

01173



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

“REPRESENTACIÓN ABSTRACTA DE LAS
TRANSFORMACIONES GEOMÉTRICAS DE UN
TRANSFORMADOR ELÉCTRICO UTILIZADO EN
TELECOMUNICACIONES”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
(ÁREA MECÁNICA)
P R E S E N T A :
ING. ISMAEL MURILLO VERDUZCO



ASESOR: M. EN I. EUSEBIO JIMÉNEZ LÓPEZ

MÉXICO, D. F. CIUDAD UNIVERSITARIA

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Esteban y Rosario

“Por su amor y su apoyo incondicional”

A mi esposa

Irene

“Por su comprensión, apoyo moral y amor incondicional que me ofrece”

A mis hijos

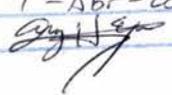
José Hiram y Emanuel

“ Por su cariño y la motivación que me inspiran”

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Ismael Murillo
Verduzco

FECHA: 1-Abr-2004

FIRMA:  P.A.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al **M.I. Eusebio Jiménez López** (candidato a doctor) por la dirección de este trabajo, por la confianza y amistad que me ha brindado, así como su ejemplo al ser un profesional en su investigación. También al **Instituto Tecnológico de Sonora** por su apoyo al darme la oportunidad de superarme académicamente, del mismo modo a la **Universidad Nacional Autónoma de México** y por último a la empresa **Midcom Inc.** por su valiosa cooperación para la realización de este trabajo.

ÍNDICE

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Prólogo	VIII
Resumen	X
Introducción	1
I.1 Definición de Constructive Solid Geometry (CSG)	5
I.2 Definición de Boundary Representation (B-rep)	7
I.3 Definición de Destructive Solid Geometry (DSG)	8
I.4 Sistema de modelado de descomposición espacial	9
I.5 Las ecuaciones de forma	9
I.6 Breve del trabajo de tesis	10
I.7 Método	11
I.8 Alcances	12
I.9 Resumen del capitulado	12
Capítulo 1: Descripción del proceso	15
1.1 Descripción de la empresa	15
1.2 Descripción del equipo	16
1.3 Primera etapa del proceso de manufactura	18
1.4 Segunda etapa del proceso de manufactura	22
1.5 Distribución de planta	23

Capítulo 2: Marco teórico	25
2.1 Características de los sólidos regularizados	25
2.2 Cambio de dominio	26
2.3 Relación de contacto	28
2.4 Relaciones de orden B^V	29
2.5 Sistematización del álgebra de Boole	30
2.5.1 La operación unión	30
2.5.2 La operación intersección	31
2.5.3 Propiedad distributiva	32
2.5.4 Las operaciones diferencia y complemento	32
2.5.5 Leyes de Morgan y acotación	33
Capítulo 3: Uniones geométricas y formalización de las operaciones abstractas de manufactura	34
3.1 Evento de operación	34
3.2 Primera variante de la unión (unión homogénea)	36
3.3 Segunda variante de la unión (unión homogénea en la frontera)	38
3.4 Tercera variante de la unión (unión no homogénea)	39
3.5 Cuarta variante de la unión (unión por disyunción)	41
3.6 Formalización de las operaciones abstractas de manufactura	44
3.6.1 Primera operación abstracta de manufactura: unión por ensamble	45
3.6.2 Segunda operación abstracta de manufactura: unión por montaje	46
3.6.3 Tercera operación abstracta de manufactura: unión por recubrimiento	47
3.6.4 Cuarta operación abstracta de manufactura: unión por soldadura con cordón de aporte	48

