esto coincide con los planteamientos de Howitt (2004, p. 6) al agregar que “la educación (de los empleados) afectan la velocidad de la transferencia de tecnología” requiriéndose trabajadores calificados para llevar a cabo la adopción y sobre todo la adaptación. Asimismo, una vez implementada la nueva tecnología, mientras más calificado sea el personal que opere los nuevos equipos o utilice nuevos conocimientos, mayor será la productividad de la nueva tecnología.

Al mismo tiempo, otros autores afirman que este proceso no es de costo libre y requiere tiempo adicional para ajustes cognitivos y organizacionales (Dawes, Cresswell, & Cahan, 2004), en definitiva se precisa más que recursos económicos para la adaptación de tecnología. A propósito del tiempo, Rogers (1983, p. 364) afirma que una “rápida introducción de la innovación (...) puede

conducir a resultados desastrosos”, es por esto que las empresas fallan en identificar y corregir problemas que impiden el buen uso de la tecnología. Simultáneamente, Hage y Aiken citado por Tyre *et al.* (1994) agregan que mientras la organización permita que el periodo de prueba y error sea lo más largo posible, mejores serán los resultados de los cambios. Del mismo modo, Johnson *et al.* (1987) consideran que esfuerzos continuos de adaptación son necesarios para maximizar la efectividad de las nuevas tecnologías.

En síntesis, el proceso de adaptación tecnológica tiene en consideración la cultura de la empresa y el tiempo de adaptación. Sin embargo, con el objetivo de comprender este proceso, diversos autores han elaborado teorías de adaptación relacionados con el cambio tecnológico en las organizaciones.

Modelo “*misalignment*” propuesto por Leonard-Barton

Leonard-Barton (1988) señala que la adaptación tecnológica es un tipo de innovación que involucra un proceso continuo, complejo, recursivo y de mutua adaptación entre la nueva tecnología y la organización requiriendo la cooperación activa de los desarrolladores y usuarios.

El proceso de adaptación tecnológica propuesto por el autor citado se muestra en la Figura 1 y se conforma por ciclos de desajustes o “*misalignments*” que el usuario va solucionándolos gradualmente hasta que la tecnología, el sistema de entrega y el criterio de rendimiento son alineados.

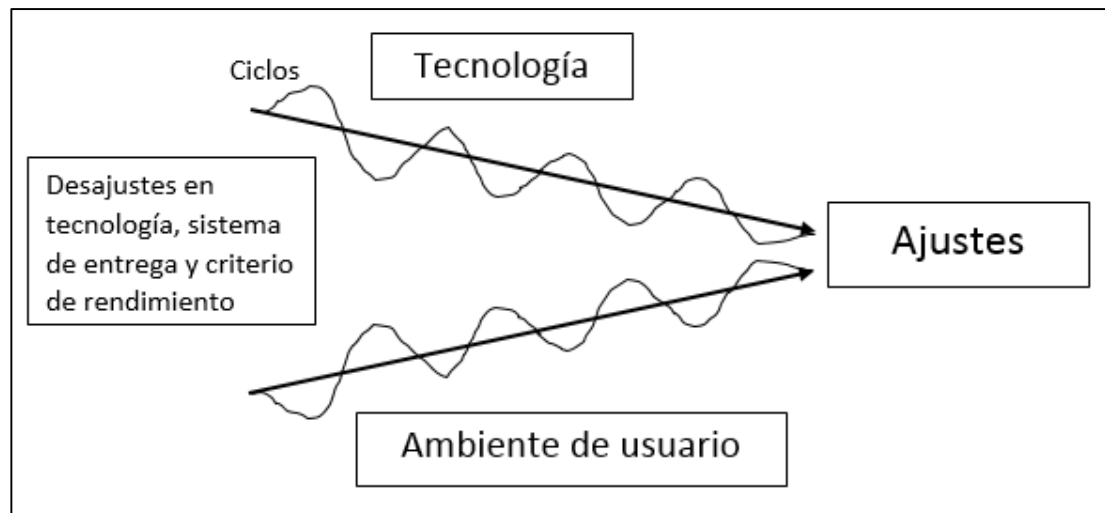


Figura 1. Modelo propuesto por Leonard-Barton.

Fuente: Leonard-Barton (1988, p. 251).

Estos desajustes entre la tecnología y los usuarios siempre aparecen cuando se transfiere una nueva tecnología a la planta de producción debido a que los desarrolladores de la tecnología desconocen total o parcialmente cómo es el ambiente del operario y cuando este último se encuentra dentro de una atmosfera de producción turbulenta donde no hay tiempo para planificar procedimientos. En estos casos, agrega que la corporación podría beneficiarse mucho más por reorganizar sus operaciones que por adaptar la nueva tecnología.

Asimismo, estos desajustes se consideran como ciclos recursivos porque constantemente se regresa a reformular las decisiones tomadas anteriormente para resolver problemas de diseño que los desarrolladores pensaban que ya estaban resueltos, para rediseñar los sistemas de entrega o para eliminar las rutinas organizacionales que son creadas por los operarios impidiendo que la tecnología se adaptada. De la misma forma, menciona que

estos ciclos adaptativos varían en magnitud dependiendo de cuán primordial sea el cambio que se va hacer, por ejemplo un ciclo largo podría significar que los desarrolladores retornan a la etapa de diseño y un ciclo pequeño implicaría un cambio menor.

Por otra parte, expresa que las causas de los errores que se cometen en este proceso son debido a la presión organizacional, los cálculos erróneos y mal equilibrio entre el entrenamiento o capacitación sobre la tecnología en relación con la educación de los empleados considerando que “las personas necesitan *know-why* al igual que *know-how*” (1988, p. 253).

Finalmente, señala algunos puntos importantes para que la transferencia de tecnología entre los desarrolladores y los usuarios sea exitosa:

- Se requiere que los encargados reconozcan y asuman la responsabilidad del cambio técnico y organizacional. Así pues, argumenta que “la gestión del proceso de implementación hace la diferencia” (1988, p. 253).
- El éxito de la transferencia de tecnología comprende la buena ejecución de los cambios en el ambiente del usuario y en la tecnología en sí misma. El reconocimiento de estos factores requiere que los desarrolladores reconozcan la responsabilidad de identificar opciones de adaptación incluso después que tengan la tecnología en un estado aceptable de desarrollo y por otro lado, que los usuarios compartan algunas incertidumbres y riesgos de la nueva tecnología.

- El éxito de la transferencia tecnológica no solo depende de la tecnología sino también del grado en la cual los desarrolladores y los usuarios quieran hacer la transferencia exitosa. “Sí ambas partes de la transferencia inician con la premisa que ellos están co-creando cambio - cambio que beneficiará a ambas partes” (1988, p. 265).

Modelo “*windows of opportunities*” propuesto por Tyre y Orlikowski

Tyre *et al.* (1994) encuentra que el proceso de adaptación tecnológica decae dramáticamente después de una intensa actividad de introducción de la tecnología en la empresa como se muestra en la Figura 2. En efecto, los experimentos y los cambios son más probables que sean realizados en la etapa de introducción que en otro momento. Las decisiones y direcciones tomadas durante este corto periodo son determinantes sobre cómo la tecnología será usada por la organización a lo largo del tiempo; es por ello que señalan que “el periodo inicial de adaptación es especialmente importante” (1994, p. 114). Además, explica que existen cuatro fuerzas organizacionales que contribuyen a este rápido descenso: la presión de producción por la puesta en marcha de la tecnología, la creación de rutinas por los operarios que restringen los cambios a futuro, las expectativas para mejorar la experiencia y el desgaste anímico de los miembros del equipo.

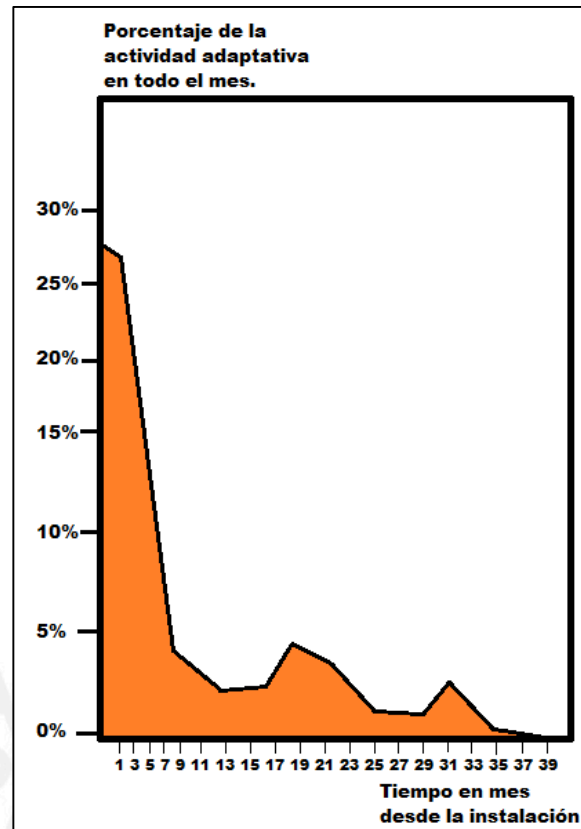


Figura 2. Proceso discontinuo de adaptación tecnológica.

Fuente: Tyre *et al.* (1994, p. 106)

También, agrega que estos descensos no son irreversibles porque pueden aparecer eventos inesperados que pueden provocar nuevos esfuerzos de actividad adaptativa. Sin embargo, estos nuevos episodios son de limitada duración pero pueden conducir a nuevos descubrimientos por parte de los usuarios. Al final del proceso la creación de rutinas aumenta, las modificaciones a la tecnología se convierten restringidas y los nuevos episodios son reducidos.

Por tal motivo, el autor citado señala, en contraposición al anterior, que el proceso de adaptación tecnológica es altamente discontinuo, especialmente

en la “introducción de la tecnología que provee limitadas pero valorables “*windows of opportunity*” para explorar y modificar el nuevo proceso tecnológico” (1994, p. 98). Además, menciona que “una posible explicación de esta característica podría ser que la actividad de adaptación decrece después de un corto tiempo porque todos o casi todos los problemas han sido identificados y resueltos hasta entonces” (1994, p. 105). También, manifiesta que el comportamiento humano influye en este proceso y que no existe ninguna relación entre el tamaño o costo del proyecto y la duración del periodo inicial de introducción. Por último, sugiere seguir los pasos de las buenas prácticas de las empresas japonesas donde “la adaptación, durante una producción normal, se controla cuidadosamente para permanecer dentro de los límites establecidos (...) En consecuencia, el conflicto entre los objetivos de producción y adaptación son explícitamente gestionados: no se ignoran” (1994, p. 115).

Estos modelos concuerdan que se trata de un proceso de modificaciones sobre condiciones existentes en un esfuerzo de alcanzar la alineación entre la tecnología y la organización, sin embargo estos modelos discrepan en la naturaleza de esta adaptación. El modelo de Leonard-Barton propone que la adaptación ocurre continuamente en respuesta a *misalignment* y en contraste, Tyre y Orlikowski lo caracteriza como altamente discontinuo donde ocurren breves *windows of opportunities* que abren el ambiente restringido. Según Majchrzak *et al* (2000), la diferencia entre los modelos puede estar en la naturaleza de los casos de adaptación siendo discontinua cuando el costo de los cambios son muy altos y cuando la tecnología es compleja, pero cuando

los costos por adaptar no son altos y la tecnología es más maleable, las adaptaciones podrían ser continuas. En definitiva, la diferencia podría reflejar diferentes condiciones en el campo en lugar de conclusiones teóricas invariantes (Wu, Ho, Hsung, & Kao-Hui, 2014).

1.2 Ingeniería Inversa.

En este apartado se explican las diferentes definiciones y aplicaciones de ingeniería inversa que se encuentran en las bases teóricas; así como, los aspectos legales que las empresas confrontan cuando realizan este proceso.

1.2.1 Definiciones de Ingeniería Inversa.

Por una parte, la ingeniería inversa o reversa (IR) es definida como un “proceso de duplicación de un ítem, funcionalmente y dimensionalmente, mediante una examinación física y mediciones de las partes originales con el objetivo de desarrollar datos técnicos requeridos para dicho fin” (MIL-HDBK-115A, 2006, p. 13). En esta perspectiva, Wang (2011, p. 1) coincide al expresar que se trata de un “proceso de medición, análisis y ensayos para reconstruir una imagen idéntica de un objeto (...) a partir de análisis de ingeniería”. Estas definiciones tienen como atributo principal el acto de duplicar o imitar una pieza original con las mismas características técnicas. No obstante, otro grupo de autores definen la IR como un proceso que no compromete ninguna creación. Tal es el caso de Chikofsky y Cross (1990,

p. 15) quienes afirman que “no involucra un cambio en el sistema original o la creación de un nuevo sistema basado en los datos obtenidos. Se trata de un proceso de examinación, no un proceso de cambio o replicación”. También, Tang, Zhu, Chen, Zang y Xu (2010, p. 185) indican que es un “proceso de analizar una tecnología para averiguar cómo este ha sido diseñado y cómo funciona (...) además de saber la manera en cómo no lo hace”. Asimismo, Rekoff (1985, p. 244) señala que “es un proceso de desarrollo de una lista de especificaciones de un sistema complejo por medio de una ordenada examinación de sus partes (...) sin el beneficio de ningún plano original”. La presente investigación se inclina a estos conceptos para evaluar las proposiciones mencionadas en el apartado anterior.

Por otro lado, Aplin (2013, p. 342) señala que “lo que importa no es el simple acto de extraer conocimiento de un producto sino también de usar tal conocimiento de alguna manera”. Por eso, luego de extraída la información de las partes originales se puede optimizar sistemas que están siendo desarrollados (Montanha *et al.*, 2007), reparar o reproducir nuevas piezas sin planos técnicos originales (Wang, 2011), analizar el producto de los competidores o de los adversarios en el caso de una situación militar o de seguridad nacional (Chikofsky & Cross, 1990), evaluar si un producto está violando los derechos de propiedad intelectual (Aplin, 2013) o decidir “sí el objetivo final es la creación de un clon o sustituto” (Rekoff, 1985, p. 244). En el caso de un clon, el autor lo define como una reproducción exacta en forma, función y mecanismo de operación que encaja en el mismo lugar que la pieza original. El sustituto ejecuta la misma función y encaja en la misma posición

pero no usa el mismo mecanismo de operación o no necesariamente se ve igual. Aunque un sustituto puede ofrecer ventajas en rendimiento, los clones pueden ser más deseables si se cuenta con personal de mantenimiento que ha sido entrenado con las mismas especificaciones que el modelo original. De la misma manera, Pooley (1999, pp. 5–18) identifica seis razones para emplear la ingeniería reversa:

- 1) Aprendizaje: porque muestra los conceptos que rigen el funcionamiento de un producto y todo lo que implica su diseño y fabricación.
- 2) Reparar un producto: cuando no se cuenta con los planos originales de la pieza, se usa las técnicas de IR para su restauración.
- 3) Proveer un servicio relacionado: el negocio de la IR no es diferente al de un detective, investigador criminal o trabajo de inteligencia.
- 4) Desarrollar un producto similar: la IR como fuente de información para planificar e implementar nuevos diseños.
- 5) Crear un clon del producto: reproducción exacta de una pieza original. Puede infringir los derechos de propiedad intelectual.
- 6) Mejorar un producto: la IR usa análisis científicos para comprender el *know-how* integrado en un producto para optimizarlo utilizando su estructura original.

Cada disciplina tiene una aplicación y definición diferente de la ingeniería inversa. De acuerdo a Vinesh y Kiran (2008, p. 26) los ingenieros de sistemas, por ejemplo, se refieren a la IR cuando hablan de determinar el algoritmo de un software al no poseer su código fuente y los ingenieros mecánicos lo

utilizan para descubrir el funcionamiento interno de una máquina al desamblar cada una de sus partes. En ambos casos, para el autor citado, el objetivo principal es “desarrollar un alto nivel de descripción de un sistema sin ningún conocimiento *a priori*”. En definitiva, la IR es “un importante medio para promover la competencia y fomentar la innovación” (Aplin, 2013, p. 341).

1.2.2 Aplicaciones de la Ingeniería Inversa.

La IR es multidisciplinaria y virtualmente puede aplicarse a cualquier campo. Es ampliamente usada en software y tecnologías de información, así como en la reconstrucción de eventos antes e inmediatamente después de un accidente en la industria de la aviación o automotriz. Otras áreas como arquitectura, sistemas médicos, ingeniería civil y arte, también usan la IR en diversas aplicaciones. Se muestra a continuación las diferentes aplicaciones de esta disciplina.

Ingeniería inversa para la ingeniería de software.

Debido a los largos y frecuentes ciclos de mantenimiento y evolución tecnológica, los softwares que fueron diseñados 10 o 15 años atrás se vuelven candidatos a la IR porque es mejor reusar los componentes y librerías existentes en lugar de desarrollar desde cero un nuevo software que aumente los costos y tiempos del proyecto, al menos que “los desarrolladores mantengan la comprensibilidad del código por refactorización” (Shepherd, Pollock, & Vijay-Shanker, 2007, p. 49).

La ingeniería inversa de software es definida como “el proceso de analizar un sistema para alcanzar un alto nivel de abstracción” (Chikofsky & Cross, 1990, p. 13). De la misma manera, Rasool y Philippow (2010, p. 307) manifiesta que “la ingeniería inversa puede extraer información de diseño de los códigos fuentes a un nivel alto de abstracción. Idealmente el nivel de abstracción debe ser el más alto posible”. En desarrollo de software, un nivel alto de abstracción se centra en el concepto y los requisitos mientras que el bajo nivel se enfoca en el diseño e implementación. Es así como, la ingeniería reversa realiza la transformación desde un nivel bajo a uno alto de abstracción mientras que la ingeniería directa ejecuta la transformación desde un nivel alto hacia uno bajo (Wang, 2011). La Figura 3 muestra los diferentes niveles de abstracción por bloques en el proceso de desarrollo de software.

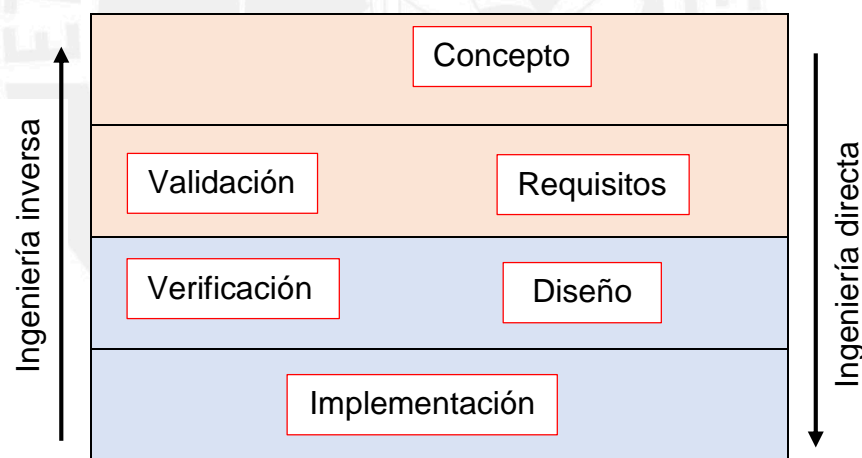


Figura 3. Niveles de abstracción en el desarrollo de software.

Fuente: Wang (2011, p. 19).

En definitiva, mientras el objetivo en aplicaciones de hardware es duplicar el sistema, el objetivo en el software es de obtener un mejor entendimiento para realizar mantenimientos, mejoras o reemplazar códigos.

Ingeniería inversa para el diseño de productos.

Cuando las funciones estructurales de un nuevo producto son definidas, el proceso de generación de soluciones empieza donde las funciones son usualmente listadas en una matriz morfológica (Montanha *et al.*, 2007). Las soluciones son propuestas para cada función del sistema, después de eso las funciones son combinadas generando el concepto del producto.