3.6.5	Quinta operación abstracta de manufactura: unión por soldadura sin cordón de aporte	49
Capítulo 4:	Ecuaciones de forma	50
4.1	Definición de ecuación de forma	51
4.2	Elementos que componen a una ecuación de forma	52
4.2.1	Características del dominio de manufactura de un componente simple	53
4.2.2	Operaciones abstractas de manufactura	55
4.2.3	Sucesiones de operaciones perfectas	56
4.3	Operaciones auxiliares	60
Capítulo 5:	Primer ecuación de forma de un componente complejo (transformador para telecomunicaciones)	65
5.1	Dominio de manufactura del componente	69
5.2	Operaciones y operadores booleanos	70
5.3	Sucesión de operaciones	72
5.4	Las ecuaciones de subpartes y productos preparados	76
5.5	La ecuación de forma del producto terminado PT	78
Capítulo 6:	Segunda ecuación de forma de un componente complejo (transformador para telecomunicaciones)	81
6.1	Dominio de manufactura del componente	82
6.2	Operaciones y operadores booleanos	83
6.3	Sucesiones de operaciones	84
6.4	Las ecuaciones de subpartes y productos preparados	86
6.5	La ecuación de forma del producto terminado PT	88

Capítulo 7: Algunas consideraciones sobre las ecuaciones de forma y resumen de primitivas	91
7.1 Algunas consideraciones sobre las ecuaciones de forma	91
7.2 Consideraciones en manufactura	93
7.3 Consideraciones en el diseño de productos	93
7.4 Resumen de primitivas	94
7.4.1 Parametrización del conjunto B^M : jerarquización de primitivas	96
Conclusiones	101
Referencias	103

Prólogo

Este trabajo de tesis tiene el propósito de generar conocimiento escrito para futuras generaciones de la Maestría en Ingeniería Mecánica y campos afines, interesadas en la modelación geométrica de sistemas de manufactura.

La representación por sólidos de los procesos de manufactura es de gran importancia para la planificación y diseño de sistemas productivos. Es, en principio, el modelo que organiza la información geométrica y no geométrica de los procesos y operaciones. Dicha información es abstracta. En este trabajo se modela una pieza electrónica (transformador) usando ecuaciones de forma y esta integrado a un proyecto que consta de 6 partes:

- 1) Representación abstracta de las transformaciones geométricas de un transformador eléctrico utilizado en telecomunicaciones.
- 2) Modelado por primitivas de los procesos y operaciones en la línea de producción de Midcom Inc.
- 3) Análisis de la distribución de planta de la línea Midcom Inc. usando ecuaciones de forma y circunferencias de distribución.
- 4) Análisis, modelación y simulación de una trayectoria continua para la aplicación de soldadura en un transformador eléctrico.
- 5) Sincronización local de la línea Midcom Inc. usando el método de vórtice.
- 6) Sincronización global de la línea Midcom Inc. usando un código binario.

El objetivo es utilizar métodos sistemáticos para modelar problemas industriales, principalmente problemas de diseño y planificación de sistemas productivos.

La presente tesis forma parte de la línea de investigación "Simulación de sistemas de manufactura", desarrollada por la sección Mecánica de la DEPMI, UNAM. El acervo bibliográfico de la línea de investigación está compuesto por tesis, informes internos de investigación y artículos nacionales e internacionales. Este trabajo de tesis es contribución a dicho acervo.

Finalmente, se agradece a todas aquellas personas que participaron en la elaboración de este trabajo de tesis.

Resumen

En este trabajo de tesis se utilizaron ecuaciones de forma para modelar los procesos de manufactura de un componente (transformador) para la industria de las telecomunicaciones. Se analizaron 11 operaciones reales de manufactura (embobinado, encintado, ensamble, soldadura, quitado de excedente) usando el operador booleano unión y la diferencia. Fueron utilizadas dos secuencias de operaciones admisibles geoméricamente para construir dos ecuaciones de forma. El dominio de manufactura está compuesto de 46 elementos, las familias formadas son representadas por 12 materias primas, 11 sólidos de producto preparado, 11 sólidos de materiales agregados o extraídos, 11 sólidos de subproductos y 2 sólidos que representan al producto terminado. Se utilizaron dos operaciones auxiliares, la unión de preparación y la diferencia (quitado de excedente). Se utilizó la representación de sucesión por nomenclatura y la tabla de eventos. Finalmente, los resultados obtenidos serán usados para generar modelos de manufactura en base a primitivas.

Palabras claves: Constructive Solid Geometry, modelado de sólidos, procesos de manufactura, primitivas.

Abstract

In this thesis work form equations were used to model the manufacturing processes of a component (transformer) for the industry of the telecommunications. 11 real operations of manufacturing were analyzed (coiling, taped, assemble, welding, removed of surplus) using the operator boolean union and the difference. Two sequences of acceptable operations were used geometrically to build two form equations. The manufacturing domain is made up of 46 elements, the formed families are represented by 12 raw materials, 11 solids of prepared product, 11 solids of materials attachés or extracted, 11 sub products solids and 2 solids that represent to the finished product. Two auxiliary operations, the preparation union and the difference were used (removed of surplus). the succession representation was used by nomenclature and the chart of events. Finally, the obtained results will be used to generate manufacturing models based on features.

Key words: Constructive Solid Geometry, modeling of solids, manufacturing processes, features.

Introducción

En este trabajo de tesis se cumplirán los objetivos siguientes:

- Modelar los procesos de manufactura de un componente eléctrico (transformador) para la industria de las telecomunicaciones, usando ecuaciones de forma.
- Caracterizar el operador booleano unión y sus variantes para representar operaciones reales de: 1) embobinado, 2) encintado, 3) ensamble y 4) soldadura.
- Generar dos ecuaciones de forma de dos secuencias de operaciones admisibles geoméricamente.

El modelado geométrico de un componente puede ser representado en diferentes maneras, los modelos generados en el diseño son usados para una variedad de propósitos, además, los modelos tienen un mejor papel en la comunicación de los diseños entre los participantes en el proceso, y aquellos que están involucrados en la manufactura, desarrollo y subsecuentes uso del producto [1].

La figura I.1 muestra la importancia de los modelos en el proceso de diseño.