En el desarrollo de productos, la generación de conceptos es apuntada como esencial hacia la innovación. Sin embargo, tal fase no es eficazmente realizada por los proyectistas sea por la falta de capacitación o bien por falta de apoyo en el proceso (Montanha, 2011). Los proyectistas no son debidamente estimulados en el proceso de abstracción que facilita la superación de barreras en el proceso creativo y estimula la búsqueda de soluciones en diversos campos de conocimiento. El proceso de conceptualización demanda una significativa capacidad de abstracción y una precisa definición de las funciones. En favor de ayudar a la generación de principios de solución se hace uso de la ingeniería reversa en el proceso de desarrollo de productos tal como se muestra en la Figura 4.

La IR obtiene y analiza las informaciones técnicas de los productos competidores ayudando a la elaboración de sistemas técnicos innovadores. Además, asiste a la etapa de propuesta de principios de solución actuando de forma complementaria a los métodos de creatividad y a la experiencia de los diseñadores.

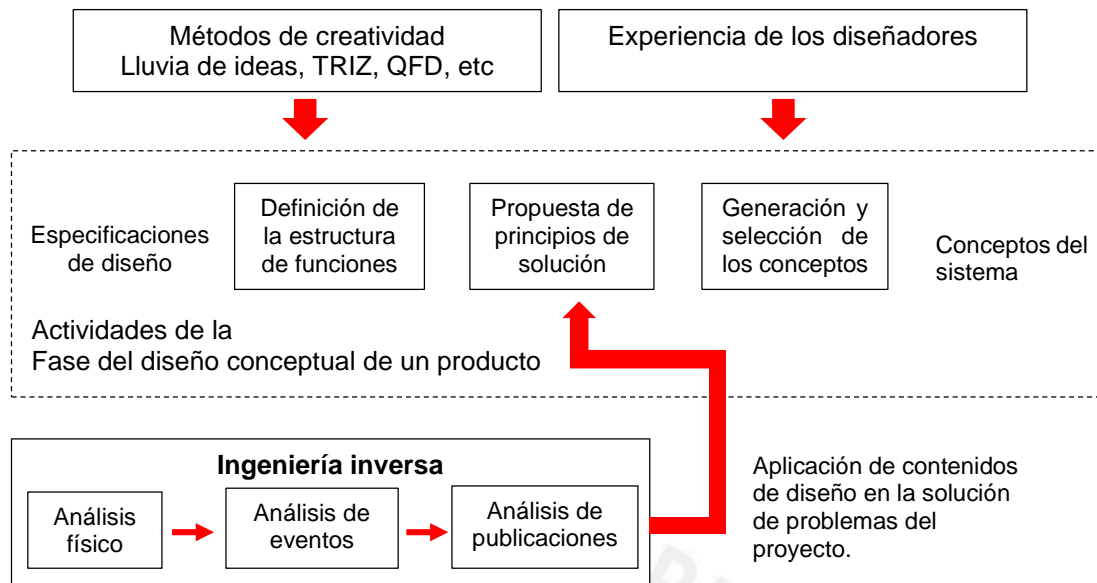


Figura 4. Ingeniería Inversa como instrumento de apoyo al proceso de desarrollo de soluciones de productos.

Fuente: Montanha (2011, p. 12)

Ingeniería inversa para la ingeniería mecánica.

En el caso donde los documentos técnicos de construcción no existan, las técnicas de IR son usadas por los ingenieros para la reconstrucción de piezas mecánicas (Weiss & Pankowski, 2007), donde las propiedades físicas son determinadas por la medición de sus dimensiones geométricas, tolerancias, procesos de construcción e identificación de materiales. De la misma manera, sí los dibujos técnicos no están disponibles en modelos CAD, estos se pueden construir a través de técnicas de ingeniería reversa. Por tal motivo, la IR se utiliza en este campo como una “metodología para elaborar modelos CAD por medio de digitalizar las partes existentes, creando un modelo computarizado para después utilizarlo en manufacturar el componente” (Chen & Ng, 1997, p. 481).

Según Wang (2011, p. 15) “la importancia de un proyecto de ingeniería reversa depende de la criticidad de la pieza mecánica, además de su costo-beneficio”. Una pieza es más crítica dependiendo de su uso en el proyecto por ejemplo, un tornillo será un componente menos crítico si se usa para sostener un tablero de control de unos pocos kilogramos. Sin embargo, un tornillo usado con pegamento para soportar un concreto de dos toneladas será un componente muy crítico. Dentro de esta perspectiva, el autor citado señala que el mejor candidato a la IR es a menudo determinado por la demanda del mercado de las piezas críticas; algo que ocurre muy a menudo en la industria de la aviación donde la exigencia en seguridad y precisión es alta.

Ingeniería inversa para la adaptación de tecnología.

De acuerdo a Merino y Sepúlveda (2010, p. 65) una empresa debe evaluar entre “comprar tecnología, desarrollar su propia tecnología o adaptar tecnología a la hora de realizar un cambio tecnológico”. Sin embargo, las pequeñas y medianas empresas presentan limitaciones financieras y la opción de importar tecnología o desarrollarlas se vuelven inviables. Por lo que se pueden conseguir equipos a buen precio y adaptarlos tecnológicamente para que puedan cumplir los objetivos de producción sin tener que realizar mayores cambios en los demás equipos y medios de producción.

Así es como la ingeniería inversa se puede utilizar como una de “las fuentes de información que ayuda a las adaptaciones técnicas y rediseños” (Montanha *et al.*, 2007, p. 26). En apoyo a este punto, cabe mencionar el planteamiento

de Tang, Zhu *et al.* (2010, p. 189) “la ingeniería reversa trata de realizar una recreación basada en el modelo funcional reconstruido. El producto recreado son innovaciones del producto original con otro diseño, características, propiedades o capacidades. Estos productos podrían ser adaptaciones del producto original para usarlos con otros sistemas integrados”. La duplicación es para prevenir no violar los derechos de propiedad intelectual que podría tener la tecnología original; además, la adaptación tecnológica es un proceso que se lleva a cabo en la mayoría de los casos al interior de las organizaciones, lo que permite que los empleados se vayan familiarizando con la tecnología mientras se produce el proceso de adaptación y se entrega a punto para producir.

1.2.3 Aspectos legales de la Ingeniería Inversa.

Diversos autores afirman que la ingeniería inversa es “un método legal y ético de replicación” (MIL-HDBK-115A, 2006, p. 14) con algunos requisitos previos y “cuyo impacto depende de cada pieza e industria en la que se aplique” (Wang, 2011, p. 285). De acuerdo a Aplin (2013) existen dos razones para realizar ingeniería inversa en una empresa. La primera se refiere al hecho de que el propietario del producto tiene el derecho de usarlo y disfrutarlo de acuerdo a sus necesidades; sin embargo cuando no es dueño, su uso dependerá de los acuerdos del contrato o licenciamiento los cuales podrían restringir ingeniería inversa. La segunda y más persuasiva razón tiene base económica porque permitir el uso de la ingeniería reversa, podría incentivar la

innovación y mejorar el estado de arte de la tecnología. De la misma manera, el Comando del Ejército de los Estados Unidos en Misiles y Aviación (2006, p. 14) manifiesta que la IR es apropiada cuando:

- a. El contrato no contiene ninguna cláusula explícita o implícitamente prohibiendo la IR.
- b. La empresa que realiza ingeniería inversa ha obtenido los datos que se encuentran en dominio público.
- c. Los ingenieros y técnicos envueltos en la examinación de las partes o preparación de los dibujos no tienen acceso a los datos del propietario.
- d. La empresa que realiza ingeniería inversa no tiene ningún empleado que haya trabajado en la empresa que ha fabricado la pieza original.
- e. El personal que realiza la ingeniería inversa no ha realizado ninguna visita a la planta de la pieza original.

Adicionalmente, las patentes y derechos de autor son los que comúnmente presentan problemas legales con la ingeniería reversa. Por un lado, “la IR y las patentes son mutuamente excluyentes uno del otro porque la mayoría de los datos técnicos de una patente de invención han sido divulgadas al público y no se necesita mucha ingeniería para descubrirlos” (Wang, 2011, p. 290). Además, el autor manifiesta que es recomendable hacer una consultoría legal antes de aplicar la información aprendida, a través de la ingeniería inversa, a la reinención de un producto similar o mejorado. En esa misma línea, Odagiri *et al.* (2010, p. 8) agregan que “los dueños de las patentes toman pocas acciones para prevenir la ingeniería inversa en países tecnológicamente

inferiores. Una vez que estos empiezan a ser visibles en el mercado, los dueños de patentes empiezan a estar atentos y tomar acciones”.

En el caso de los derechos de autor, la ingeniería inversa no viola estos derechos sí no se copia o réplica las expresiones que posee la pieza original, tal como lo expresa Wang (2011, p. 294) en el siguiente ejemplo: “realizar ingeniería reversa al capó de un tractor no podría infringir los derechos de autor, pero copiar la decoración o imagen del capó, sí lo podría hacer”. Además, el autor citado manifiesta que en el caso de licenciamientos por derechos de autor, es normal que existan cláusulas que prohíban la copia, modificaciones, exposición pública de la información y la ingeniería inversa durante un periodo específico.

Por otra parte, los secretos empresariales tampoco confieren el derecho exclusivo de impedir a terceros utilizar la tecnología de manera comercial sí llegaran a descubrir sus secretos a través de ingeniería inversa. En apoyo a este punto, cabe mencionar el planteamiento de Aplin (2013, p. 346) “sí la ingeniería inversa fuera prohibida en el caso de los secretos empresariales, la protección por patentes sería menos preferida y esto iría en contra de la política que subyace a estas leyes”.

Por último, es conveniente anotar algunos puntos claves para no incumplir los derechos de propiedad intelectual al realizar un proyecto ingeniería reversa (Wang, 2011; Odagiri *et al.*, 2010):

- Se debe realizar inicialmente una búsqueda exhaustiva e integral de derechos de propiedad intelectual para identificar algún riesgo potencial.
- “Modificar” o “mejorar” en lugar de “copiar” la pieza protegida por derechos de propiedad intelectual tanto como sea posible.
- Sí la patente contiene tres reivindicaciones entonces tratar de utilizar a lo mucho dos en la pieza de ingeniería inversa para reducir el riesgo de alguna infracción.
- Es siempre aconsejable consultar con abogados en propiedad intelectual en un proyecto de ingeniería reversa.

1.2.4 Proceso de Ingeniería Inversa.

La IR es realizada en la mayoría de las industrias de manera informal y esporádica, mucho más para copiar el producto original que para entender sus principios de funcionamiento (Montanha, 2011). De esta manera la empresa no mejora su capacidad de innovación porque depende de los avances tecnológicos de la competencia.

Wang (2011, p. 9) manifiesta que “no todos los proyectos de ingeniería inversa son exitosos” y uno de los errores comunes es debido a la inexistencia de un modelo estándar para este proceso, tal como indica Rasool *et al.* (2010, p. 308) “la IR es una actividad que consume tiempo y debería ser clara desde el inicio para compensar tiempos y costos”. Por tal motivo, Rekoff (1985,

p. 249) señala que es importante tener un método sistemático que provea un guía de trabajo para que los ingenieros “no se vayan por la tangente” y cumplan con los objetivos del proceso.

El proceso de IR se define de acuerdo a las necesidades, herramientas y fuentes de información disponibles con el objetivo de reducir el tiempo sobre todo cuando la pieza o producto original es de producción (Weiss & Pankowski, 2007). En tal sentido, diversos autores proponen metodologías sistemáticas de ingeniería inversa que conducen a un mejor entendimiento del producto y ejecución en tiempos reducidos.

Proceso de IR propuesto por Montanha

Según Montanha (2011), para obtener datos relevantes y comparables de un sistema técnico, el proceso de IR debe ser sistemático considerando aspectos legales y del ambiente comercial. Esto ayuda a entender el contexto de aplicación de las tecnologías analizadas ya que muchas empresas que realizan análisis de IR, se limitan solo a realizar el desmontaje para resolver problemas específicos. Por ello, indica que el proceso de IR puede ser realizado por tres tipos de análisis: análisis físico, análisis de eventos y análisis de publicaciones. Tal como se muestra en la Figura 5.

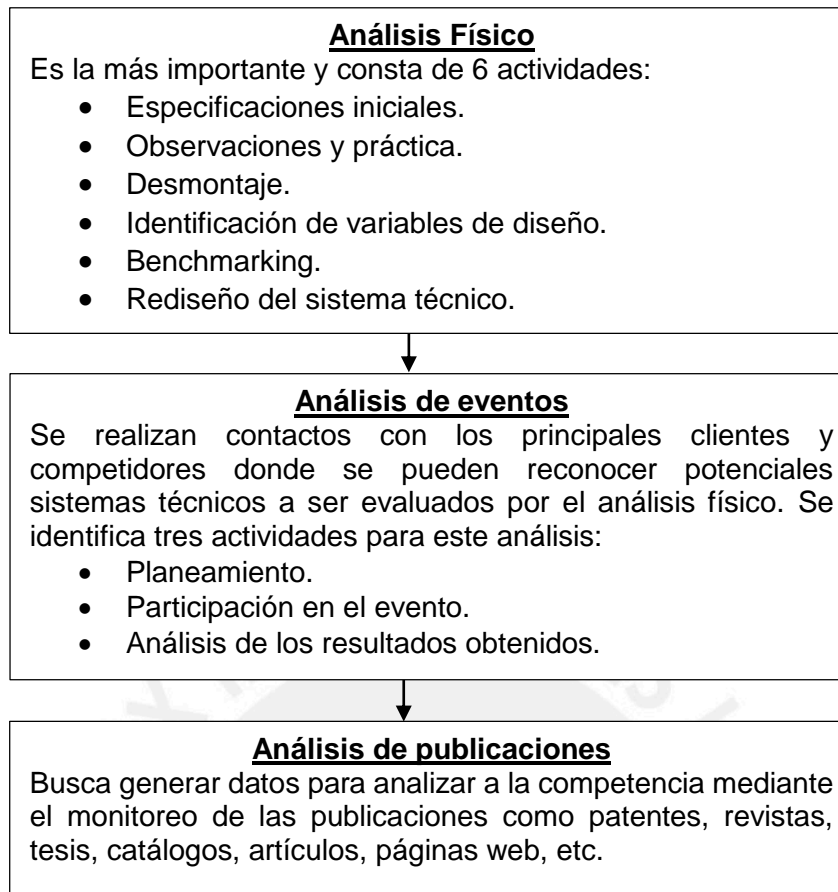


Figura 5. Proceso de Ingeniería Inversa propuesta por Montanha J.

Fuente: Montanha (2011)

Análisis físico

El análisis físico de un sistema técnico es el más importante entre las tres formas de análisis de IR porque involucra varias fases según el alcance del proyecto:

- a) Especificaciones iniciales: en esta primera fase se evalúa la solicitud de la organización en cuanto a los análisis de IR y sus aspectos legales. También son discutidas las especificaciones del diseño para evaluar lo que será realizado en la IR.

- b) Observaciones y práctica: las características del sistema técnico son clasificadas de acuerdo a los requisitos de rendimiento, manufactura y funcionamiento. En seguida, se dibuja un boceto y una descripción del mecanismo que realiza la función primaria. Luego, se opera el sistema técnico y se describe los puntos fuertes y débiles con el fin de caracterizar los elementos que serán optimizados.
- c) Desmontaje: el sistema técnico es desmontado con el objetivo de descubrir cómo los componentes se engranan para cumplir con la función principal del sistema. El autor plantea diferentes actividades en esta fase:
- i. Listar características: se trata de realizar una lista para ayudar en la formación de indicadores para el proceso de desmontaje. Por ejemplo: dimensiones, masa, materiales, color, acabado superficial, proceso de manufactura, geometría, tolerancias, funciones esenciales, costo del componente, etc.
 - ii. Preparación para el desmontaje: después de identificar los puntos a ser analizados, deben ser determinadas todas las herramientas necesarias para realizar el desmontaje incluyendo los equipos de medición.
 - iii. Evaluar la distribución e instalación del sistema técnico: también deben ser evaluados aspectos logísticos del sistema técnico en términos de adquirir repuestos, empaque, transporte y su distribución. Puede ser que el sistema tenga una buena calidad técnica pero sea deficiente en términos comerciales o logísticos.
 - iv. Desmontar, medir y analizar datos: el sistema técnico debe ser fotografiado y medido antes de ser desmontado. Además, se debe

- evitar las pruebas destructivas para garantizar que el sistema siga funcionando.
- v. Elaborar una lista de materiales (BOM): consiste en completar una lista sobre los detalles técnicos del sistema y guardarlo en una base de datos para que sirva de apoyo a nuevos proyectos.
- d) Identificación de las variables de diseño: esta fase está compuesta por seis actividades.
- i. Elaborar una lista de materiales con las funciones asociadas: se elabora una lista de materiales con todos los componentes y subensamblajes describiendo sus respectivas funciones en el sistema.
 - ii. Analizar los mecanismos y sus estructuras: son identificadas funciones generales y parciales (árbol de funciones), los mecanismos que satisfacen cada función (principios de solución) y el diagrama de flujo de fuerza y movimiento.
 - iii. Analizar la integridad estructural: analizar las interconexiones que permiten la realización de la función global representando las interfaces de unión entre el usuario y el sistema técnico, entre las partes y el montaje, y entre el sistema y su aplicación.
 - iv. Analizar los requisitos de rendimiento: define las relaciones entre los mecanismos, estructuras y el rendimiento del sistema técnico.
 - v. Generar las variables de diseño: identificar las variables de diseño y sus unidades para controlar el rendimiento de las funciones.

- vi. Analizar las variables de diseño: son creadas especificaciones técnicas para el sistema técnico como los valores de las variables de diseño.
- e) Benchmarking: se realiza un análisis comparativo de los datos obtenidos con otros sistemas técnicos analizados. Busca identificar elementos de diseño que puedan ser aprovechados en el proyecto de la organización. Se destacan los puntos fuertes y las debilidades de los sistemas para priorizar los esfuerzos de desarrollo en los elementos del sistema técnico con mayor valor agregado pues tendrán mayores probabilidades de aumentar el atractivo del sistema técnico en el mercado.
- f) Rediseño del sistema técnico: en esta última fase son creadas variaciones (conceptos alternativos) del sistema técnico que realicen la misma función global. Para esto, son realizadas las actividades típicas de diseño: desarrollar especificaciones, describir conceptos del sistema técnico y realizar el diseño preliminar detallado.

Análisis de eventos

De manera complementaria al análisis físico, se puede realizar el análisis de eventos donde se caracterizan los principales sistemas técnicos de los mercados donde la organización pretender actuar. En estos eventos se realizan contactos con los principales clientes de los sistemas técnicos en desarrollo y se identifican los competidores con sus productos en donde se pueden reconocer potenciales sistemas técnicos a ser evaluados por el análisis físico. En términos de procedimientos, el autor identifica tres etapas

para este análisis: planeamiento, participación en el evento y análisis de los resultados obtenidos.

Análisis de publicaciones

Busca generar datos para analizar a la competencia mediante el monitoreo de las publicaciones como patentes, revistas, tesis, catálogos, artículos, páginas web, etc. Además, se pueden realizar estudios como prospección tecnológica (tendencias de tecnología), monitoreo tecnológica (evolución de una tecnología a lo largo del tiempo), diseminación tecnológica (estudio del estado de arte de una determinada tecnología) y radiografía tecnológica (estudio de una tecnología en un determinado periodo).

Proceso de IR propuesto por Otto y Wood

De acuerdo con Otto y Wood (1998), el proceso de IR presenta dos partes. Primero, el producto debe ser tratado como una caja negra acumulando experiencia sobre sus parámetros de operación, estudiando al sistema considerando las necesidades del consumidor e hipotetizando su funcionalidad, componentes y principios físicos. La segunda parte consta de experimentar con el producto en funcionalidad y forma. Esta incluye el desmontaje total del producto, análisis de manufactura, análisis funcional y la generación de las especificaciones finales de diseño. Ambas partes se muestran en la Figura 6 con sus respectivas características.