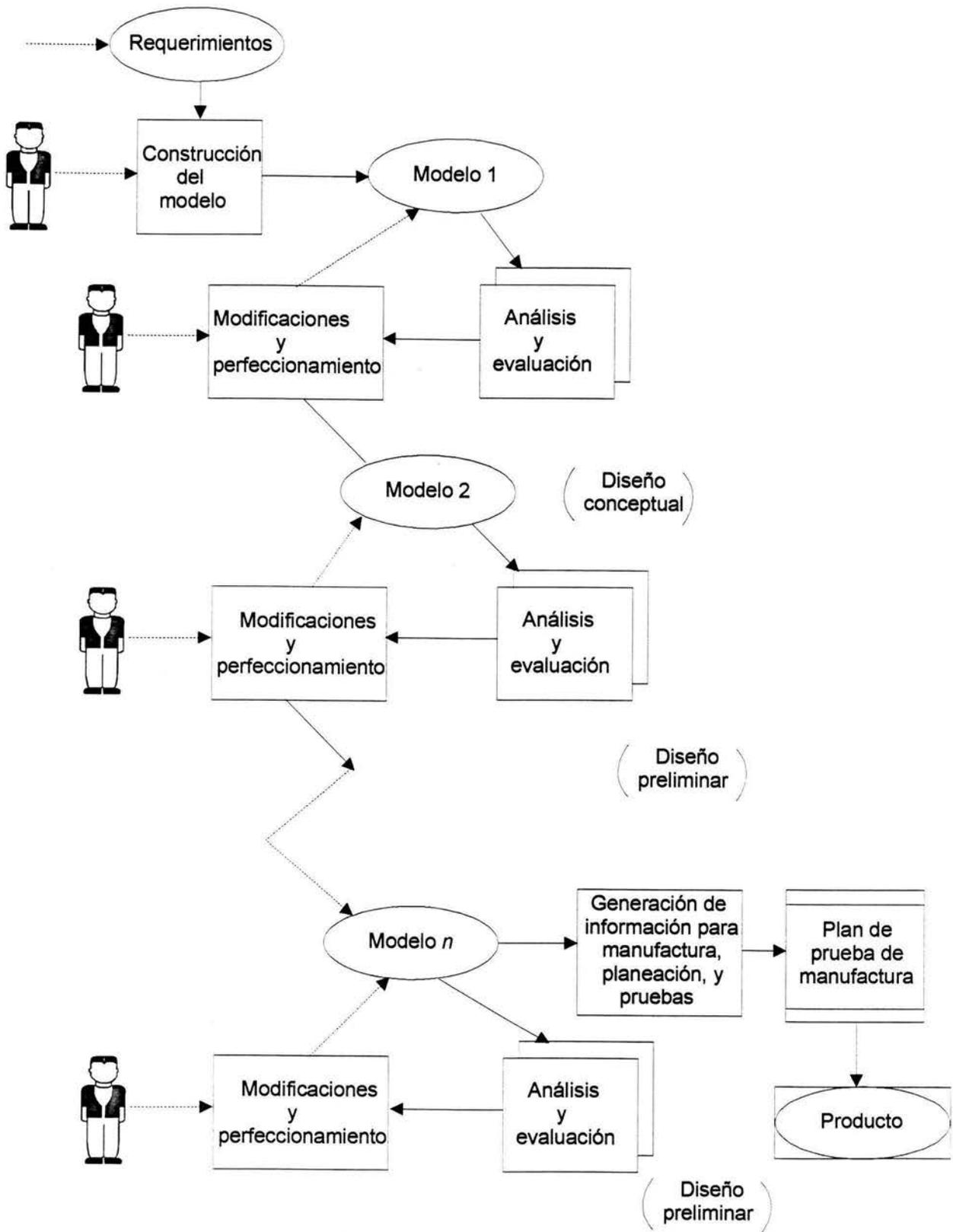


Figura I.1 Proceso de diseño.

Durante el proceso del diseño, el diseño es progresivamente perfeccionado en lo abstracto, hasta que éste es completamente definido para la manufactura o construcción. Para apoyar su desarrollo, los diseñadores construyen una serie de modelos de varios aspectos del diseño, usando varias técnicas de representación. Otras técnicas involucradas secuencialmente o concurrentemente en la evaluación del diseño y en la manufactura del el producto, extraen la información de esos modelos y del proceso, generando nuevos modelos para ayudarlos en su trabajo [1,2].

El objetivo del “Computer Aided Design” (CAD) es aplicar la computadora en el modelado y la comunicación del diseño [1,3].

Los modelos han sido desarrollados y perfeccionados en todo el proceso de diseño y aplicado a varias etapas de la evaluación del diseño, o a la generación de información para manufactura. Esto corresponde con la visión del CAD, el cual debe involucrar el desarrollo de una descripción del diseño central en el que, todas las aplicaciones en diseño y la manufactura se deben alimentar. Esto implica que las técnicas basadas en computadoras para el análisis y simulación del diseño y la generación de instrucciones de manufactura, deben estar estrechamente integrada con las técnicas para el modelado de figuras y estructuras del diseño [1,4].

Existen dos tipos de modelos: 1) modelos de figuras, estos modelos involucran dibujos de componentes y sus arreglos en ensambles, 2) modelos de estructura, estos modelos están compuestos por diagramas que muestran los componentes de un sistema y como ellos son conectados [1].

La técnica de representación de figuras, en tres dimensiones a espacios de dos dimensiones se conoce como “geometría descriptiva” [1].

Los diagramas de estructura lógica o física de un sistema en términos de montaje de las partes primitivas y la relación entre éstas, son mostrados por una serie de símbolos unidos por conexiones.

La extracción de información de los dibujos y diagramas ha estado forzando a que las representaciones del modelo principal de un diseño, son usado para generar más modelos para la valoración y para la generación de información de manufactura. Quizás estas es la gran debilidad a la que están atados los métodos convencionales. Los ingenieros requieren de nuevos modelos para identificar visualmente la información requerida de un dibujo o diagrama. En esto consiste la limitación, los dibujos son fáciles de ser mal interpretados, por ser ambiguos, o por error en el dibujo o por un error humano en la interpretación [1].