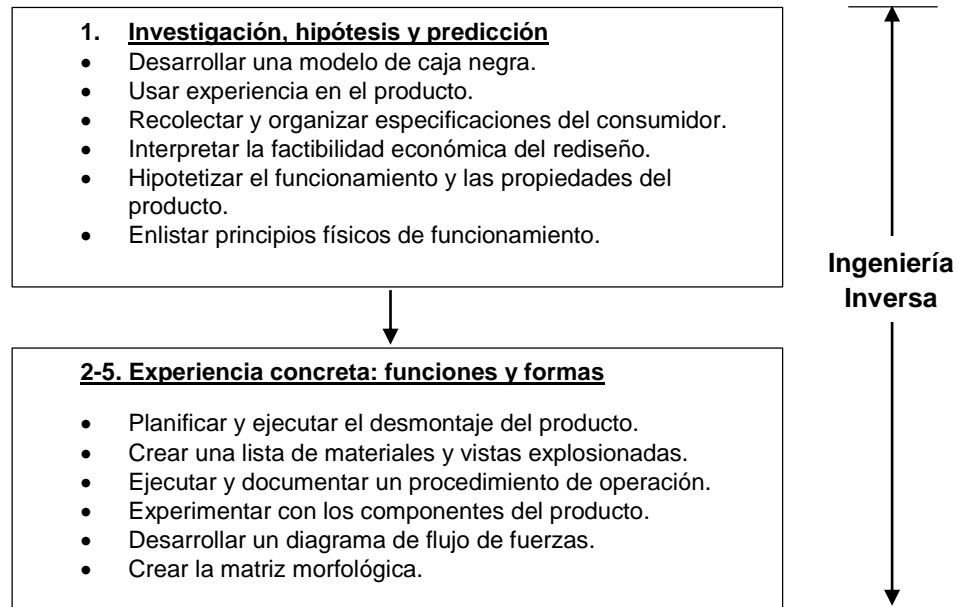


Figura 6. Proceso de Ingeniería Inversa propuesta por Otto y Wood

Fuente: Otto y Wood (1998, p. 228)

Paso 1: investigación, hipótesis y predicción

Dos objetivos principales se encuentran intrínsecos en el primer paso del proceso: aclarar el dominio del producto desarrollando una rigurosa búsqueda de las necesidades del consumidor y tratar al producto como una caja negra creando una hipótesis sobre su funcionamiento interno y las características del producto (principios de solución). Las actividades presentes en este paso son las siguientes:

1. Modelado de la caja negra: se empieza el proceso de IR creando un modelo de caja negra sobre el producto a analizar identificando las entradas y salidas de flujo de material, energía y señales. La intención es entender la función global del producto con muy poco de conocimiento de sus componentes internos.

2. Análisis de las necesidades de los consumidores: basado en el modelo de la caja negra, las necesidades de los consumidores sobre el producto son recolectadas y organizadas realizando entrevistas con una apropiada muestra de clientes.
3. Predicción de las funciones: este análisis incluye el desarrollo de un proceso de descripción y formación de la función estructural. Una importante herramienta para analizar la función del producto es especificar el proceso por el cual el producto será implementado funcionalmente.
4. Modelado funcional: el primer paso es identificar grandes flujos asociados con las necesidades de los consumidores. Un “flujo” es un fenómeno físico intrínseco al funcionamiento del producto o sub-función por ejemplo en el caso de convertir la electricidad para calentar comida en una sartén, los tres flujos críticos son la energía eléctrica de entrada, la energía calorífica producida por la conversión y los alimentos en la sartén. Luego, por cada uno de los flujos, se debe identificar una secuencia de sub-funciones que conectadas representan la hipotética función del producto. Una secuencia de funciones para el flujo de energía podría ser: convertir electricidad en radiación, recipiente de calor, conducir calor, regular calor, color en el alimento, etc.

En resumen, en el primer paso de la metodología se provee de investigaciones, hipótesis y predicciones para una evaluación exitosa del producto.

Paso 2: desmontaje y experimentación

En este paso, la arquitectura del producto debe ser entendida en detalle y las necesidades del consumidor deben ser comparadas con las funcionalidades del mismo. Las actividades presentes en este paso son las siguientes:

1. Desmontaje del producto: se realiza una actividad de desmontaje enlistando el orden, componente o subensamblaje a ser removido, uso de los componentes, dirección de acceso y las orientaciones de los componentes. Se debe construir una lista de materiales y vista explosiva.
2. Experimentación: la actividad final del segundo paso es experimentar con el producto, subensamblajes y componentes.

Paso 3: análisis funcional

El desmontaje del producto provee información relacionada a la función del componente, parámetros físicos, procesos de manufactura y una comprensión intuitiva del producto. Estos resultados deben ser abstraídos a un nivel de necesidades del cliente, desarrollado en el paso 1. Para realizar esto, el equipo del proyecto puede identificar y clasificar áreas de interés para las mejoras del producto. El análisis funcional es el instrumento clave para la construcción de la abstracción. Este paso implica dos tareas: la primera es realizar un diagrama de flujo de energía que representa la transferencia de energía a través de los componentes del producto y la segunda es la elaboración de la función estructural del mismo. Los autores manifiestan que estas dos tareas ayudan al equipo del proyecto a entender diferentes principios físicos en la cual el producto podría operar.

Paso 4: análisis funcional

Desmontaje del producto y análisis funcional detallan el diseño global del producto. Con estos datos, mejoras en el diseño del producto pueden ser realizados conociendo ensamblajes, subensamblajes o componentes. Sin embargo, las restricciones entre los componentes del producto deben ser también entendidos para que la propagación de los cambios de diseño puedan ser propiamente previstas. Las actividades presentes en este paso son las siguientes:

1. Análisis morfológico: la primera tarea es crear una matriz morfológica de los principios de solución (componentes) para las funciones importantes. Cada fila de la matriz corresponde a una función del paso 3 y cada columna representa un principio de solución.
2. Intercambio de funciones y compatibilidad: el equipo de diseño puede intercambiar funciones explorando la matriz morfológica. A través de esta exploración es posible planear cambios en el diseño sin alterar los requerimientos funcionales. Del mismo modo, la compatibilidad de los componentes se puede analizar mediante la disección de cada interfaz crítica entre los componentes para identificar sus grados de libertad, direcciones de acceso, movimiento relativo con otros componentes y tolerancias.

Paso 5: formulación de especificaciones de ingeniería

El último paso de la ingeniería inversa implica la formulación de especificaciones, benchmarking y la selección del producto que será mejorado. Primero, se define objetivos cuantitativos para el producto. Al tener

organizado y establecido las necesidades del consumidor y la función estructural del producto, cada subfunción debe ser asociados al menos con un ítem de una matriz QFD, donde cada especificación debe ser cuantificable y medible. Después, para establecer el conjunto de especificaciones de ingeniería, el equipo del proyecto debe empezar enlistando cada subfunción como filas de una matriz. Para cada subfunción, se debe considerar un medio para medir las entradas y salidas. Estas mediciones deben ser enlistadas para cada fila en la matriz. Después de estas tareas, los resultados deben ser trasladados a la matriz QFD formando las especificaciones cuantificadas con enlaces directos a las necesidades de los consumidores.

La información obtenida por este proceso puede usarse como complemento para otros proyectos de la organización. Otto y Wood (2001) sugieren tres tipos de reprojeto: paramétrico (modificar los parámetros de los datos técnicos del producto), adaptativo (adaptar algunas soluciones técnicas al producto) y reprojeto original (son consideradas nuevas funciones y soluciones en el producto).

Proceso de IR propuesto por Rekoﬀ

Según Rekoﬀ (1985), el proceso de ingeniería inversa puede ser descrito por cinco pasos consecutivos: asimilación de datos existentes; identificación de elementos; desmontaje; análisis, testeó y dimensiones; y por último la documentación.

Paso 1: Asimilación de datos existentes:

El objetivo de la asimilación de datos existentes es proveer una comprensión global del producto y la función que realiza en el esquema general de las cosas. Se tiene una gran variedad de información, algunas documentadas y otras no, que pueden agilizar en establecer las especificaciones funcionales y dimensionales del producto.

Paso 2: Identificación de elementos

El objetivo de este paso es realizar postulaciones de cómo el producto es reducido en sus elementos de manera que pueda ser definido en gran detalle. Según el autor, este paso es una acción que se realiza en la ingeniería de sistemas donde uno establece un concepto de diseño que será usado como guía el desmontaje.

Paso 3: Desmontaje

El objetivo del desmontaje es aislar los elementos del producto, identificar las interconexiones entre ellos y establecer las interfaces entre los elementos y el exterior del producto. En este paso se debe realizar las siguientes actividades: observar la función mecánica de cada elemento, fotografiar aspectos significantes y realizar grabaciones de los procedimientos de desmontaje.

Paso 4: Analizar, probar y dimensión

El objetivo de este paso es establecer las especificaciones del producto en términos de cada elemento. Se usa la información obtenida por el desmontaje para verificar, modificar o corregir las postulaciones hechas en el segundo paso. Además, se establece las características externas de cada elemento para determinar por ejemplo, las propiedades de los materiales.

Paso 5: Documentación.

El objetivo de la documentación es formalizar las especificaciones de cada elemento del producto que ha sido examinado. Es útil preparar una vista explosiva del producto en términos de sus elementos y describir brevemente la secuencia del desmontaje. Asimismo, se debe prestar atención a alguna función, operación, configuración, material o método especial que posea dicho producto.

1.3 Modelo de Ingeniería Inversa.

En base a la teoría mostrada, se escoge un modelo de ingeniería inversa para evaluar a la empresa BBA según la metodología de la investigación. Tal como se muestra en la Figura 7, este modelo inicia con el ingreso de una tecnología clave, según la clasificación de Escorsa y Valls (2003), porque ofrecen ventajas competitivas a las industrias por su mayor calidad o prestaciones

superiores; por ello, son más preferidas por los gerentes de producción para realizarles ingeniería inversa.

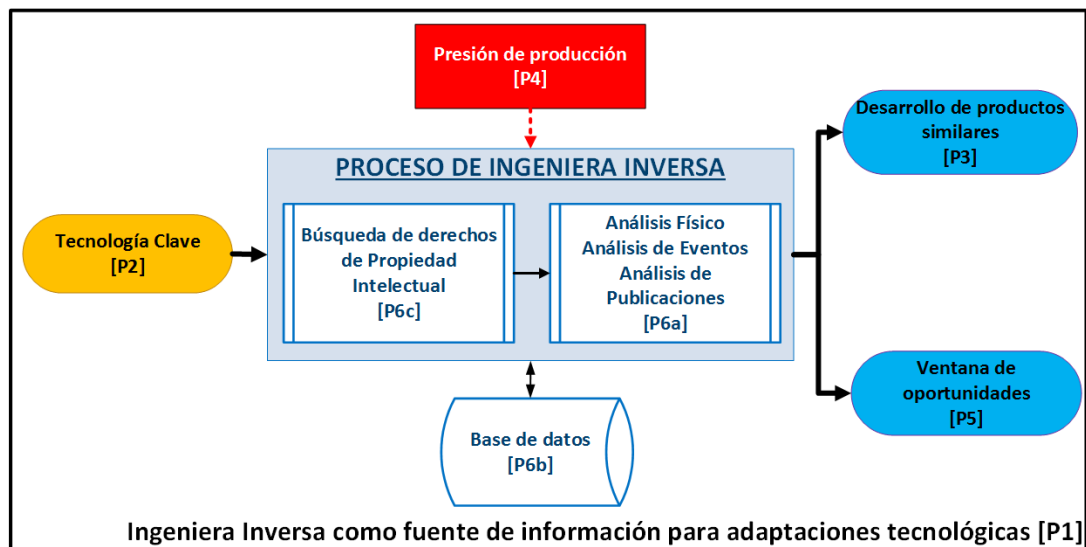


Figura 7. Modelo de Ingeniería Inversa.

Fuente: Escorsa *et al.* (2003), Montanha (2011), Montanha *et al.* (2007), Wang (2011), Odagiri *et al.* (2010), Pooley (1999), Leonard-Barton (1988) y Tyre *et al.* (1994).

Luego, se empieza a ejecutar el proceso de ingeniería inversa que consta de tres subprocesos: análisis de ingeniería inversa (físico, de eventos y de publicaciones) propuesto por Montanha (2011); el almacenamiento de los resultados de la ingeniería inversa en una base de datos, también, planteado por el autor citado y; por último, la búsqueda de derechos de propiedad intelectual formulado por Wang (2011) y Odagiri *et al.* (2010). Simultáneamente, la presión de producción afecta al proceso porque conspira en acelerar las tecnologías antes de que sus desarrolladores hayan solucionado todos los problemas, tal como lo manifiestan Tyre *et al.* (1994) y Leonard-Barton (1988).

Para finalizar el modelo, se tiene como desenlace el desarrollo de productos similares, expresado por Pooley (1999) como una de las razones de la ingeniería inversa; y el origen de nuevas ventanas de oportunidades para seguir adaptando la tecnología evaluada al contexto o ambiente de la empresa (Tyre & Orlikowski, 1994) como consecuencia de los nuevos descubrimientos a partir a la ingeniería inversa. De esta manera, se observa que la ingeniería inversa puede ser aplicada para realizar adaptaciones de tecnologías como una “fuente de información” (Montanha *et al.*, 2007, p. 26) para luego realizar recreaciones basadas en diseños originales de tecnologías claves.



CAPITULO 2: ESTUDIO DE CASO

2.1 Metodología

La presente investigación utilizó la metodología de estudio de caso de tipo descriptivo y explicativo con un enfoque interpretativo de un único caso siguiendo los planteamientos de Yin (2009). Un estudio de caso es una investigación empírica que estudia un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto real (Cooper & Schindler, 2014) cuyo objetivo es expandir y generalizar teorías utilizando múltiples fuentes de evidencia obteniendo una percepción más completa del objeto de estudio. De acuerdo con lo establecido por Yin (2009), el diseño de un estudio de caso consiste en ligar los datos recolectados con las preguntas iniciales del estudio mediante seis componentes: preguntas de investigación, proposiciones de investigación, unidad de análisis, estrategia de análisis, la lógica que une los datos a las proposiciones y el criterio para interpretar los resultados. A continuación, se describirá cada uno de los componentes de la presente investigación tal como se muestra de manera sintetizada en la Tabla 3.

Pregunta de investigación

Las preguntas de investigación utilizadas en este estudio fueron de tipo ¿Cómo? y ¿Por qué?, es decir, preguntas de tipo descriptivo y explicativo. La pregunta general de la investigación fue: ¿Cómo y por qué la empresa BBA realiza ingeniería inversa?

Proposiciones de la investigación

P1: la ingeniería inversa se puede utilizar como una fuente de información para realizar adaptación tecnológica.

Retomando lo mencionado en el marco teórico, la ingeniería inversa puede ser aplicada para realizar adaptaciones de tecnología como “fuente de información” (Montanha *et al.*, 2007, p. 26) para luego realizar recreaciones basada en el modelo funcional reconstruido que podrían ser “innovaciones del producto original pero con otro diseño, características o propiedades” (Tang *et al.*, 2010, p. 189). ”. La recreación es para evitar no violar los derechos de propiedad intelectual que podría tener la tecnología original.

P2: a las tecnologías claves se les realiza más ingeniería inversa que a las tecnologías básicas.

A partir de la clasificación de la tecnología por parte de Arthur D. Little citado por Escorsa y Valls (2003) mostradas en la Tabla 1, las tecnológicas claves son las tecnologías del momento esenciales para competir en el mercado. Por tal razón, las empresas apuntan a realizar ingeniería inversa a este tipo de tecnologías porque les permiten diferenciarse de otras y tienen un impacto más grande sobre la competitividad de su producto.

P3: se desarrollan máquinas similares después de cada proceso de ingeniería inversa.

Sobre la base de lo mencionado en el marco teórico, una de las razones para utilizar ingeniería inversa según Pooley (1999, pp. 5–18) es el “desarrollo de productos similares”, es decir, que se emplea como una fuente de información para planificar e implementar nuevos diseños tratando de evitar infracciones de derechos de propiedad intelectual.

P4: la presión de producción acelera el proceso de ingeniería inversa por falta de productividad.

Tyre *et al.* (1994) indican al respecto que una de las grandes fuerzas que impide seguir modificando las tecnológicas es la presión de producción que “conspira en colocar las mismas fuera del nido antes de que realmente puedan volar, es decir, antes de que sus desarrolladores hayan solucionado todos los problemas” (Leonard-Barton, 1988, p. 255) aun cuando estos desean seguir mejorándolo, sienten que no pueden debido a la presión externa. De igual manera, Rogers (1983, p. 364) afirma que cuando las organizaciones tratan de “acelerar la implementación de la innovación (...) pueden tener resultados desastrosos”, mientras que Hage y Aiken (1970, p. 106) manifiestan que “a más tiempo la elite (la gerencia) permita el periodo de prueba y error, mayores son las probabilidades de que el nuevo sistema cumpla sus objetivos”; es por esto que, es esencial desde un comienzo establecer los pasos a seguir en el proceso de ingeniería inversa para evitar perder tiempo, energía y recursos.

P5: el proceso de ingeniería inversa genera nuevas adaptaciones en las máquinas originales.

Como se señaló en el marco teórico, el modelo de adaptación tecnológica propuesto por Tyre *et al.* (1994) muestran un proceso altamente discontinuo sobre todo en la introducción de la tecnología porque provee limitadas pero valorables “windows of opportunity” (ventanas de oportunidad) para explorar y modificar la nueva adquisición; además, agrega que pueden aparecer eventos inesperados que pueden provocar nuevos esfuerzos de actividad adaptativa que son de limitada duración pero pueden conducir a nuevos descubrimientos por parte de los usuarios. Estos eventos puede ser generados por el proceso de ingeniería inversa porque hace uso de análisis científicos para entender el “know-how” de un producto y luego poder realizar ajustes o cambios a la misma para que se adapten al contexto del usuario (Wang, 2011).

P6a: los análisis físicos, de eventos y de publicaciones se ejecutan de diferente manera en cada proyecto.

El proceso de ingeniería inversa propuesto por Montanha (2011) consta de tres tipos de análisis: análisis físico del sistema técnico, análisis de eventos especializados en los temas de interés y el análisis de publicaciones. El análisis físico es una de las principales fuentes de información por ser la más completa ya que consta de las siguientes actividades: especificaciones iniciales, observación y práctica, desmontaje, identificación de variables de diseño, benchmarking y rediseño. En cambio, el análisis de eventos y

publicaciones son solo complementarias pero también presentan actividades tal como se muestra en la Figura 5.

P6b: se mantienen todos los proyectos de ingeniería inversa almacenados en la base de proyectos del área.

Como recomienda Montanha (2011), la base de datos complementa y apoya a los proyectistas, pues permite el almacenamiento de los resultados obtenidos en el proceso de ingeniería inversa para avalar futuros proyectos. Asimismo, admite la comparación de funciones similares y el registro de principios de solución de otros sistemas analizados.

P6c: la empresa ha tenido problemas de propiedad intelectual por no haber realizado búsquedas previas en el proceso de ingeniería inversa.

Diversos autores manifiestan que es recomendable hacer una revisión de los derechos de propiedad intelectual antes de aplicar alguna información aprendida, a través de la ingeniería inversa, a la reinención de un producto similar o mejorado (Wang, 2011) (Odagiri *et al.*, 2010).

Unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación fue la ingeniería inversa en el Área de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa BBA desde su fundación hasta el año 2015. BBA es una gran empresa peruana manufacturera de plásticos con más de 50 años en el mercado peruano.