El CAD puede contribuir a automatizar y mejorar las técnicas existentes, o a proveer nuevos métodos. La generación de dibujos y diagramas en la computadora pertenece a la primera categoría y busca mejorar el proceso del modelado en el diseño para incrementar la velocidad con la cual los diseños pueden ser representados, y la precisión de representación. Esto se logra en parte para proporcionar de manera semiautomática, recursos para tales tareas como la anotación de dibujos con dimensiones y etiquetas, o para construcciones complejas, pero especialmente para el uso repetitivo de dibujos geométricos. Haciendo esto substancialmente reduce el riesgo de transcripción de errores en la propagación de geometría a través del proceso de diseño, y en la extracción de información geométrica para análisis y manufactura [1].

Las representaciones que utilizan la ayuda de la computadora son: dibujos, dibujos de esquemas, modelado de esquemas en tres dimensiones, geometría de estructura de alambre y modelado de superficie como representación de esquemas. Estas representaciones geométricas de objetos son consideradas esencialmente modelos parciales; así como, la proyección a dos dimensiones, de bordes o figuras, o representaciones a tres dimensiones de bordes o superficies. En cada caso, la

figura de sólidos de los objetos ha estado interfiriendo la forma del modelo. Para muchos propósitos de ingeniería estas representaciones son satisfactorias, pero al incrementarse la aplicación de la computadora en el análisis de ingeniería, o a la generación de información de manufactura, significa que una representación ideal debería ser tan completa como sea posible [1].

Una representación completa (de información) podría permitir alguna geometría bien definida propia de algún sólido representado al ser calculado automáticamente. Por tanto, la representación más completa, los requerimientos más pequeños en la transcripción entre modelos por los humanos, y los riesgos más pequeñas de errores en transcripción, son motivos para que las técnicas de modelado de sólidos halla sido desarrolladas con el objetivo de proporcionar tal representación, con un éxito, tal que este es ahora la representación de preferencia para la mayor ventaja de aplicaciones del CAD. Un esquema exitoso para representar sólidos debe ser: 1) completo y sin ambigüedades, 2) apropiado para los objetos del mundo de ingeniería y 3) práctico para usarse en las computadoras [1,5,6].

Muchos métodos han sido propuestos para modelado de sólidos, de los cuales ninguno todavía es enteramente satisfactorio, pero dos han sido parcialmente exitosos, y han venido a dominar consecutivamente el desarrollo de sistemas prácticos, estos métodos son "Constructive Solid Geometry" (CSG) y "Boundary Representation" (B-rep) [7,8,9].

I.1 Definición de Constructive Solid Geometry (CSG)

"Constructive Solid Geometry" (CSG) es una propuesta de modelado geométrico que aplica operaciones volumétricamente, conforme a un árbol CSG. Los nodos padre en un árbol CSG representa operaciones tales como la "unión" (\cup), "intersección" (\cap) y "diferencia" ($-$). Los nodos hojas del árbol representan objetos primitivos. Es común asociar transformaciones con cada nodo, esto permite un

escalado flexible de rotación y traslación de componentes del modelo CSG. La figura I.2 ilustra un modelo CSG compuesto de esfera, caja y dos cilindros [1,10,11,12].

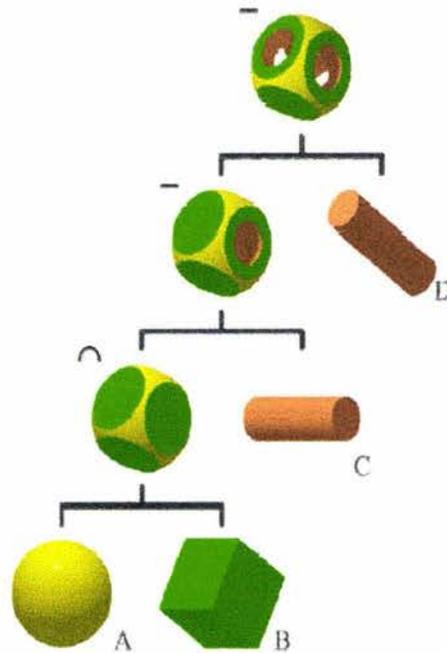


Figura I.2 Árbol CSG.