Estrategia de análisis

La mejor preparación para conducir el análisis de un estudio de caso es tener una estrategia analítica general. Esta investigación utilizó proposiciones teóricas que ayudan a dirigir la atención en datos específicos, además, es útil utilizarlo con preguntas de investigación de tipo ¿Cómo? y ¿Por qué?

Lógica que une los datos a las proposiciones

Se trata de técnicas analíticas que asocian los datos recolectados con las proposiciones de investigación con el objetivo de apoyar en la explicación del fenómeno que se pretende estudiar. Se utilizó la técnica coincidencia de patrones que compara patrones empíricos con predicciones establecidas, construcción de explicaciones y análisis cruzado con proyectos de ingeniería inversa. Veintiocho proyectos involucran el diseño y desarrollo de tecnologías propias desarrollada por la empresa BBA, quince de estos proyectos fueron desarrollados por medio de ingeniería directa y 13 por ingeniería inversa. Debido a la pérdida de datos en 3 casos, 10 proyectos de ingeniería inversa fueron incluidos en la muestra. Los proyectos fueron seleccionados según tres criterios:

1. Los proyectos fueron desarrollados desde la fecha de fundación de la compañía hasta el año 2015.
2. Las tecnologías, que se desarrollaron en los proyectos, alteraron y mejoraron el trabajo de la compañía.
3. Los empleados, que participaron en los proyectos, aún se encontraban laborando en la empresa.

Los proyectos fueron estudiados utilizando entrevistas semi-estructuradas y datos históricos recolectados a partir de documentos y manuales de la compañía. Descripciones y experiencias fueron obtenidos a través de retrospectiva realizando entrevistas a 21 colaboradores que construyeron o se relacionaron directamente con los proyectos de estudio, entre estos se encuentran:

- a. Los diseñadores: ingenieros y técnicos pertenecientes al Área de Ingeniería y Mantenimiento responsables de las decisiones de diseño, construcción de planos y selección de materiales para la construcción de las máquinas por ingeniería directa o inversa.
- b. Los ejecutores: técnicos pertenecientes al Área de Ingeniería y Mantenimiento responsables de la construcción, montaje, desmontaje e instalación de las máquinas desarrolladas por ingeniería directa o inversa.
- c. Los usuarios: ingenieros y supervisores pertenecientes al Área de Producción responsables del cumplimiento de los tiempos de producción y operación de las máquinas.
- d. Los gerentes: se entrevistó al Gerente de Ingeniería y Mantenimiento y al Gerente General para conocer si este proceso es parte de una estrategia tecnológica.

Las preguntas de las entrevistas fueron formuladas tomando en consideración la clasificación anterior, tal como se muestra en la Tabla 2. Evidentemente, se realizó cuatro entrevistas de validación para poseer respuestas útiles para la investigación.

Tabla 2. Preguntas realizadas en las entrevistas según clasificación de colaboradores.

Empleados	Identificación	Preguntas
DISEÑADORES	<i>Técnico diseñador 1</i>	¿Cómo? Enfocado en la proceso de RE
	<i>Técnico diseñador 2</i>	
	<i>Técnico diseñador 3</i>	
	<i>Ingeniero diseñador 1</i>	
	<i>Ingeniero diseñador 2</i>	
EJECUTORES	<i>Técnico ejecutor 1</i>	¿Cómo? Enfocado en la construcción, instalación y uso de los datos de RE
	<i>Técnico ejecutor 2</i>	
	<i>Técnico ejecutor 3</i>	
	<i>Técnico ejecutor 4</i>	
	<i>Técnico ejecutor 5</i>	
	<i>Técnico ejecutor 6</i>	
	<i>Técnico ejecutor 7</i>	
	<i>Técnico ejecutor 8</i>	
	<i>Técnico ejecutor 9</i>	
USUARIOS	<i>Usuario producción 1</i>	¿Cómo? Enfocado en los problemas que tuvo la máquina en la adaptación
	<i>Usuario producción 2</i>	
	<i>Usuario producción 3</i>	
	<i>Usuario producción 4</i>	
	<i>Usuario producción 5</i>	
GERENTES	<i>Gerente del Área de Ingeniería y Mantenimiento</i>	¿Por qué? Enfocado a conocer si es una estrategia.
	<i>Gerente General</i>	

Criterio para interpretar los resultados

Los resultados permiten una explicación de las razones por las que se utiliza ingeniería inversa en la empresa BBA, además, de describir cómo la realizan. Sin embargo, la explicación se realizó totalmente a través de datos cualitativos mostrando cómo se buscó usar toda la evidencia posible para evitar ser vulnerable a interpretaciones alternativas basadas en evidencias ignoradas. El análisis abordó los aspectos más significantes del estudio de caso y la experiencia profesional en ingeniería inversa del investigador.

Tabla 3. Componentes del estudio de caso.

Pregunta de investigación	¿Cómo y por qué la empresa BBA realiza ingeniería inversa?
Metodología de investigación	Estudio de caso simple, descriptivo y explicativo.
Proposiciones	<ul style="list-style-type: none"> - P1: la ingeniería inversa se puede utilizar como una fuente de información para realizar adaptación tecnológica. - P2: a las tecnologías claves se les realiza más ingeniería inversa que a las tecnologías básicas. - P3: se desarrollan máquinas similares después de cada proceso de ingeniería inversa. - P4: la presión de producción acelera el proceso de ingeniería inversa por falta de productividad. - P5: el proceso de ingeniería inversa genera nuevas adaptaciones en las máquinas originales. - P6a: Los análisis físicos, de eventos y de publicaciones se ejecutan de diferente manera en cada proyecto. - P6b: se mantienen todos los proyectos de ingeniería inversa almacenados en la base de proyectos del área. - P6c: La empresa ha tenido problemas de propiedad intelectual por no haber realizado búsquedas previas en el proceso de ingeniería inversa.
Unidad de análisis	La ingeniería inversa en el Área de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa BBA desde su fundación hasta el año 2015.
Estrategia de análisis	Proposiciones teóricas.
Lógica que une los datos a las proposiciones	<p>Coincidencia de patrones. Construcción de explicaciones. Análisis cruzado.</p>
Muestra	10 proyectos de Ingeniería Inversa.
Informantes	21 participantes entre diseñadores, ejecutores, usuarios y gerentes.
Método	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas semi-estructuradas. • Revisión de documento de la compañía.
Periodo de tiempo	Retrospectiva.
Criterio para interpretar los resultados	Uso de toda la evidencia recolectada con énfasis en los aspectos más significantes del caso y la experiencia profesional en ingeniería inversa del investigador.

2.2 Descripción de la organización.

La empresa BBA se dedica a la producción de plásticos derivados del Policloruro de Vinilo (PVC) y Tereftalato de polietileno (PET); y a la comercialización de tecnología y servicios integrales para el sector industrial. En la actualidad se ubica dentro de las 40 empresas más importantes del sector plástico del Perú (APIPLAST, 2014) con un procesamiento anual de 4,000 toneladas, una fuerza laboral superior a los 900 colaboradores y más características mostradas en la Tabla 4.

Fue fundada en junio de 1959 empezando con una extrusora y con sólo 3 ayudantes para la elaboración de Film Rígido Cristal. En 1962, desarrollaron las mangas para Shampoo y su producto estrella de forro de cuadernos dándoles muy buenos frutos y satisfacciones. Siempre inquietos y con deseos de superación, iniciaron el moldeo rotacional con la fabricación de pelotas de plástico; para posteriormente, en 1971 ser una industria con 30 trabajadores. Debido a las necesidades del mercado nacional, a inicios de la década de 1990 crearon la División de Envases y Embalaje, con lo que iniciaron la fabricación de frascos y envases de plástico. Poco después, en 1994, surge la División de Soluciones Tecnológicas con el objetivo de brindar alternativas específicas, dirigidas a optimizar los procesos de negocios de sus clientes.

En la actualidad, posee dos plantas ubicadas en la ciudad de Lima y una en la Provincia Constitucional del Callao. Su visión es ser una empresa capaz de

descubrir y entender las necesidades presentes y futuras del mercado global, para convertirlas en productos y servicios que los posicionen como la opción preferida de sus clientes. Con respecto a su misión, es ser cada día mejores:

- Con sus clientes: Desarrollando relaciones de largo plazo, satisfaciendo sus necesidades y generando nuevas oportunidades de negocio con productos y servicios competitivos de calidad.
- Con sus proveedores: Ganándose el privilegio de ser considerados clientes preferentes, accediendo a las mejores condiciones del mercado.
- Con sus accionistas: Trabajando con profesionalismo, creatividad, integridad y entusiasmo para incrementar el valor del negocio.
- Con ellos mismos: Trabajando en equipo y propiciando un clima laboral que aliente nuestro desarrollo integral, buscando la excelencia y permitiéndonos alcanzar mejores niveles de vida.
- Con la sociedad: Contribuyendo con el desarrollo del Perú, proyectando nuestros valores y asumiendo a cabalidad sus obligaciones y responsabilidades.

Tabla 4. Características de la empresa BBA.

Sector Industrial	Plásticos
Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU)	22
Año de Fundación	1959
Plantas industriales	3 Plantas ubicadas en Lima y Callao - Perú.
Materias primas	<ul style="list-style-type: none"> • PVC. • Resina PET. • DOP. • Plastificantes
Número de colaboradores	900 colaboradores
Líneas de negocio	<ul style="list-style-type: none"> • Envase y embalaje. • Balones. • Útiles escolares y de oficina. • Soluciones Tecnológicas.
Marcas importantes	<ul style="list-style-type: none"> • Pelotas de plástico. • Forros para cuadernos.
Procesos tecnológicos	Equipos de producción: <ul style="list-style-type: none"> • Inyectoras. • Extrusoras. • Hornos. • Enrolladoras de plásticos.
Exportaciones (Valor FOB US\$ 2013)	2,070,134.1

2.3 Descripción de la parte de estudio.

El estudio se realizó en el Área de Ingeniería y Mantenimiento que consta de tres departamentos: mantenimiento, matricería y proyectos de ingeniería; y 30 colaboradores entre ingenieros y técnicos especializados en mecánica, electricidad, maestranza y matricería; distribuidos en el organigrama que se muestra en la Figura 8. Asimismo, trabajan en un solo turno para encargarse de las necesidades técnicas de todas las plantas industriales que posee la empresa BBA cumpliendo con las siguientes funciones:

- Planear y programar en forma conveniente la labor de mantenimiento en toda la fábrica.
- Conservar, reparar y revisar la maquinaria, equipo de producción, herramientas eléctricas y equipo para el manejo de materiales; manteniendo todas las unidades respectivas en buen estado de funcionamiento.
- Disponer la relevación de máquinas, equipo en general, carro montacargas y tractores del trabajo de producción para realizar las labores de mantenimiento planeadas.
- Conservar y reparar locales, instalaciones, mobiliario y equipos de oficina.
- Instalar, redistribuir o retirar maquinaria y equipo, con miras a facilitar la producción.
- Revisar las especificaciones estipuladas para la compra de nueva maquinaria, equipo y procesos.

- Juntar, seleccionar y deshacerse de desperdicios, combustibles, metales y material que pueda volverse a utilizar.
- Solicitar herramientas, accesorios, piezas especiales de repuesto para máquinas y todo el equipo necesario para efectuar con éxito la función de mantenimiento.
- Diseñar, construir y realizar el mantenimiento necesario a las matrices que se utilizan en el proceso de inyección.
- Planificar, diseñar y construir nuevas máquinas, a través de ingeniería directa o inversa, para la mejora continua en procesos de producción de la empresa.

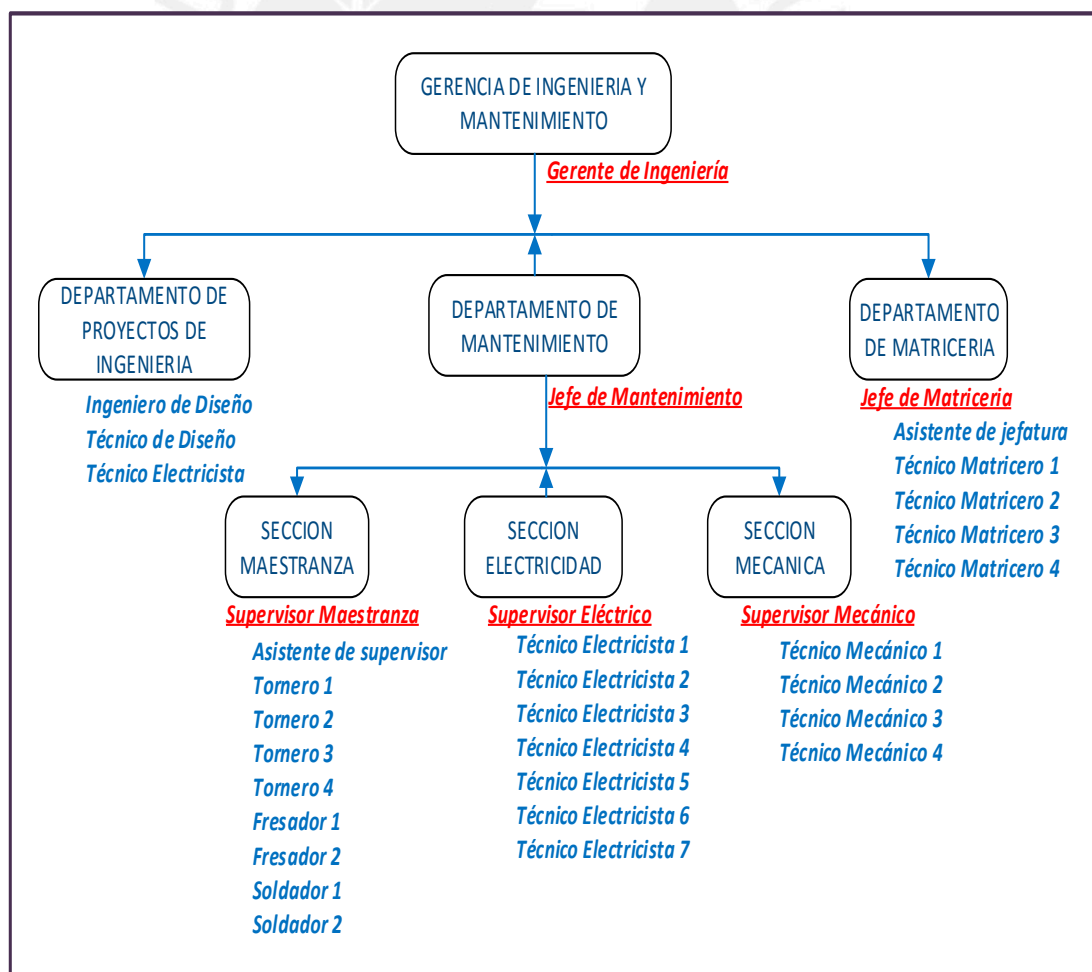


Figura 8. Organigrama del Área de Ingeniería y Mantenimiento.

Gracias a las diversas tecnologías que han adquirido a lo largo de los años como tornos convencionales, fresadoras convencionales, prensas hidráulicas, máquinas de soldar, corte por plasma, centro de torneado, centro de mecanizado y softwares CAD/CAM; sumado con las capacidades técnicas y absortivas de sus ingenieros y técnicos, el Área de Ingeniería y Mantenimiento ha venido desarrollando sus propias máquinas de producción a través de la ingeniería directa o inversa, al mismo tiempo que adquiría bienes de capital nacional o del extranjero. Como se observa en la Figura 9, el 40% de los proyectos que involucraron la creación de máquinas de producción han sido desarrollados usando ingeniería inversa con el objetivo de crear otras máquinas de acuerdo con las necesidades del área de producción. Este porcentaje corresponde a 13 proyectos, sin embargo, solo se estudiaron 10 debido a la pérdida de información en los restantes.

En estos momentos, el área cuenta, desde inicios del año 2014, con el departamento de proyectos de ingeniería encargada de realizar el desarrollo de máquinas de producción de forma más ordenada y sistematizada con personal especializado; puesto que, anteriormente se realizaba este proceso de forma informal y desorganizada. En la muestra de la presente investigación se incluyó cuatro proyectos realizados por este departamento donde se ha utilizado ingeniería reversa.



Figura 9. Porcentaje de proyectos realizados con ingeniería directa e inversa en el Área de Ingeniería y Mantenimiento.

2.4 Análisis de la parte de estudio.

Retomando el modelo de ingeniería inversa del capítulo anterior se analizó cada elemento del mismo con respecto a cada uno de los diez proyectos en estudio utilizando la información proveniente de las entrevistas semiestructuradas y los documentos de la empresa.

Proyecto 1

En el proyecto 1 se realizó ingeniería inversa a una tecnología clave italiana desarrollándose diez máquinas similares en el transcurso de los últimos 16 años donde la presión por parte del área de producción siempre ha estado afectando el proceso. El primer prototipo fue desarrollado combinando ideas de dos máquinas originales italianas pero de diferentes fabricantes.

Posteriormente, estas originales se fueron adaptando para mejorar su rendimiento. Además, fue uno de los pocos proyectos donde se realizó desmontaje porque, según los diseñadores, poseía una complejidad mecánica considerable; a pesar de esto, existieron problemas de diseño porque no se tomó bien las medidas de las piezas en el desmontaje. Lamentablemente, no se tiene una buena base de datos con los planos técnicos ni la lista de materiales del proyecto y sí existe, no se encuentran actualizados. En la Tabla 5 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 5. Ficha técnica del proyecto 1.

Proyecto 1	
Nombre de máquina	Calandra
Tecnología	Clave
Procedencia de las máquinas originales	Italia
Costo por máquina fabricada	USD 18 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	18 meses
Cantidad de máquinas originales	2
Cantidad de máquinas construidas	10
Miembros del proyecto	9
¿Antes o después de la creación del Departamento de Proyectos de Ingeniería?	Antes

Proyecto 2

En el proyecto 2 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica clave americana desarrollándose trece máquinas similares en el transcurso de los últimos 8 años. No existió presión por el área producción porque se tuvo la capacidad de mantener la productividad hasta que se construía una máquina cada 5 meses. Fue el único proyecto donde se realizó un desmontaje total de las máquinas originales porque, según los diseñadores, poseía un sistema mecánico complejo y, además, porque necesitaban comprender un principio físico que no se podía visualizar en su operación ni venía explicada en su manual de operación. Tampoco, se cuenta con una base de datos de los planos o lista de materiales, lo cual, trae problemas cada vez que deben crear una nueva máquina. En la Tabla 6 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 6. Ficha técnica del proyecto 2.

Proyecto 2	
Nombre de máquina	Dosificador
Tecnología	Clave
Procedencia de las máquinas originales	USA
Costo por máquina fabricada	USD 6 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	5 meses
Cantidad de máquinas originales	2
Cantidad de máquinas construidas	8
Miembros del proyecto	5
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Antes

Proyecto 3

En el proyecto 3 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica clave italiana desarrollándose tres máquinas similares en el transcurso de los últimos 20 años. La presión de producción afectó al proceso porque se trataba de una tecnología muy importante para la fabricación de pelotas. Fue el único proyecto donde los conocimientos adquiridos en eventos internacionales fueron vitales en la construcción de las mismas ya que la gerencia general envió al jefe de mantenimiento a conocer máquinas de ese tipo. Tampoco, se cuenta con una base de datos de los planos o materiales a pesar de la importancia de la tecnología. Hoy día, solo las máquinas desarrolladas por la empresa se encuentran en producción porque la original fue desechada. En la Tabla 7 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 7. Ficha técnica del proyecto 3.

Proyecto 3	
Nombre de máquina	Horno
Tecnología	Clave
Procedencia de las máquinas originales	Italia
Costo por máquina fabricada	USD 40 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	9 meses
Cantidad de máquinas originales	1
Cantidad de máquinas construidas	3
Miembros del proyecto	14
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Antes

Proyecto 4

En el proyecto 4 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica clave americana desarrollándose 3 máquinas similares en el transcurso de los últimos 20 años. La presión de producción afectó el proceso porque se trataba de una tecnología esencial para la decoración de pelotas. No se realizó desmontaje porque, según los diseñadores, solo fue necesario las "observaciones y practica" para entender su funcionamiento interno. Tampoco, no se cuenta con información técnica del proyecto. En la Tabla 8 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 8. Ficha técnica del proyecto 4.

Proyecto 4	
Nombre de máquina	Decoradora
Tecnología	Clave
Procedencia de las máquinas originales	USA
Costo por máquina fabricada	USD 14 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	7 meses
Cantidad de máquinas originales	1
Cantidad de máquinas construidas	3
Miembros del proyecto	5
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Antes

Proyecto 5

En el proyecto 5 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica básica de origen chino desarrollándose una máquina similar porque era una tecnología que la mayoría de industrias del sector plástico poseen; sin embargo, la presión de producción afectó al proceso porque no se abastecían en la fabricación de pelotas. En efecto, al ser una tecnología básica no generó nuevas oportunidades para seguir adaptando la máquina original. No obstante, en este proyecto sí se realizó un registro adecuado de planos y lista de materiales en la base de proyectos del área, puesto que fue desarrollado por el departamento de proyectos de ingeniería que se encarga de realizar de forma ordenada y sistematizada el proceso de creación de máquinas. En la Tabla 9 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 9. Ficha técnica del proyecto 5.

Proyecto 5	
Nombre de máquina	Enmalladora
Tecnología	Básica
Procedencia de las máquinas originales	China
Costo por máquina fabricada	USD 11 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	12 meses
Cantidad de máquinas originales	1
Cantidad de máquinas construidas	1
Miembros del proyecto	2
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Después

Proyecto 6

En el proyecto 6 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica básica nacional desarrollándose tres máquinas similares. Se trata de una tecnología que la mayoría de industrias del sector plástico poseen, sin embargo, la presión no afectó al proceso porque el área de producción pudo mantener su productividad, según manifestaron los usuarios. Tampoco, se cuenta con una base de datos de los planos o lista de materiales. Hoy día, solo las máquinas desarrolladas por la empresa se encuentran en producción porque la original fue desechada. En la Tabla 10 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 10. Ficha técnica del proyecto 6.

Proyecto 6	
Nombre de máquina	Licuadora
Tecnología	Básica
Procedencia de las máquinas originales	Perú
Costo por máquina fabricada	USD 8 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	8 meses
Cantidad de máquinas originales	1
Cantidad de máquinas construidas	3
Miembros del proyecto	5
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Antes

Proyecto 7

En el proyecto 7 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica clave japonesa desarrollándose cinco máquinas similares en el transcurso de los últimos 10 años. La presión de producción afectó el proceso porque solo se contaba con 3 máquinas originales que no cubrían la producción deseada. No se realizó ningún cambio en las máquinas originales, a diferencia de los demás proyectos, e incluso los usuarios comentaron que éstas ofrecen una mayor calidad que las desarrolladas. Asimismo, no se realizó desmontaje porque, según los diseñadores, solo con las "observaciones y prácticas" se pudo comprender su funcionamiento interno, por ende, las medidas se tomaron sin desmontar la máquina. Tampoco, el proyecto no cuenta con registro de planos o lista de materiales en la base de proyectos del área. En la Tabla 11 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 11. Ficha técnica del proyecto 7.

Proyecto 7	
Nombre de máquina	Impresora
Tecnología	Clave
Procedencia de las máquinas originales	Japón
Costo por máquina fabricada	USD 13 500
Tiempo promedio de construcción por máquina	12 meses
Cantidad de máquinas originales	4
Cantidad de máquinas construidas	5
Miembros del proyecto	6
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Antes

Proyecto 8

En el proyecto 8 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica clave brasileña desarrollándose nueve máquinas similares en el transcurso de los últimos 2 años. No afectó la presión de producción porque la tecnología incluía una mejora al proceso y no formaba parte esencial de la producción. Por ello, mientras se fabricaban las máquinas, el área de producción siguió trabajando con normalidad. El buen rendimiento de la original evitó generar nuevos eventos de adaptación tecnológica. Al no realizarse desmontaje, los diseñadores cometieron errores de diseño por obviar algunas características de la que no parecían importante, según recalcan. Además, es uno de los pocos proyectos donde se realizó búsquedas de publicaciones con el fin de comprender un principio físico que no se explicaba en el manual de operación. Este proyecto cuenta con una recopilación completa de planos y de lista de materiales que se encuentran almacenados en la base de proyectos del área, puesto que fue desarrollado por el departamento de proyectos de ingeniería. En la Tabla 12 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Proyecto 9

En el proyecto 9 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica básica americana desarrollándose una máquina similar. Se trató de una tecnología que la mayoría de industrias del sector plástico poseen, sin embargo, la presión de producción afectó al proceso porque no se abastecían en la fabricación de etiquetas de plástico. No obstante, a pesar de ser una

tecnología básica, sí género nuevas oportunidades para seguir adaptando la máquina original porque se quiso mejorar su rendimiento y vida útil. Este proyecto cuenta con una recopilación completa de planos y de lista de materiales que se encuentran almacenados en la base de proyectos del área, puesto que fue desarrollado por el departamento de proyectos de ingeniería. En la Tabla 13 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 12. Ficha técnica del proyecto 8.

Proyecto 8	
Nombre de máquina	Detector de Forados
Tecnología	Clave
Procedencia de las máquinas originales	Brasil
Costo por máquina fabricada	USD 10 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	9 meses
Cantidad de máquinas originales	1
Cantidad de máquinas construidas	5
Miembros del proyecto	3
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Después

Tabla 13. Ficha técnica del proyecto 9.

Proyecto 9	
Nombre de máquina	Enrolladora Teco
Tecnología	Básica
Procedencia de las máquinas originales	USA
Costo por máquina fabricada	USD 4 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	3 meses
Cantidad de máquinas originales	1
Cantidad de máquinas construidas	1
Miembros del proyecto	2
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Después

Proyecto 10

En el proyecto 10 se realizó ingeniería inversa a una tecnológica básica peruana desarrollándose una máquina similar. Se trató de una tecnología que la mayoría de industrias del sector plástico poseen. La presión de producción no afectó el proceso de ingeniería inversa porque se pudo mantener la productividad hasta que termino el proyecto. En efecto, al ser una tecnología básica no género nuevas oportunidades para seguir adaptando la máquina original. Este proyecto cuenta con una recopilación completa de planos y de lista de materiales que se encuentran almacenados en la base de proyectos del área, puesto que fue desarrollado por el departamento de proyectos de ingeniería. En la Tabla 14 se muestra la ficha técnica del proyecto con más detalles del mismo.

Tabla 14. Ficha técnica del proyecto 10.

Proyecto 10	
Nombre de máquina	Chiller
Tecnología	Básica
Procedencia de las máquinas originales	Perú
Costo por máquina fabricada	USD 6 000
Tiempo promedio de construcción por máquina	12 meses
Cantidad de máquinas originales	1
Cantidad de máquinas construidas	1
Miembros del proyecto	2
¿Antes o después de la creación del Departamento de Ingeniería?	Después

2.5 Síntesis de la parte de estudio.

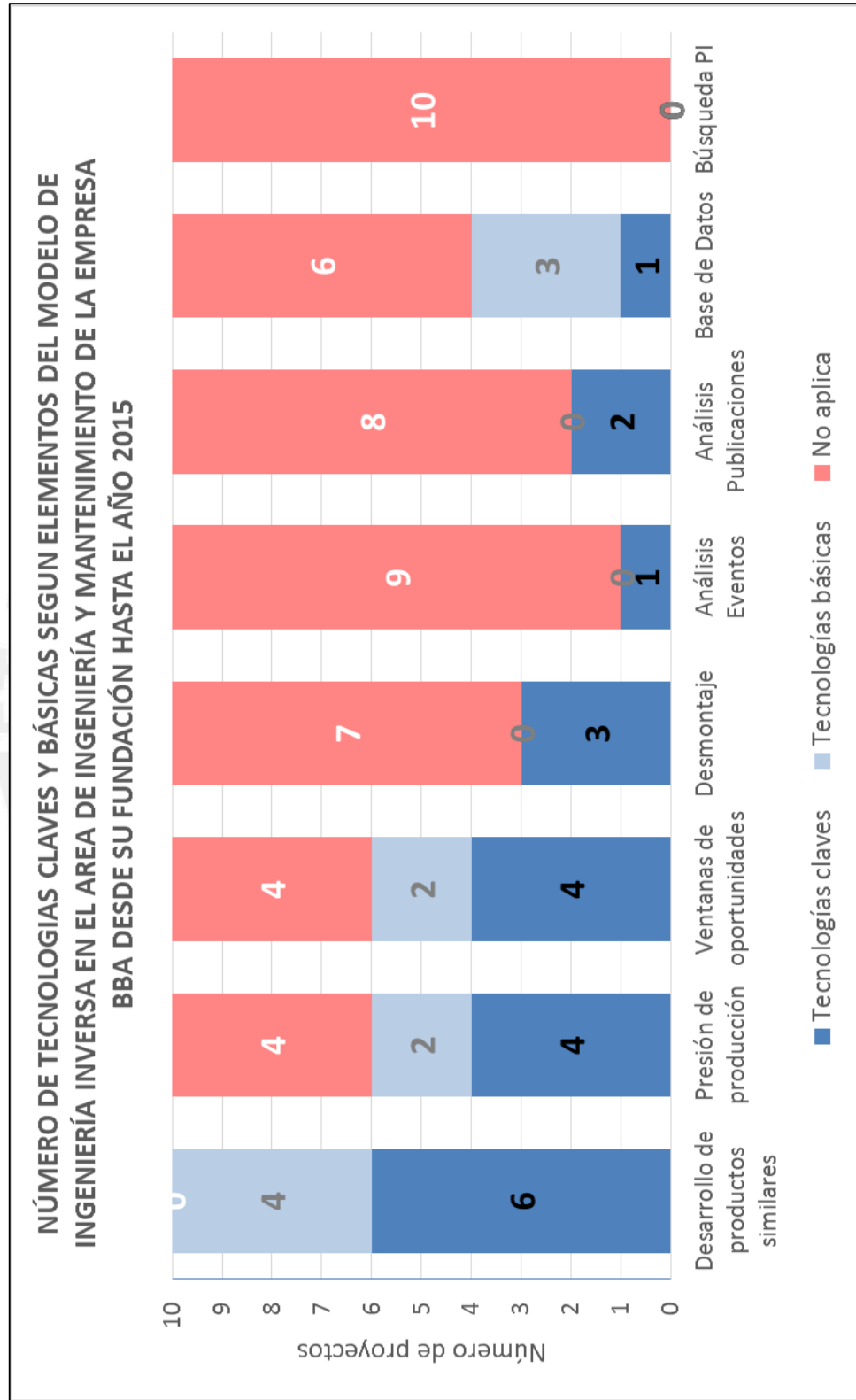
Después de analizar por separado los proyectos de ingeniería inversa con respecto a cada elemento del modelo teórico propuesto, se procedió a compilar los hallazgos en un solo diagrama tal como se muestra en la Tabla 15 y 16 para posteriormente realizar análisis cruzado porque según Yin (2009, p. 156) “permite obtener resultados más robustos en lugar de tener un solo caso”.

El análisis de la tabla general permite que se extraiga del estudio, conclusiones cruzadas sobre el proceso de ingeniería inversa en el Área de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa BBA desde su fundación hasta el año 2015:

Tabla 15. Tabla general de los proyectos de estudio.

		PROYECTO 1 CALANDRA	PROYECTO 2 DOSIFICADOR	PROYECTO 3 HORNO	PROYECTO 4 DECORADORA	PROYECTO 5 ENMALLADORA	PROYECTO 6 LICUADORA	PROYECTO 7 IMPRESORA	PROYECTO 8 DETECTOR DE FORADOS	PROYECTO 9 ENROLLADORA TECO	PROYECTO 10 CHILLER	
P2	Tipos de tecnologías Escorsa et al. (2003) Tecnologías básicas Tecnologías claves Tecnologías incipientes Tecnologías emergentes	Tecnología clave	Tecnología clave	Tecnología clave	Tecnología clave	Tecnología básica	Tecnología básica	Tecnología clave	Tecnología clave	Tecnología básica	Tecnología básica	
P3	Razones para la IR Pooley J. (1999) Aprendizaje Reparación de producto Proveer servicios Desarrollo de un producto similar Creación de un clon Mejora de un producto	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar.	Desarrollo de un producto similar.	
P4	Presión de producción Tyre et al. (1994) ¿Afectó la presión de producción al proceso de ingeniería inversa ?	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
P5	Ventanas de oportunidades para la adaptación Tyre et al. (1994) ¿El proceso de ingeniería inversa genera nuevas oportunidades para seguir adaptando la tecnología original?	Sí	Sí	Sí	Si	No	Sí	No	No	Sí	No	
P6a	Análisis Físico Montanha (2011) Especificaciones iniciales Observaciones y practica Desmontaje Identificación de variables de diseño Benchmarking Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica Desmontaje - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica Desmontaje - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica Desmontaje - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico	Especificaciones iniciales Observaciones y practica - - Rediseño del sistema tecnico
	Análisis de eventos Montanha (2011) Planeamiento Participación en el evento Análisis de los resultados obtenido	-	-	Planeamiento Participación en el evento Análisis de los resultados obtenido	-	-	-	-	-	-	-	
	Análisis de publicaciones Montanha (2011)	No	No	Sí	No	No	No	No	Sí	No	No	
P6b	Base de datos de proyectos de IR Montanha (2011)	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	
P6c	Busqueda de patentes o derechos de autor (Wang, 2011) (Odagiri et al., 2010)	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	

Tabla 16. Número de tecnologías claves y básicas según los elementos del modelo de ingeniería inversa.



1. El patrón general en la Tabla 15 conduce a la conclusión que los proyectos de ingeniería inversa se desarrollaron de manera desorganizada e informal en el periodo estudiado.
2. Según el número de máquinas construidas, se tendió a construir más tecnologías claves (34 máquinas) que tecnologías básicas (5 máquinas) durante el periodo estudiado debido a que fueron esenciales para aumentar la productividad del área de producción.
3. Se desplegó más miembros en los equipos de proyectos de ingeniería inversa que involucraban la construcción de tecnologías claves que básicas a causa de la producción. Entre siete y dos colaboradores en promedio en tecnologías claves y básicas, respectivamente. En el proyecto 3, donde se construyó hornos para la fabricación de pelotas de plástico, se utilizó el mayor número de ingenieros y técnicos por ser una tecnología de gran tamaño.
4. Como se puede apreciar en las fichas técnicas de los proyectos, las tecnologías claves fueron más costosas que las básicas. Nuevamente, el proyecto 3 fue el más costoso por ser una tecnología de gran tamaño porque presenta un gran número de componentes de ingeniería.

5. El departamento de proyectos de ingeniería, creado para la construcción de máquinas de manera más sistematizada y ordenada, desarrolló más proyectos de ingeniería inversa a tecnologías básicas (3 proyectos) que a claves (1 proyecto) durante el periodo estudiado. Además, se debe tener en cuenta que la mayoría de las tecnologías claves desarrolladas han sido construidas antes de su creación (5 de los 6 proyectos claves) por ello, la propuesta de mejora al proceso de ingeniería inversa del capítulo 3, debe tomar en cuenta todos los errores pasados.
6. El Área de Ingeniería y Mantenimiento desarrolló más proyectos de ingeniería inversa dirigida a tecnologías claves que básicas según se muestra en la Tabla 15.
7. De acuerdo a la Tabla 16, en todos los proyectos se desarrollaron productos similares, es decir, nuevos diseños pero utilizando los principios de funcionamiento de las máquinas originales.
8. En los tres proyectos donde se realizaron desmontaje parcial o total de las máquinas, según la Tabla 15, se tuvo problemas en las mediciones de las piezas mecánicas porque no se realizaban con la precisión adecuada generando errores en los planos técnicos; que por ello, en ocasiones se dejaban de lado por este motivo.

9. Las máquinas originales de los proyectos 3, 6 y 9 se desecharon porque resultaba costoso mejorar sus rendimientos con relación las máquinas construidas a partir de ingeniería inversa, o porque bien se encontraban en la fase de envejecimiento de su ciclo tecnológico.

10. Solo en el proyecto 7 no se pudo alcanzar la misma calidad técnica que la máquina original, como señaló uno de los usuarios de producción: “De las cinco réplicas construidas por el área de mantenimiento ninguna llega a la calidad de impresión que tienen las cuatro máquinas originales”.

11. La presión de producción fue independiente del tipo de tecnología, es decir, el proceso de ingeniería inversa dirigida tanto en las tecnologías claves como en básicas, pueden ser afectadas por la presión por el área de producción cuando fueron esenciales para el proceso productivo de la empresa. De igual manera, la generación de ventanas de oportunidades fue independiente del tipo de tecnología, es decir, el proceso de ingeniería inversa dirigida tanto a tecnologías claves como en básicas, pueden generar ventanas de oportunidades para seguir adaptando la máquina original cuando se quiso mejorar su rendimiento y vida útil.

2.6 Discusión de los resultados.

De los resultados mostrados, se procede a discutir las proposiciones establecidas en el presente estudio de caso. En general, de las 8 proposiciones planteadas se han comprobado totalmente tres proposiciones, de manera parcial tres y no se han verificado 2 proposiciones:

P1: la ingeniería inversa se puede utilizar como una fuente de información para realizar adaptación tecnológica.

En total, se construyeron 40 máquinas nuevas a partir de 15 originales provenientes de Italia, Estados Unidos, China, Japón, Brasil y Perú durante el periodo estudiado. Por esta razón, manifestamos que la empresa BBA adapta tecnologías extranjeras y crea nuevas a partir del conocimiento que adquiere a través de la ingeniería inversa ajustándolas a su condiciones industriales tal como lo expresó el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento: “cuando realizamos ingeniería inversa estamos adaptando y tomando el control total de la tecnología”; asimismo, en este caso se cumple la complementariedad entre la importación de tecnología y la generación de tecnología planteada por González *et al.* (2002) en el marco teórico. De acuerdo con el Gerente General este proceso se desarrolla en la empresa BBA por dos principales razones: la capacidad tecnológica del Área de Ingeniería y Mantenimiento por disponer de máquinas herramientas que realizan procesos de manufactura convencionales y avanzados, y la capacidad absorbente de los colaboradores tal como lo expresó en el siguiente comentario: “...esto sucede porque disponemos de ingenieros y técnicos curiosos” y que según Odagiri *et al.*

(2010, p. 3) “son necesarias para modificar una tecnología importada”. Por lo tanto, esta proposición se verifica totalmente.

P2: a las tecnologías claves se les realiza más ingeniería inversa que a las tecnologías básicas.

En la Tabla 17 se muestra que más de la mitad de los proyectos de ingeniería inversa fueron dirigidos a tecnologías claves. Asimismo, según el número de máquinas construidas, se fabricó en total 34 máquinas claves frente a 5 máquinas básicas durante el periodo estudiado debido a que fueron esenciales para aumentar la productividad del área de producción tal como lo manifestó el jefe de producción de la planta: “la mayoría de máquinas que ha desarrollado el área de mantenimiento desde la gestión del primer fundador, han sido relevantes para la fabricación de los productos más importantes de la empresa”. En efecto, la fabricación de tecnologías esenciales para la producción de la empresa, es decir, uso interno y no comercial, va orientado a una estrategia de adquisición tecnológica exógena y su posterior adaptación a las condiciones de la misma. La decisión de realizar ingeniería inversa a una tecnología clave aconteció bajo los siguientes puntos:

1. El área de producción necesitó ampliar su rango de máquinas para la fabricación de los productos de la empresa.
2. El costo por fabricar la máquina resultó ser más bajo que el costo de importación.
3. El costo de los repuestos de la máquina original eran caros.