“En el método CSG, los modelos son construidos usando combinaciones de primitivas de sólidos simples, tales como cubos, cilindros, esferas, conos, etc. El nombre alternativo para el método CSG es, “modelado en la teoría de conjunto”, y éste surge del modo en el cual son usadas las combinaciones de los operadores unión, intersección y diferencia de la teoría de conjunto. Los resultados de las operaciones son más sólidos compuestos, los cuales pueden ser combinados con otras primitivas o sólidos compuestos para crear formas adicionales[1,3,9,13]”.

El método de construcción CSG es tal que, figuras realmente complejas pueden ser desarrolladas relativamente rápida, dentro de las limitaciones del conjunto de primitivas disponibles del sistema. Los modelos están, sin embargo, almacenados en figuras no evaluadas, en que los bordes y superficies que resultan de la combinación de las primitivas tienen que ser calculadas cuando se requieren, con una penalidad acompañada en tal desempeño. El cálculo de intersecciones entre

las superficies de las primitivas, para propósito de evaluación o otros análisis del modelo, es uno de los problemas computacionales importantes en el CSG. Las consecuencias primeramente han sido que el rango de primitivas geométricas es con frecuencia limitado a aquellos con superficie planas o cuadradas, las cuales tienen algoritmos de intersección de línea/superficie o superficie/superficie razonablemente sencillas, y segundo que las geometría complejas llevan rápidamente a una degradación al desempeño[1,2,3,14].

I.2 Definición de Boundary Representation (B-rep)

Los modelos "Boundary Representation" (B-rep) representan a un sólido indirectamente por una representación de sus superficies circunscritas (cerradas). Un sólido B-rep es representado como un volumen contenido en un conjunto de superficies junto con información topológica que define la relación entre las superficies. Los modelos B-rep incluye tal información topológica, un sólido es representado como un espacio cerrado en 3-D. La frontera de un sólido separa puntos internos de puntos externos del sólido. Los modelos B-rep pueden representar una clase amplia de objetos pero la estructura de información es compleja, y esto requiere un gran espacio de memoria [4,15].

Un objeto sólido es representado por una colección de caras. Normalmente una cara es una región cerrada de una superficie, plana, cuadrática, toroidal, o esculpida. La región cerrada de la superficie que forma la cara es representada por una curva cerrada que esta en la superficie. Una cara puede tener varias curvas cerradas al representar hoyos en un sólido. Las curvas cerradas de una cara son representadas por bordes. La parte de la curva que forma los bordes esta representada por dos vértices. Un modelo B-rep tiene que cumplir las siguientes condiciones: El conjunto de caras forma una capa completa de un sólido con partes no perdidas, y las caras

no se interceptan ellas mismas. Estas condiciones no permite su propia intersección y abrir objetos [6,8,14].

I.3 Definición de Destructive Solid Geometry (DSG)

La técnica de representación del “Destructive Solid Geometry” (DSG) es una particularidad del CSG y consiste en representar un producto a través de figuras geométricas asociadas con el proceso de maquinado y el operador booleano diferencia [1,2,3]. Para utilizar el DSG es necesario apegarse a ciertas reglas:

- 1) El diseñador debe usar únicamente el operador diferencia para remover material.
- 2) El diseñador puede eliminar una primitiva, pero dos primitivas no pueden cancelarse la una con la otra.
- 3) Una primitiva generada por una operación es siempre más pequeña que la parte anterior.
- 4) El material removido nunca debe ser igual o mayor que el cuerpo geométrico base (materia prima).

Aquí, el término “primitiva” esta relacionado con la figura geométrica del sólido extraído.

Otra técnica de representación de sólidos es: Alternating Sum of Volume (ASV). La técnica de representación ASV consiste en descomponer un producto en serie de objetos convexos intercambiando alternativamente las operaciones de suma y resta de volúmenes [2,3].