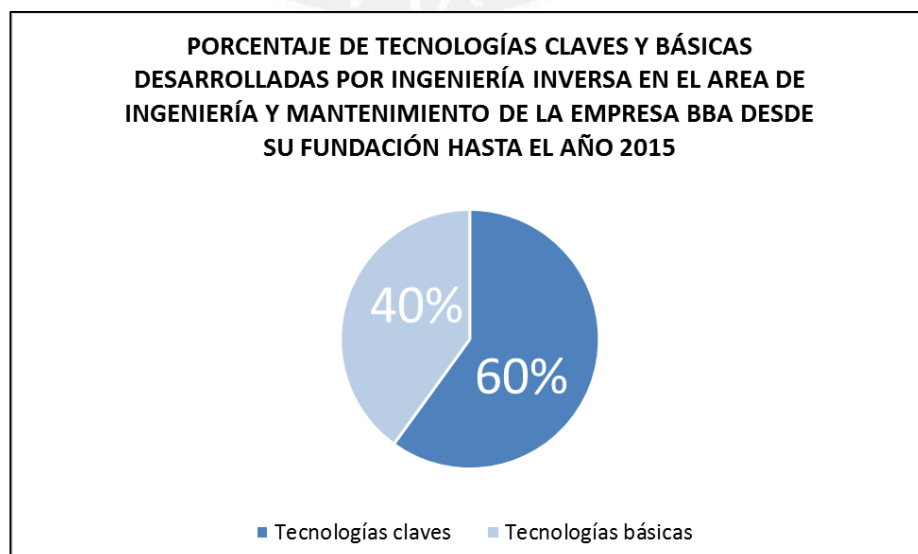
4. Demora en el tiempo de atención de emergencias por parte del representante nacional.
5. Mal servicio técnico por parte del representante nacional.

Por otro lado, cuatro de los diez proyectos de ingeniería inversa se dirigieron a tecnológica básicas por las siguientes razones:

1. El fabricante de la máquina original salió del mercado.
2. Sus repuestos estaban descontinuados o eran caros.
3. El tiempo de importación era demasiado largo.
4. Se contaba con técnicos capaces de realizar una máquina similar.

Tal como lo expresó el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento: “la construcción de máquinas se enfoca a la atención de las necesidades de producción. Sí vemos que la máquina no es sustancial para la producción y es muy comerciable en el mercado, lo más probable es que no le realicemos ingeniería inversa, pero depende de cada caso”. Por estas razones, se verifica la proposición parcialmente.

Tabla 17. Porcentaje de tecnologías claves y básicas desarrolladas por ingeniería inversa.



P3: se desarrollan máquinas similares después de cada proceso de ingeniería inversa.

Luego de haber realizado el proceso de ingeniería inversa, el Área de Ingeniería y Mantenimiento desarrolló, en todos los proyectos, máquinas similares a las originales, por lo que se verifica totalmente esta proposición.

Se realizaron de la siguiente forma:

1. Se mantuvieron los principios de funcionamiento originales.
2. Se eliminaron de la máquina original todos los elementos o propiedades que producción no utilizaba.
3. Se añadieron nuevas piezas que las máquinas originales no poseían para mejorar su rendimiento.
4. Se mejoró la seguridad de la máquina para el buen desempeño de los operarios.
5. Se reemplazaron algunas soluciones de diseño por otros más optimizados a las condiciones de los procesos.

Por eso, no se considera la otra alternativa propuesta por Pooley (1999) “creación de un clon” como una actividad que se realiza después de la ingeniería inversa porque en todos los proyectos no se tendió a seguir las mismas características técnicas o de forma según las máquinas originales tal como lo señaló uno de los ingenieros diseñadores: “gerencia nos pide que escatimemos en costos para que el proyecto sea viable, por ello, debemos eliminar muchas cosas que la tecnología trae de fábrica y sin que pierda sus funcionalidades principales”.

En tal sentido, Villarán (1989) coincide con Montanha (2011) que al no utilizarse la ingeniería inversa para copiar, el Área de Ingeniería y Mantenimiento:

1. Aumenta su capacidad de creatividad y análisis.
2. Genera innovación.
3. No se vuelve dependiente de las empresas fabricantes.
4. Aumenta su capacidad de respuesta ante problemas que puede presentar la tecnología.

P4: la presión de producción acelera el proceso de ingeniería inversa por falta de productividad.

La presión de producción afectó a seis de los diez proyectos con el fin de acelerar la construcción de máquinas cuando eran imprescindibles para la fabricación de los productos importantes de la empresa como lo señaló uno de los técnicos ejecutores: “la presión proviene de la jefatura de mantenimiento, que a su vez, la jefatura de producción los presiona para que nosotros terminemos la máquina a tiempo”; de la misma manera, un usuario de producción manifestó: “nosotros debemos cumplir un cronograma de producción que se atrasa cuando mantenimiento se demora en reparar o construir una máquina”.

Debido a esto, en muchas ocasiones se dejó de lado procedimientos minuciosos de ingeniería como: la medición de piezas con herramientas calibradas, uso de procesos de manufactura adecuados, construcción de planos técnicos a detalle, elaboración de listas de materiales, desmontaje, etc. Esto generó diversos “ciclos recursivos” ya que se retornaba a la pizarra de diseño para solucionar problemas técnicos que los diseñadores asumían que estaban resueltos afirmando lo establecido por Leonard-Barton (1988, p. 259).

De hecho, estos inconvenientes ocurren cuando las actividades del proceso de ingeniería inversa no se encuentran bien definidos tal como lo expresa Rasool *et al.* (2010, p. 308) “un inconveniente común de los proyectos de ingeniería inversa se debe a la pobre o no existente de planificación”; por ello, es esencial definir los pasos a seguir desde un comienzo para evitar perder tiempo, energía y recursos. En el capítulo 3, se propone un modelo estándar de ingeniería reversa tomando en cuenta estos resultados.

Por otro lado, los proyectos que no fueron aquejados por esta presión fueron cuatro y se debieron a que se trataban de mejoras que no perjudicaban al proceso productivo y se podía mantener la productividad hasta que se terminara de fabricar las máquinas, pero de la misma manera se observó un proceso desorganizado de ingeniería inversa. Vale destacar que no existió ninguna relación entre el tamaño del proyecto y la presión de producción. Por estas razones, se verifica la proposición parcialmente.

P5: el proceso de ingeniería inversa genera nuevas adaptaciones en las máquinas originales.

En seis de los diez proyectos estudiados, se mejoraron las tecnologías originales después del proceso de ingeniería inversa para mejorar su rendimiento y añadir las mismas mejoras que se agregaron en las máquinas similares con el objetivo de que los operarios de producción trabajasen idénticamente en todas las máquinas tal como lo explicó uno de los diseñadores: “Mejoramos las máquinas originales para que tengan mismo rendimiento que las réplicas. Debemos de asegurar mantener un estándar para que los mantenimientos sean lo más rápido posible”. En efecto, la examinación y la comprensión del know-how interno en el proceso de ingeniería inversa condujeron al perfeccionamiento de las tecnologías originales (Aplin, 2013).

En apoyo a este punto, cabe mencionar el planteamiento de Tyre *et al.* (1994) que manifiestan que el proceso de adaptación tecnológica es altamente discontinua porque disminuye dramáticamente después de un estallido inicial de actividad adaptativa. Además, agregan que este descenso de adaptación no es irreversible porque, más tarde, inesperados eventos pueden ocasionar nuevos lapsos de actividad adaptativa. Estos cambios o mejoras en las tecnologías originales realizadas después del proceso de ingeniería inversa en cada proyecto, resultaron ser eventos de adaptación tecnológica de limitada duración a causa de los nuevos descubrimientos. Por último, vale destacar que la razón por la que no se realizó adaptación en otros proyectos

fue debido a que su rendimiento y vida útil eran óptimos para el proceso productivo. Por ello, se verifica la proposición parcialmente.

P6a: los análisis físicos, de eventos y de publicaciones se ejecutan de diferente manera en cada proyecto.

En términos generales, los diferentes tipos de análisis de ingeniería inversa se realizaron de manera incompleta, desorganizada y diferente en todos los proyectos estudiados. Por ello se verifica totalmente esta proposición.

Análisis físico

- a. Especificaciones iniciales: en todos los proyectos se evaluó y discutió lo que se iba a realizar en el proceso de ingeniería inversa, las decisiones fueron tomadas por el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento.
- b. Observaciones y práctica: en todos los proyectos, las características de las máquinas originales no fueron clasificadas de acuerdo a rendimiento, manufactura y funcionamiento. Tampoco, en ningún caso se dibujó un boceto o una descripción del mecanismo que realizaba la función primaria. Sin embargo, en todos los proyectos sí se observó y operó el sistema técnico para comprender sus puntos fuertes y débiles, pero sin redactarse ningún informe técnico.
- c. Desmontaje: solo se realizó desmontaje en tres de los diez proyectos cuando las máquinas poseían una considerable complejidad mecánica y se debía comprender un principio físico interno que no se explicaba en el manual técnico o no se podía observar desde el exterior. Nuevamente, tampoco se siguió un procedimiento paso a paso en el desmontaje, por

esta razón cada equipo lo realizaba según su experiencia. En consecuencia, en todos los desmontajes se tuvo problemas en los componentes en relación a sus dimensiones, acabo superficial, características esenciales y tolerancias que prolongaron el proyecto. Por último, no se realizó desmontaje en los otros proyectos porque la observación y practica permitían comprender el know-how interno de las máquinas, tal como indicó el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento: “no es necesario desarmar una máquina cuando, a simple vista, puedes inferir como está construida interiormente”.

- d. Identificación de las variables de diseño: ningún proyecto realizó esta actividad, es decir, no se generó variables de diseño ni se elaboró una lista de materiales con funciones, principios de solución y diagrama de flujo de fuerza y movimiento. La razón, de acuerdo con lo establecido por uno de los diseñadores más antiguos es que estos procedimientos formales son “una pérdida de tiempo” y que a la jefatura solo le interesa ver resultados lo más rápido posible.
- e. Benchmarking: no se realizó un análisis comparativo de los datos obtenidos con otros sistemas técnicos porque la empresa BBA busca utilizar estas máquinas para uso interno y no para comercializarlas en una mercado industrial.
- f. Rediseño del sistema técnico: después de analizar el sistema técnico e interiorizar su funcionamiento (en forma de conocimiento tácito), en todos los proyectos se desarrolló máquinas similares adaptadas a los procesos productivos de la empresa.

Análisis de eventos

El proyecto 3 fue el único donde se optó por visitar una feria con el objetivo de comprender mejor la tecnología original antes de realizar las máquinas similares. El Gerente General observó que la tecnología original era imprescindible para la producción y decidió enviar al Gerente de Ingeniería y Mantenimiento a una feria internacional de hornos de rotomoldeo para que se instruya porque no tenía experiencia en ese tipo de máquinas. Según esto, la interiorización de los conocimientos adquiridos ayudaron al proceso de creación de máquinas tal como manifestó el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento: “la vista a la feria no solo ayudó a entender el funcionamiento interno del horno (know-how) sino que, gracias a ellos, pudimos agregar mejoras interesantes que la original no poseía”.

Análisis de publicaciones

Solo en los proyectos 3 y 8 se realizaron una búsqueda de revistas, tesis y artículos con el fin de comprender algunos principios físicos. Vale recalcar, que no todos los diseñadores tuvieron un acceso libre a internet lo que dificultó la búsqueda de publicaciones tal como señaló uno de ellos: “lamentablemente no nos dan un acceso libre de internet, piensan que vamos a utilizarlos de mala manera. Esto dificulta nuestro trabajo cuando necesitamos investigar”.

P6b: se mantienen todos los proyectos de ingeniería inversa almacenados en la base de proyectos del área.

Solo cuatro de los diez proyectos están almacenados en la base de proyectos del área porque fueron desarrollados por el departamento de proyectos de ingeniería encargada de realizar el desarrollo de máquinas de forma más ordenada y sistematizada. Por ello, no se verifica esta proposición. Entre los archivos se encuentran: planos técnicos, diagramas de flujo, listas de materiales, cotizaciones de componentes y lecciones aprendidas.

Por otro lado, la falta de información explícita en los otros proyectos se debió a la desorganización y visión cortoplacista de sostener al área de producción como lo expresa el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento: “no hemos estado atentos a guardar los planos técnicos, experiencias ni lista de materiales de la mayoría de los proyectos porque nos hemos estado enfocando en atender las emergencias de producción. Lo que haría yo, es documentar todo otra vez para no tener problemas a futuro, como nos está sucediendo actualmente con las máquinas calandras (proyecto 1)”.

En efecto, la falta de esta información crea retardos de tiempo cada vez que se necesita construir una nueva máquina que anteriormente se ha desarrollado por ingeniería inversa; además, ha causado que existan máquinas con diferentes medidas y características. Por esto, en el capítulo 3 se propone un modelo estándar de ingeniería reversa que incluye una base de datos para los proyectos.

P6c: la empresa ha tenido problemas de propiedad intelectual por no haber realizado búsquedas previas en el proceso de ingeniería inversa.

En ningún proyecto se efectuó una búsqueda de derechos de propiedad intelectual, por lo que no se comprueba esta proposición. Las razones de ello, de acuerdo con los datos recolectados, fueron:

- De acuerdo con la opinión del Gerente de Ingeniería y Mantenimiento: “No realizamos ese tipo de búsquedas porque estamos en Perú, estoy casi seguro que ningún fabricante de estas máquinas esta vigilante en este tipo de cosas. Sí estuviéramos fabricando en Estados Unidos, quizás tendríamos más cuidado con la propiedad intelectual”.
- Las tecnologías desarrolladas se encuentran dentro de la empresa y no se exhiben a externos. En apoyo a este punto, vale recalcar que está prohibido el ingreso de personas no autorizadas ni el uso de cámaras fotográficas en las áreas de producción.
- Los diseñadores, ejecutores e usuarios no tenían conocimiento del concepto de propiedad intelectual.
- No se ha tenido ningún problema legal por infringir derechos de propiedad de intelectual según manifiesto el Gerente General: “ningún conflicto legal se ha originado por hacer réplicas de las máquinas que compramos porque las orientamos para nuestro uso interno. Además, son tecnologías maduras (claves) que cualquiera las puede fabricar”.

En conclusión, no se realizó búsquedas de propiedad intelectual y, si bien es cierto que solo se aplicó ingeniería inversa a tecnologías claves y básicas, en

ningún proyecto se evaluó en qué etapa del ciclo tecnológico se encontraban dichas tecnologías, ya que pudieron haberse encontrado con una tecnología incipiente o emergente, según la clasificación que muestra Escorsa *et al.* (2003), y hubieran podido infringir algún derecho sin ser conscientes de ello. Por esta razón, en el capítulo 3 se propone un modelo estándar de ingeniería reversa que incluye consideraciones sobre propiedad intelectual que se puede tener en cuenta en los proyectos.

Para finalizar, se procede a responder las preguntas generales de investigación planteadas al inicio, con respaldo de lo mencionado en el marco teórico y en la metodología utilizada:

¿Cómo la empresa BBA ha realizado ingeniería inversa?

Desde sus inicios hasta el año 2015, la empresa BBA ha realizado ingeniería inversa de manera informal y desorganizada a las maquinarias de producción que adquiría del extranjero o a nivel nacional tal como lo manifiesta el Gerente General: “las primeras máquinas (a través de ingeniería inversa) salieron a la bruta pero luego se han ido mejorando”. Se construyeron un total de 40 máquinas a partir de 15 originales provenientes de los siguientes países: Estados Unidos, Italia, Japón, China, Perú y Brasil. De este total, 36 máquinas fueron esenciales para la producción de los productos más importantes de la empresa.

Ahora bien, su proceso de ingeniería inversa no fue homogéneo en los proyectos estudiados presentando las siguientes características:

1. Fue indiferente a la búsqueda de derechos de propiedad intelectual de las tecnologías originales.
2. Fue destinado a las tecnologías claves, esenciales para mejorar los procesos de productivos de la empresa
3. Descuidado en la recopilación y el almacenamiento de los paquetes tecnológicos de los proyectos como: planos técnicos, lista de materiales, diagrama de flujo, cotizaciones, etc.
4. Poco se apoyó en la recopilación de información valiosa desde fuentes como: artículos, tesis, revistas, patentes, conferencias, ferias tecnológicas, etc.
5. Desorganizado en los desmontajes que se realizan solo cuando no se podía inferir el funcionamiento interno de la máquina observando y practicando.
6. Fue beneficioso porque, gracias a que se entendió el know-how de la tecnología original, también fue posible mejorarla y adaptarla a las necesidades de la empresa (adaptación tecnológica).
7. Fue afectado por la presión del área de producción cuando las máquinas eran esenciales para la fabricación de los productos más importantes de la empresa.

Vale mencionar que a causa de la saturación de trabajo en el Área de Ingeniería y Mantenimiento se retrasaban los proyectos de creación de maquinaria de producción; por ello, desde inicios del 2014, se creó el

departamento de proyectos de ingeniería para el desarrollo del mismo pero de forma más ordenada y sistematizada con personal especializado. En el presente estudio se incluyó 4 de los proyectos elaborados por este departamento; esto es, la propuesta de mejora al proceso de ingeniería inversa del capítulo 3 será ejecutada por este departamento.

¿Por qué la empresa BBA ha realizado ingeniería inversa?

La principal razón fue porque necesitaban desarrollar máquinas similares a las originales para ser utilizadas en la producción interna de la empresa; por ello, sugerimos que la empresa BBA no se ha preocupado por tener un proceso de formal y ordenado de ingeniería inversa. Las decisiones de realizar este proceso fueron evaluadas por el Gerente General tal como lo expresó en el siguiente comentario: “el diseño de máquinas está orientado a reducir costos. Antes de comprar una máquina, evaluamos su costo en Alemania, Italia o Estados Unidos y luego averiguamos en China o Taiwán, entonces compramos la que mejor costo-beneficio tiene. Posteriormente, sí la maquinaria no están compleja, necesitamos más y poseemos las herramientas y capacidades para desarrollarla, entonces le aplicamos la ingeniería inversa”. Además, agrega que gracias a lo bien equipado que se encuentra el Área de Ingeniería y Mantenimiento y a la capacidad absorbente de sus colaboradores, no se hubiera podido crear maquinaria a un costo óptimo.

En síntesis, las razones que llevaron a realizar ingeniería inversa fueron:

1. El área de producción necesitaba ampliar su rango de máquinas para la fabricación de los productos de la empresa.
2. El costo por fabricar la maquina resultaba ser más bajo que el costo de importación.
3. Presencia de máquinas herramientas para procesos de manufactura convencionales y avanzados en el área.
4. Ingenieros y técnicos “curiosos”.
5. El costo de los repuestos de la máquina original eran caros.
6. Demora en el tiempo de atención de emergencias por parte del representante nacional.
7. Mal servicio técnico por parte del representante nacional.

Finalmente, se puede manifestar que la empresa BBA asumió el riesgo de construir máquinas para su propia producción convirtiéndolo en una empresa competitiva en su sector, así como indica Leonard-Barton (1988, p. 265) “investigaciones en supervivencia en industrias altamente competitivas sugieren que las empresas que sobreviven son aquellas que están abiertas a los avances del proceso tecnológico, incluso cuando el precio es caro en experimentaciones técnicas y en cambios organizacionales”.

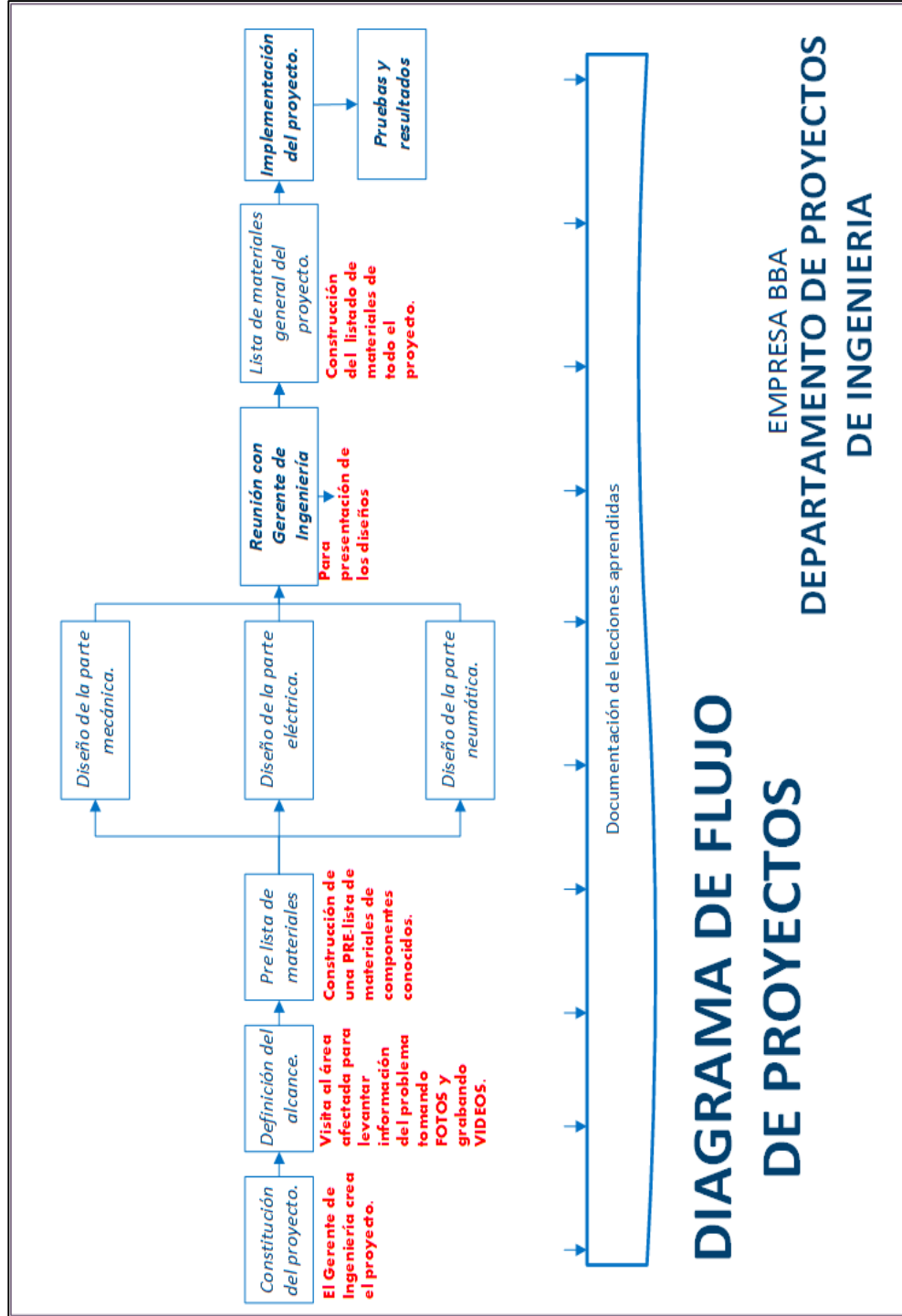
CAPITULO 3: PROPUESTA

Luego de estudiar el marco teórico y evaluar la unidad de análisis según la metodología planteada, se procede a elaborar una propuesta profesional para que el proceso de ingeniería inversa de la empresa BBA posea pasos definidos, claros y organizados tomando en cuenta los errores de los proyectos pasados.

El departamento de proyectos de ingeniería utiliza el diagrama de flujo de la Figura 10 cuando necesita construir una máquina a través de la ingeniería directa, es decir, pasar de “un alto nivel abstracción de diseño hacia la implementación física del sistema” (Chikofsky & Cross, 1990, p. 14). Este diagrama consta de los siguientes pasos:

1. Constitución del proyecto: el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento formaliza el proyecto explicando a los integrantes del departamento de proyectos de ingeniería qué, cómo y donde será realizado.
2. Definición del alcance: los integrantes del departamento de ingeniería y proyectos visitan el área, que utilizará la máquina, para levantar información del problema tomando fotos, grabando videos y dibujando el ambiente de trabajo en Solidworks CAD; de esta manera, definen el alcance y las características que tendrá la máquina a diseñar.
3. Pre lista de materiales: se envía una lista previa de materiales al Área de Logística para la compra de los componentes más comunes que se utilizan en todo proyecto como por ejemplo: cables, borneras, etc.

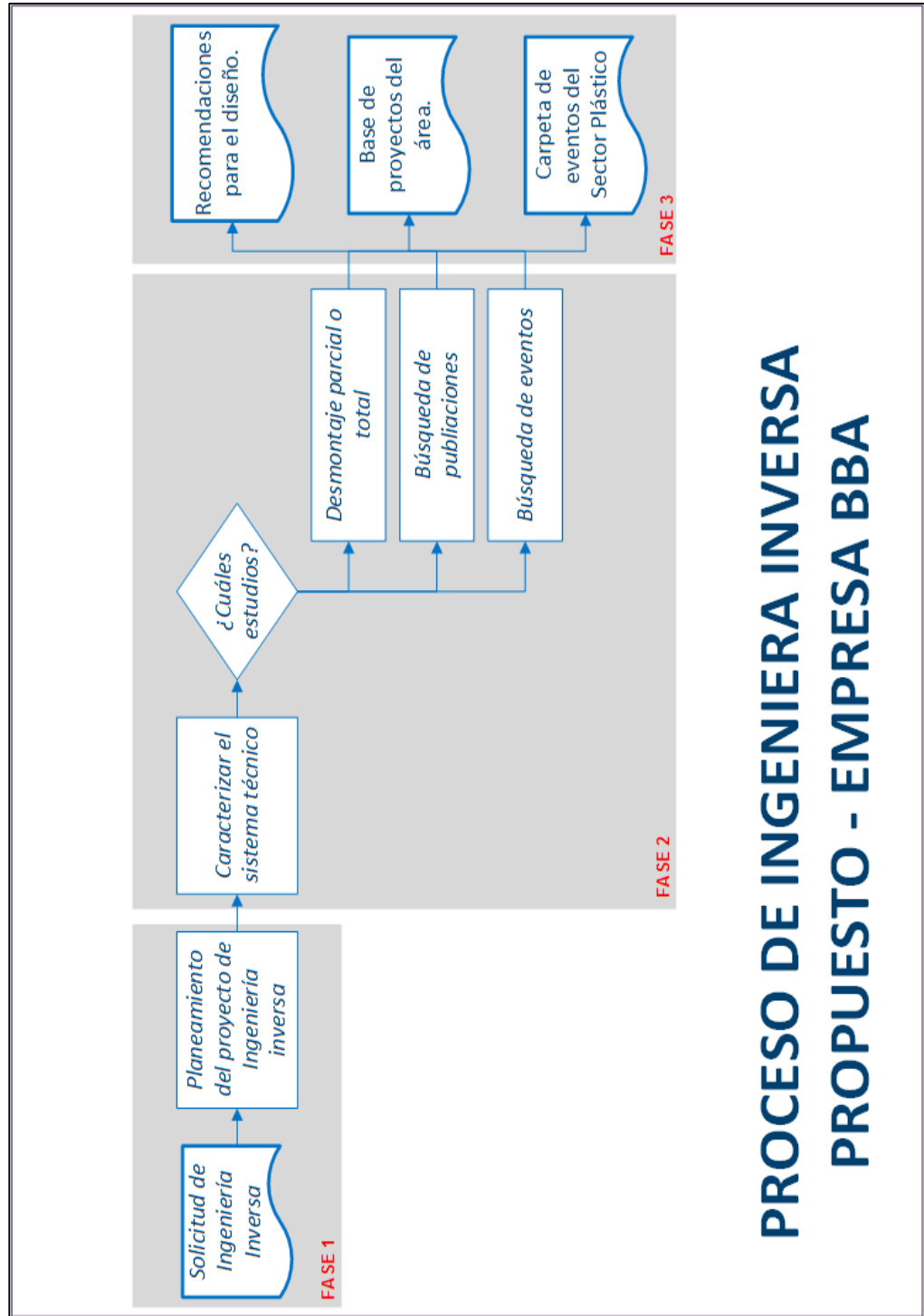
Figura 10. Diagrama de flujo de proyectos de ingeniería directa del Área de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa BBA.



4. Diseño de la parte mecánica, eléctrica y neumática: en esta etapa se diseña todas las partes de la máquina utilizando softwares de ingeniería.
5. Reunión con el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento: los miembros del departamento exponen al gerente qué soluciones de diseño han elegido en la etapa anterior. Si el diseño no es el adecuado, se procede a rediseñar todo el sistema.
6. Lista de materiales general del proyecto: después de la aprobación del diseño, se procede a enviar al Área de Logística la lista de materiales general del proyecto con los planos técnicos de las piezas mecánicas, componentes eléctricos, materiales de importación, etc.
7. Implementación y pruebas: luego de construida la máquina, se la traslada al área de producción para realizar las pruebas *in situ*. Normalmente, se vuelve a las pizarras de diseño para corregir errores que se observaron en el ambiente real de la máquina.
8. Documentación de lecciones aprendidas: a lo largo de todo el proyecto se registra las lecciones que se aprendieron describiendo en qué etapa del proyecto ocurrió, cómo fue la situación, los efectos que tuvo en el proyecto y las acciones correctivas y preventivas que fueron implementadas.

Sin embargo, el departamento no cuenta con un diagrama similar para los proyectos de ingeniería inversa; por ello en la Figura 11 se propone un proceso sistematizado de ingeniería inversa relacionada a la necesidad de identificar principios de solución y funciones de otros sistemas técnicos.

Figura 11. Proceso de Ingeniería Inversa propuesta para la empresa BBA.



PROCESO DE INGENIERIA INVERSA PROPUESTO - EMPRESA BBA

El proceso propuesto se apoya en los estudios realizados por Montanha (2007) y (2011) para su tesis doctoral: “Sistematización del proceso de ingeniería inversa de sistemas técnicos” en la Universidad Federal de Santa Catarina – Brasil; donde manifiesta que su propuesta puede ser modificada por las organizaciones de acuerdo a sus necesidades; por ello la Figura 11 muestra una vista general del proceso que consta de las siguientes fases:

- Fase 1 - Inicio del proceso de ingeniería inversa: busca definir los aspectos generales del proyecto.
- Fase 2 - Análisis del sistema técnico: ejecuta los análisis de ingeniería reversa conforme a la solicitud y el alcance del proyecto.
- Fase 3 – Resultados de la Ingeniería Inversa: propone orientaciones para el diseño de otros sistemas técnicos y almacena lo aprendido en la base de datos.

3.1 Fase 1: Inicio del proceso de ingeniería inversa.

En la primera fase son definidos los aspectos generales del proyecto de ingeniería reversa; así como, buscar definir los alcances del estudio y programar los recursos. Consta de las siguientes actividades mostradas en la Figura 12:

- a. Solicitud de ingeniería inversa: esta solicitud busca contribuir con la sistematización de las informaciones del proceso. Después de que el Gerente General y el Gerente de Ingeniería y Mantenimiento evalúan el proyecto en términos de importancia y viabilidad financiera;

describen a qué máquinas se les realizará ingeniería inversa a través de un correo electrónico o carta dirigida a los siguientes colaboradores implicados: Jefe de Mantenimiento, Jefe de producción, Supervisores de Mantenimiento e ingenieros y técnicos del Departamento de Proyectos de Ingeniería.

- b. Planeamiento del proyecto: en esta actividad se define el alcance del proyecto, es decir, si se realizará un análisis integral con todas las fases del proceso o un análisis parcial seleccionando algunas actividades de la fase 2 y 3 solamente en los subsistemas o componentes de interés. Luego, se elabora un cronograma del proyecto y se forma una línea base en función de las actividades, tiempos, recursos y la secuencia de las actividades del proyecto. Además, se debe establecer el número de colaboradores que participaran, con el fin de organizarlos conforme a su perfil en cada actividad del proceso de ingeniería inversa. Por último, estas decisiones deben ser redactadas en un documento para el conocimiento de los colaboradores implicados.

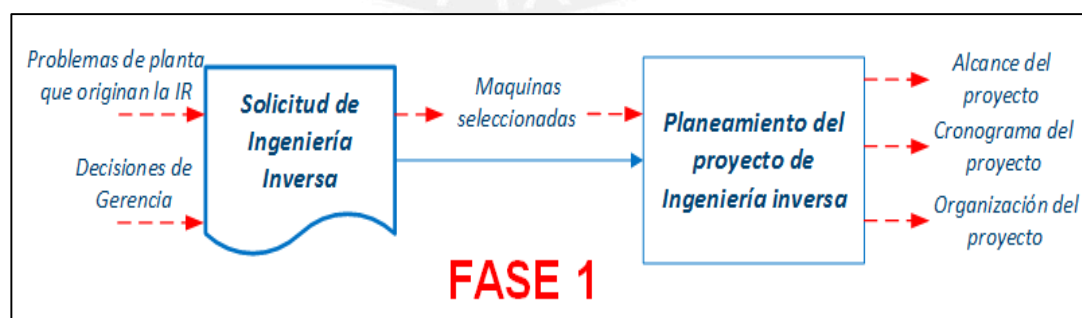


Figura 12. Fase 1: Inicio del proceso de ingeniería inversa.

3.2 Fase 2: Análisis del sistema técnico.

La fase de análisis del sistema técnico consiste en desarrollar estudios de diferentes naturalezas con el objetivo de comprender su know-how interno.

Consta de las siguientes actividades mostradas en la Figura 13:

- a. Caracterizar el sistema técnico: se observa y redacta un informe con los rasgos distintivos del sistema técnico como: marca o modelo, país de procedencia, costo, energía, fotografías, modos de fallo y principales especificaciones técnicas con el fin de apoyar la sistematización del proceso y registrar que características tuvo la máquina para futuros proyectos de ingeniería reversa.
- b. Desmontaje parcial o total: según la planeación de la fase 1, se realiza un desmontaje total o parcial del sistema técnico con las siguientes pasos:
 - i. Preparación para el desmontaje: deben ser determinadas todas las herramientas disponibles en el taller para realizar el desmontaje incluyendo los equipos de medición como: calibradores, micrómetros, gauges y balanzas electrónicas.
 - ii. Desmontar: el sistema técnico debe ser desmontado fotografiando y registrando la secuencia de desmontaje de todos los componentes removidos para tener en acceso al mismo en el análisis. Además, se debe evitar las pruebas destructivas para garantizar que el sistema siga funcionando.

- iii. Medir: se procede a registrar la masa, dimensiones, material y cantidad de cada componente del sistema técnico. Luego, se elabora un plano técnico detallado resaltando las características métricas más importantes de cada componente. Para finalizar, se realiza un plano con la vista explosiva general del sistema.
- iv. Preparar una lista de materiales (BOM): consiste en completar una lista sobre los datos técnicos recolectados en el paso anterior para que almacenarlo en la base de datos.
- c. Búsqueda de publicaciones: se puede realizar una búsqueda con el fin de apoyar a la comprensión de algún principio de solución o funcionamiento que presente el sistema técnico a través las siguientes fuentes: artículos, enciclopedias, revistas tesis, paper, patentes o tutoriales. Vale recalcar que la efectividad de este paso, está determinada con el libre uso de internet de los integrantes del Departamento de Proyectos de Ingeniería.
- d. Búsqueda de eventos: cuando los sistemas técnicos presentan principios de funcionamientos que los ingenieros y técnicos desconocen, se puede optar por visitar ferias o eventos tecnológicos para recabar los datos necesarios para el proyecto de ingeniería inversa. Del mismo modo, las fotografías e informaciones recabas en los eventos se deben exteriorizar en un informe para el almacenamiento en la base de proyectos del área.

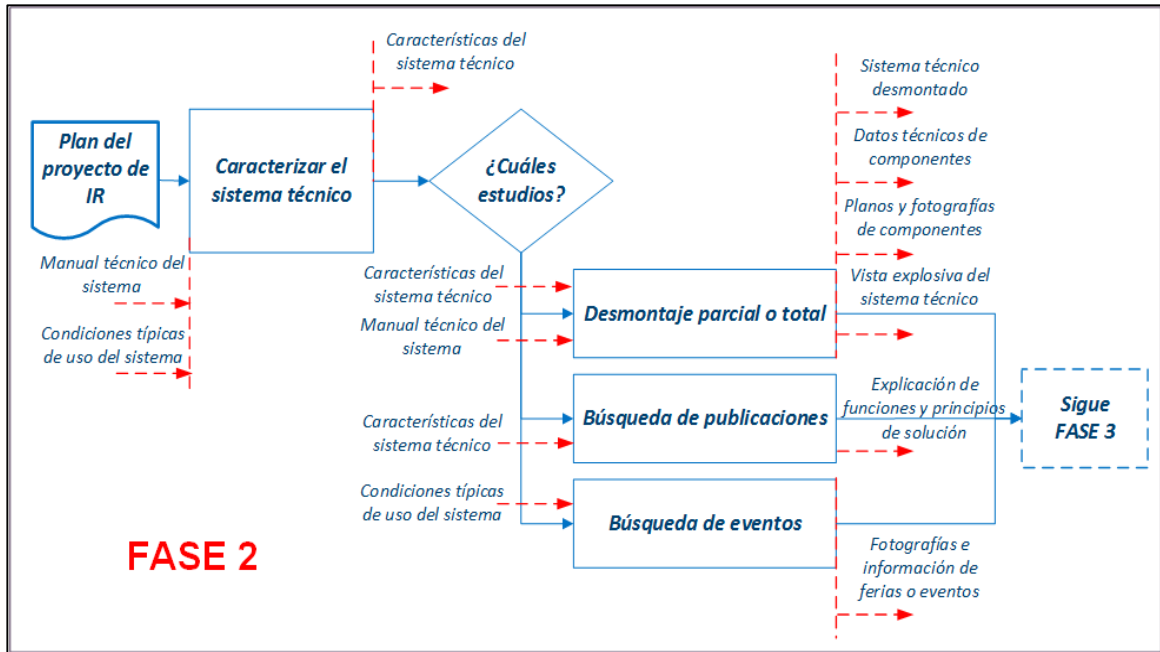


Figura 13. Fase 2: Análisis del sistema técnico.

3.2 Fase 3: Resultados de la ingeniería inversa.

Luego de concluir con las actividades anteriores, en la tercera fase se obtiene los resultados del proceso de ingeniería inversa tal como se muestra en la Figura 14. Entre ellas se encuentran: las recomendaciones de diseño y el almacenamiento de datos en la base de proyectos del área y en la carpeta de eventos del sector plástico.

- a. Recomendaciones de diseño: busca generar informaciones que orienten y apoyen en la ejecución de las actividades de diseño de otros sistemas técnicos. Vale destacar que el diseño de máquinas similares aprovecha más los resultados del análisis físico. Las recomendaciones pueden ser insertadas en el formato de la Tabla 18 donde son identificadas por el nombre del componente o subensamblaje.

Tabla 18. Cuadro con recomendaciones de diseño.

	Componente o subensamblaje	Función	Recomendaciones de diseño
1			
2			
3			

Con esto, los integrantes del proyecto pueden consultar directamente las recomendaciones de interés con respecto a un componente específico, en lugar de buscarlas en una lista. Por ejemplo, una recomendación orientada al tipo de sensor de una máquina detectora de forados de envases de plásticos puede ser insertada en el cuadro como:

Componente: Sensores reflectivos.