I.4 Sistema de modelado de descomposición espacial

Los esquemas de descomposición espacial incluyen la “enumeración espacial”, “descomposición de celda” y “representación octree”. La enumeración espacial representa tanto a un objeto como a una colección de volumen de celdas. La representación de objetos es relativamente fácil de mantener pero difícil de crear debido a la estructura simplista del esquema. Las formas compuestas de variación de curvatura grande son más difíciles de modelar por que requieren más geometría que las que proporcionan las celdas cúbicas. “La descomposición de celdas” es una generalización de la “enumeración espacial” y permite celdas de varios tamaños y forma. “La representación octree” permite una subdivisión recursiva de celdas parcialmente ocupadas, pero requiere significativamente más memoria cuando el tamaño de la celda es más pequeño [1,14].

I.5 Las ecuaciones de forma

Recientemente, se ha desarrollado otra técnica de representación por sólidos llamadas “Ecuación de Forma” [3,16,17,18,19,20]. Dicho modelo, es una representación abstracta de las transformaciones geométricas de materias primas en producto terminados. Este modelo utiliza la misma plataforma que el CSG (teoría de conjuntos), pero con aplicaciones diferentes. La idea de la ecuación de forma se relaciona más con las formas de representar los procesos de manufactura de componentes bajo la plataforma del álgebra de Boole, la cual es la misma que la asociada con la técnica CSG. Se puede afirmar que mientras en CSG se usa más en la etapa del diseño de componentes; esto es, al permitirle al diseñador una serie de elementos primitivos tales como sólidos base, operaciones booleanas, funciones de extrusión y revolución (estas funciones se usan para crear sólidos a partir de proyecciones planas y no son exclusivas del CSG) para diseñar un componente, las ecuaciones de forma parten ya de un plano de fabricación de un componente o un conjunto de componentes y usan sólidos y operadores booleanos parametrizados en

términos de manufactura para representar las transformaciones geométricas y de manufactura de tales componentes. Por ello, la diferencia del CSG y el modelo de las ecuaciones de forma es en realidad en las aplicaciones más no así, en el modelo o teoría matemática, pues ambas parten del álgebra de Boole [23].

Los elementos primitivos del modelo son: 1) sólidos regularizados (los cuales representan los componentes de manufactura), 2) operadores abstractos de manufactura (representaciones de las operaciones reales) y 3) secuencia de operaciones admisibles geoméricamente.

El modelo de ecuaciones de forma, representa en sí, el primer modelo básico de la información geométrica y de manufactura de un componente sujeto a proceso. De hecho, se puede afirmar que dicho modelo, es, en realidad, una representación por primitivas (features) de bajo contenido de información [19].

La ecuación de forma sirve como base para generar un modelo más completo en el sentido de la información, llamado matriz de primitivas[2,17].

Otra aplicación importante de la ecuación de forma es en la distribución preliminar de maquinaria [21,22]. Puesto que los elementos primitivos de los cuales se forma, están relacionados con la maquinaria, líneas de distribución de flujo de materiales y puntos de entrada y salida definidos en el área de trabajo de un sistema productivo.

I.6 Breve del trabajo de tesis

En este trabajo de tesis se usarán ecuaciones de forma para representar las transformaciones geométricas de un componente electrónico usado en telecomunicaciones. Para ello, se usarán dos secuencias de operaciones admisibles geoméricamente y operadores booleanos parametrizados en términos de manufactura [23].

Los componentes de proceso son representados por sólidos regularizados; es decir, sólidos que poseen fronteras analítica e interior. Son estudiadas y representadas tres operaciones básicas de manufactura: 1) embobinado, 2) soldadura por inmersión de estaño y 3) ensamble. Se utilizó el concepto de evento de operación para caracterizar dichas operaciones. Finalmente, el marco teórico base de modelo de ecuaciones de forma es el álgebra de Boole [23, 24].

I.7 Método

Para construir las ecuaciones de forma relacionadas con el componente electrónico motivo de estudio en este trabajo de tesis, se usará la siguiente metodología:

- 1) Caracterización del dominio de manufactura del componente.
- 2) Interpretar operaciones reales y asociar operaciones booleanas parametrizadas.
- 3) Caracterizar, si existen, operaciones de preparación.
- 4) Definir sucesiones o secuencias admisibles geoméricamente de operaciones de manufactura.
- 5) Generar las ecuaciones de subforma y productos preparados.
- 6) Expandir la última ecuación de subforma y encontrar la ecuación de forma.
- 7) Representar geoméricamente la ecuación de forma.