Función: Detección de los frascos en la entrada y salida de la máquina.

Recomendaciones de diseño: cambiar la estructura que los soporta por una más simple usando fierro en lugar de aluminio.

- b. Base de proyectos del área: permite el almacenamiento y la consulta de los resultados obtenidos de todo el proceso de ingeniería inversa como por ejemplo: fotografías, video, planos técnicos, lista de materiales y recomendaciones. Todo este paquete ayuda a la optimización de diseños y rediseños de otros sistemas técnicos. Por último, se recomienda que tanto los proyectos de ingeniería directa e inversa se guarden en una

- carpeta general en la nube (Google Drive, One Drive o Dropbox) para la consulta rápida desde cualquier dispositivo electrónico.
- c. Carpeta de eventos del sector plástico: las fotografías e datos sobre los atributos de máquinas que se hayan evaluado en un evento o feria relacionada al rubro de la empresa, se recomienda que se deben almacenar en una carpeta general para que sirva de apoyo a los proyectistas, en cualquier momento, en el diseño de sistemas técnicos.

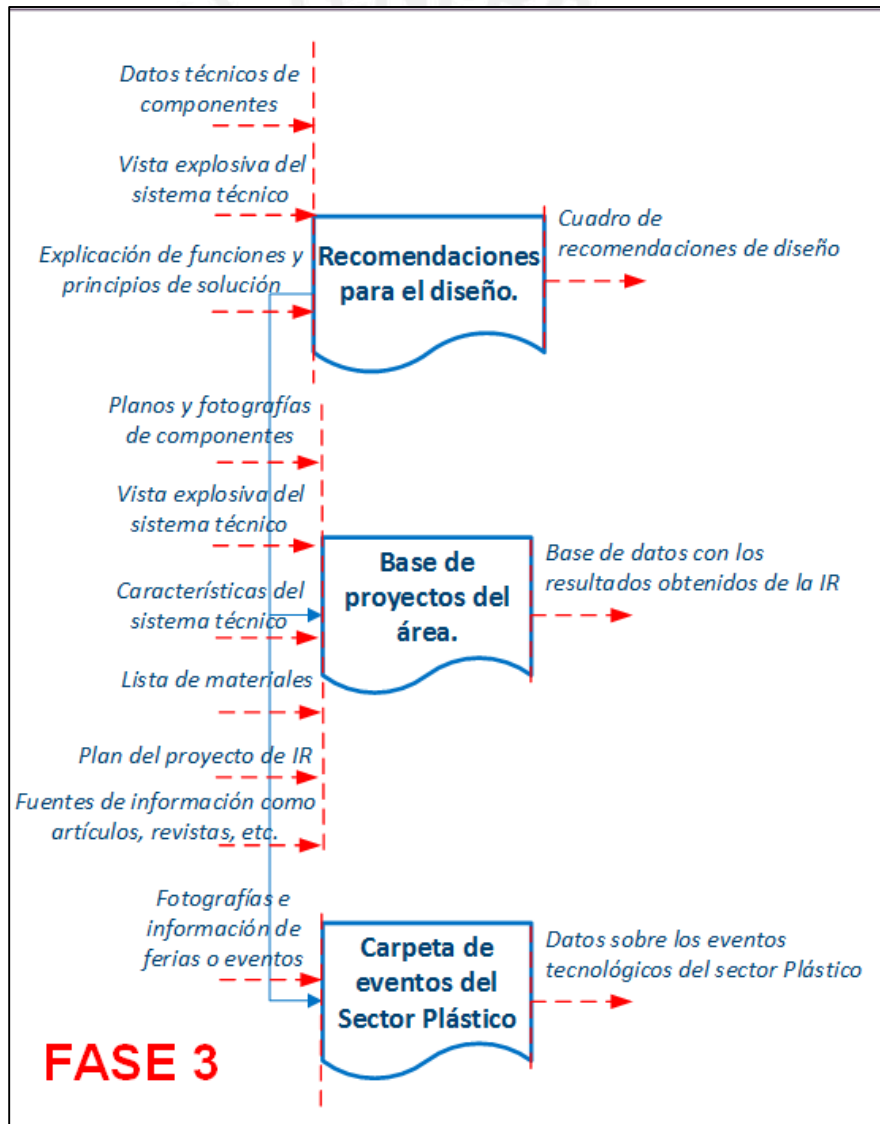


Figura 14. Fase 3: Resultados de la Ingeniería Inversa.

En este capítulo, fueron descritas las principales consideraciones de las fases del proceso de ingeniería inversa propuesto destinadas a la necesidad de identificar principios de solución y funciones de otros sistemas técnicos para luego desarrollar máquinas similares en el Departamento de Proyectos de Ingeniería de la empresa manufacturera peruana BBA. Para evitar que el proceso sea visto como lento por los integrantes del proyecto, se incluyó actividades prácticas y objetivas donde las informaciones obtenidas pudiesen ser fácilmente almacenadas y consultadas de forma independiente o en paralelo en la base de proyectos del área.

Con esto, se demuestra la importancia de la formalización del proceso de ingeniería inversa en términos de buenas prácticas con el fin de:

- Entender a profundidad el funcionamiento y los principios de solución del sistema técnico.
- Evitar perder tiempo y recursos durante el proyecto por no poseer un proceso claro y definido.
- Prevenir que los ingenieros y técnicos “se vayan por la tangente” olvidando los objetivos del proyecto ingeniería inversa.
- Almacenar los resultados de la ingeniería inversa en una base de datos para su consulta en cualquier momento.

CONCLUSIONES

La presente tesis tuvo como objetivo analizar el proceso de ingeniería inversa de la empresa BBA desde su creación hasta el año 2015 para conocer cómo y por qué ha sido realizado. A partir de ello, se genera distintas conclusiones de tipo teórico, de metodología, de caso y recomendaciones para investigaciones futuras:

1. La empresa BBA realiza ingeniería inversa de manera informal y desorganizada a las maquinarias de producción que adquiría del extranjero o a nivel nacional durante el periodo estudiado.
2. La empresa BBA realiza ingeniería inversa porque necesitaba desarrollar máquinas similares a las originales para ser utilizadas en la producción interna de la empresa. Además, los datos muestran que no se hubiera podido realizar este proceso sino fuera por lo bien equipado que se encontraba el área y la capacidad absorbente de sus ingenieros y técnicos.
3. La empresa BBA asume el riesgo de construir máquinas para su propia producción convirtiéndolo en una empresa competitiva en su sector, así como indica Leonard-Barton (1988, p. 265) “investigaciones en supervivencia en industrias altamente competitivas sugieren que las empresas que sobreviven son aquellas que están abiertas a los avances

del proceso tecnológico, incluso cuando el precio es caro en experimentaciones técnicas y en cambios organizacionales”.

4. La investigación presenta literatura variada sobre ingeniería inversa y adaptación tecnológica, luego verifica totalmente que la primera puede ser utilizada como una fuente de información para realizar la segunda.
5. La investigación identifica que los cambios o mejoras en las tecnologías originales que se realizaron después del proceso de ingeniería inversa, resultaron ser eventos de adaptación tecnológica de limitada duración a causa de los nuevos descubrimientos. Con esto, confirmamos que el proceso de adaptación tecnológica tiende a ser discontinua como lo plantea Tyre *et al.* (1994).
6. El marco teórico no considera el ciclo de vida tecnológico de las máquinas a las que se le aplicaron ingeniería inversa. Por ello, la investigación no las analiza desde una perspectiva de evolución (introducción, crecimiento, madurez y declive) sino cuán rentable y productiva es para la empresa (básica, clave, incipiente y emergente).
7. Existen procesos teóricos de ingeniería inversa que en la práctica no se aplican como fue el caso de la empresa estudiada.

8. Las aplicaciones que se le da a la ingeniería inversa son variadas y depende de cada organización. En este caso fue destinada a la necesidad de identificar principios de solución y funciones de otros sistemas técnicos para luego desarrollar máquinas similares para el uso interno de la empresa.
9. Los proyectos son afectados por la presión de producción cuando las máquinas son imprescindibles para la fabricación de los productos importantes de la empresa y las actividades del proceso de ingeniería inversa no se encuentran bien definidos: por ende se deja de lado procedimientos minuciosos de ingeniería. Sin embargo, esta proposición se verificó parcialmente porque faltó más conceptos teóricos que ayuden a encontrar más evidencias durante el estudio de caso.
10. Los datos indican que las tecnologías claves no son las únicas a las que se le aplica ingeniería inversa porque también las tecnologías básicas son necesarias para la producción. Todo esto indica que la selección de la tecnología para este proceso depende de las necesidades de producción en un determinado momento.
11. No se le da importancia a la propiedad intelectual en términos de protección y búsqueda; a pesar de que la empresa BBA crea su propia tecnología. En este punto vale recordar que, solo la tercera parte de las empresas manufactureras peruanas protege sus innovaciones (CONCYTEC, 2013).

12. Diversos autores manifiestan que los estudios sobre adaptación tecnológica deben evitar obtener datos mediante la retrospectiva porque estimula a que los encuestados dejen algunos detalles a causa del tiempo; por esta razón, es posible que las proposiciones 4 y 5 se hayan verificado parcialmente. Por ello, se recomienda que para futuros trabajos se realice un estudio longitudinal o investigación acción.
13. Las máquinas construidas por ingeniería inversa no resultaron ser copias porque, en todos los proyectos, se mejoró la configuración de elementos, funcionamiento y principios de solución con el fin de adaptarlas al proceso productivo de la empresa.
14. En el análisis de la parte de estudio no se verifica si las máquinas similares resultaron ser menos costosas que las originales al ser construidas por la empresa BBA porque no fue uno de los objetivos de la investigación. Pero, ayudarían a distinguir la efectividad del proceso de ingeniería inversa si se incluye en futuras investigaciones.
15. En el análisis de la parte de estudio no se verifica si las máquinas similares poseen la misma calidad técnica que las originales. Para esto, se debe realizar una comparación entre los aspectos técnicos de las máquinas por ejemplo, cuando se compra una máquina hecha en China con una de Alemania. Estos temas pueden ser planteados por futuras tesis para optar el título de ingeniero.

16. La validación de la propuesta no se llevó a cabo durante el periodo de investigación por decisiones tomadas por la gerencia de la empresa BBA. Sin embargo, se recomienda que es posible ahondar más la sistematización propuesta en tesis de maestría en ingeniería orientadas a la gestión (Engineering Management).

17. Con el fin de que, en algún momento, se llegue aplicar la propuesta de la investigación en el Área de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa BBA, no se incluyó muchos formatos y plantillas para rellenar porque la misma cuenta con colaboradores que trabajan alrededor de fuertes rutinas establecidas y desorganizadas. Sin embargo, se recomienda que el éxito de cualquier cambio organizacional depende de la convicción y constancia de los jefes y gerentes.

18. Para poder generalizar los resultados de la investigación, se recomienda realizar un estudio de casos múltiple con diversas empresas manufactureras peruanas que realicen ingeniería reversa. En este sentido, se podría utilizar esta investigación para la comparación de los resultados que se obtengan.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APIPLAST. (2014). *Ranking de las 150 primeras empresas exportadoras de productos plásticos y sus manufacturas 2012 - 2013*. Lima. Recuperado de <http://www.apiplastperu.com/ranking.pdf>
- Aplin, T. (2013). Reverse Engineering and Commercial Secrets. *Current Legal Problems*, 66(1), 341–377. doi:10.1093/clp/cut004
- Bozeman, B., Sarewitz, D., Feinson, S., Foladori, G., Gaughan, M., Gupta, A., ...Zachary, G. (2003). *Knowledge Flows and Knowledge Collectives: Understanding The Role of Science and Technology Policies in Development: Synthesis Report on the Findings of a Project for the Global Inclusion Program of the Rockefeller Foundation*. Recuperado de <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/apcity/unpan017425.pdf>
- Chen, Y. H., & Ng, C. T. (1997). Integrated reverse engineering and rapid prototyping. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3-4), 481–484. doi:10.1016/S0360-8352(97)00173-3
- Chiavenato, I. (1999). *Introducción a la teoría general de la administración* (5. ed). Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Chikofsky, E. J., & Cross, J. H. (1990). Reverse engineering and design recovery: a taxonomy. *IEEE Software*, 7(1), 13–17. doi:10.1109/52.43044
- CONCYTEC. (2013). *La Innovación Tecnológica en el Sector Manufacturero: Esfuerzos y resultados de la pequeña, mediana y gran empresa*. Lima. Recuperado de

<http://portal.concytec.gob.pe/index.php/publicaciones/documentos-de-trabajo/item/46-la-innovacion-tecnologica-en-el-sector-manufacturero>

Cooper, D. R., & Schindler, P. S. (2014). *Business research methods* (Twelfth edition). *The McGraw-Hill/Irwin series in operations and decision sciences*. New York, NY: McGraw-Hill/Irwin.

Dawes, S., Cresswell, A., & Cahan, B. (2004). Learning from crisis - lesson in human and information infrastructure from the World Trade Center response. *Social Science Computer Review*, 22, 52–66.

Escorsa, P., & Valls Pasola, J. (2003). *Tecnología e innovación en la empresa* ([2ª ed. ampl.]). Barcelona: Edicions UPC.

González, X., & Tansini, R. (2002). I+D e importación de tecnología: un análisis para la industria española y uruguaya. *Estudios de Economía Aplicada*, 20(3), 531–548.

Hage, J., & Aiken, M. (1970). *Social Change in Complex Organization*. New York: Random House.

Hidalgo Nuchera, A., León Serrano, G., & Pavón Morote, J. (2002). *La gestión de la innovación y la tecnología en las organizaciones*. *Economía y empresa*. Madrid: Ediciones Pirámide.

Hollander, S., & Knox, R. L. (1966). The Sources of Increased Efficiency: A Study of DuPont Rayon Plants. *Southern Economic Journal*, 32(3), 366. doi:10.2307/1054889

Howitt, P. (2004). Endogenous growth, productivity and economic policy: A progress report. *International productivity monitor*, (8).

- INEI. (2012). *Encuesta Nacional de Innovación en la Industria Manufacturera*. Lima.
- Jiménez, F. (Noviembre 2010). Crecimiento económico: enfoques y modelos, Departamento de Economía - Pontificia Universidad Católica del Perú Documento de trabajo N°305.
- Johnson, B., & Rice, R. (1987). *Managing Organizational Innovation: The Evolution from Word Processing to Office Information System*. New York: Columbia University Press.
- Leonard-Barton, D. (1988). Implementation as mutual adaptation of technology and organization. *Research Policy*, 17(5), 251–267.
- Lugones, G., Peirano, F., & Giudicatti, M. (2004). La Importancia de Consolidar la Normalización de Criterios en la Región y su Contribución para la Formulación y Gestión de Políticas de CyT: LOS INDICADORES DE INNOVACIÓN EN AMERICA LATINA. *XXIII Simposio de Gestao da Inovacao Tecnologica*, 1–13.
- Majchrzak, A., Rice, R., Malhotra, A., King, N., & Ba, S. (2000). Technology Adaptation: The Case of a Computer-Supported Inter-Organizational Virtual Team. *MIS Quarterly*, 24(4), 569–600.
- Merino, L., & Sepúlveda, J. D. (2010). Análisis de la adaptación tecnológica como proceso de desarrollo en las organizaciones. *Revista de Investigación*, 0(27), 61–67.
- MIL-HDBK-115A. (2006). *US ARMY REVERSE ENGINEERING HANDBOOK (GUIDELINES AND PROCEDURES)*. Redstone Arsenal: US Army Aviation and Missile Command.

- Montanha, J. (2011). *Sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos* (Tesis Doctorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- Montanha, J., Ogliari, A., & Black, N. (2007). Guidelines for Reverse Engineering Process Modeling of Technical Systems.
- Morgan, G. (1990). *Imágenes de la organización*. Madrid: Alfaomega Rama.
- OCDE. (2005). *Oslo manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data* (3rd ed). *SourceOECD*. Paris: OECD.
- Odagiri, H., Goto, A., Sunami, A., & Nelson, R. (Eds.). (2010). *Intellectual Property Rights, Development, and Catch-Up: An International Comparative Study. IPR and the Catch-Up Process in Japan*. New York: Oxford University Press.
- Odagiri, H., Gotō, A., Sunami, A., & Nelson, R. R. (2010). *Intellectual property rights, development, and catch up: An international comparative study*. Oxford, New York, N.Y: Oxford University Press.
- Olivarez, O. (2004). *Estrategia de crecimiento y empleo: una agenda preliminar, Perú: En: Crecimiento, competitividad y empleo en los Países Andinos*.
- Otto, K., & Wood, K. (1998). Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology. *Research in Engineering Design*, 10, 226–243.
- Otto, K. N., & Wood, K. L. (2001). *Product design: Techniques in reverse engineering and new product development*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

- Pooley, J. (1999). *Trade secrets. Intellectual Property Series*. New York: Law Journal Press.
- Rasool, G., & Philippow, I. (2010). Integrated Reverse Engineering Process Model. *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering*, (1), 307–311.
- Rekoff, M. (1985). On Reverse Engineering. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-15(2), 244–252.
- Rice, R., & Everett, R. (1980). Reinvention in the Innovation Process. *Knowledge*, 1(4), 499–514.
- Rogers, E. (1983). *Diffusion of Innovations* (3ra). New York: The Free Press.
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the Black Box*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shepherd, D., Pollock, L., & Vijay-Shanker, K. (2007). Case study: supplementing program analysis with natural language analysis to improve a reverse engineering task. *Proceedings of the 7th ACM SIGPLAN-SIGSOFT workshop on Program analysis for software tools and engineering*, 49–54.
- Tang, D., Zhu, R., Chen, X., Zang, T., & Xu, R. (2010). Functional Reverse Engineering for Re-creation Design. *Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology*, 66, 185–195.
- Tyre, M., & Orlikowski, W. (1994). Windows of opportunity : temporal patterns of technological adaptation in organizations. *Organization Science*, 5, 98–118.

- Van de Ven, A. (1986). Central problems in the management of innovation. *Management Science*, 32(5), 590–607.
- Vega Centeno, M. (2003). *El desarrollo esquivo: Intentos y logros parciales de transformación económica y tecnológica en el Perú, 1970-2000* (1. ed.). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Villarán, F. (1989). *Innovaciones Tecnológicas en la Pequeña Industria (Casos del sector metal mecánico)*. Lima: Fundacion Friedrich Ebert.
- Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes. (2008). *Reverse Engineering. Springer Series in Advanced Manufacturing*. Springer London.
- Von Hippel, E. v. (1988). *The sources of innovation*. New York: Oxford University Press.
- Wang, W. (2011). *Reverse engineering: Technology of reinvention*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Weiss, Z., & Pankowski, M. (2007). Knowledge Reengineering for reverse engineering purposes. *The Future of Product Development*, (1), 421–430.
- Wu, C.-C., Ho, C.-F., Hsung, W.-H., & Kao-Hui, K. (2014). PLM Usage Behavior and Technology Adaptation. *Multidisciplinary Social Networks Research*, 473(1), 76–91.
- Wu, H.-L., Chiu, Y.-C., & Lee, T.-L. (Eds.). (2010). *and Catch-Up: An International Comparative Study. IPR and Catch-Up: The case of Taiwan's IC Industry*. New York: Oxford University Press.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th ed.). *Applied social research methods series: Vol. 5*. Los Angeles, Calif.: Sage Publications.

ANEXO

PROYECTO 1: MÁQUINAS CALANDRAS



PROYECTO 2: MÁQUINAS DOSIFICADORAS



PROYECTO 3: HORNOS



PROYECTO 3: MÁQUINAS DECORADORAS



PROYECTO 6: MÁQUINAS LICUADORA



PROYECTO 7: MÁQUINAS IMPRESORAS



PROYECTO 8: MÁQUINAS DETECTORAS DE FORADOS



PROYECTO 10: CHILLER