I.8 Alcances

En este trabajo de tesis sólo se analizan las representaciones geométricas y de manufactura del componente en estudio, usando un nivel de abstracción máximo (mínimo, pero funcionalmente contenido de información). Las operaciones reales de manufactura son representadas por operaciones booleanas [23,24] y, por tanto, el contenido de información de estos operadores es abstracto. La caracterización de manufactura de los operadores es dada por relaciones geométricas y por indicadores de manufactura.

Es importante mencionar que el hecho de usar el concepto de “evento de operación” implica que el tiempo de las operaciones no es incluido, así como parámetros que representen herramientas [23].

El estudio se centra únicamente dos representaciones de manufactura (2 ecuaciones de forma), puesto que las restantes son inadmisibles, ya que el proceso es secuencial.

Cabe señalar, finalmente, que no se incluyen, en esta tesis, todos los planos de fabricación del componente analizado, ya que dicha información compromete la competitividad de la empresa Midcom Inc. la cual se le agradece su valiosa cooperación de la realización de este trabajo.

I.9 Resumen del capitulado

En este trabajo de tesis consta de 7 capítulos y 1 apéndice los cuales se resumen a continuación:

En el capítulo 1 se da una descripción general del proceso en el cual se incluye la descripción de la empresa donde se manufacturan los transformadores

(componente) que se utilizan en telecomunicaciones, así como el proceso de manufactura que se requiere para construir dicho transformador. Del mismo modo se describen las máquinas que participan en el proceso para obtener el producto terminado.

En el capítulo 2 se presenta el marco teórico, aquí, se da un breve resumen de las propiedades y consideraciones del álgebra de Boole, definida en el conjunto de sólidos regularizados en los cuales, es posible que dos o más sólidos sean penetrados.

En el capítulo 3 se presenta una parametrización geométrica al operador boleano unión (\cup). Se define el concepto de “estado de operación”, se caracterizan las variantes geométricas de la operación unión ($\cup : B \times B \rightarrow B$). Se utilizan relaciones abstractas entre la unión y sus variantes, y las operaciones reales de manufactura, principalmente aquellas que “unan” materiales primas como las clases 1; que son ensamble, montaje, recubrimiento y sellos, así como la de la clase 2 que son soldaduras con cordón de aporte y soldadura sin cordón de aporte.

En el capítulo 4 se presentan las definiciones de ecuación de forma y se describen los elementos que las componen, se caracteriza el dominio de manufactura de un componente simple, se dan los pasos a seguir para obtener las operaciones abstractas de manufactura y las secuencia de operación. Además, se caracterizan las operaciones auxiliares que son: la unión por preparación y la diferencia de premaquinado. Finalmente se presenta el procedimiento para generar la ecuación de forma.

En el capítulo 5 se construye la primera ecuación de forma de un componente utilizado en las telecomunicaciones, siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 4.

En el capítulo 6 se construye la segunda ecuación de forma del componente.

En el capítulo 7 se discuten algunas consideraciones importantes relacionadas con el modelo de ecuaciones de forma. Se presenta un breve resumen de primitivas de manufactura.

Finalmente, se dan las conclusiones de este trabajo y se presenta un apéndice, el cual contiene los planos de fabricación del componente analizado.

Capítulo 1

Descripción general del proceso

Introducción. En este capítulo se da una descripción general de la Empresa donde se manufacturan transformadores eléctricos que se utilizan en tarjetas electrónicas de algunos dispositivos usados en los servicios de telecomunicaciones, así como el proceso de manufactura que se requiere para construir dichos transformadores. Del mismo se describen las máquinas que participan en el proceso para obtener el producto terminado.

1.1 Descripción de la Empresa

Midcom Inc. es una Empresa de capital norteamericano, con matriz en Watertown, Dakota del Sur, USA. Se dedica a la manufactura de transformadores para telecomunicaciones. Una de sus empresas filiales se encuentra ubicada en el parque industrial de Cd. Obregón, Sonora, desde 1997. Sus principales clientes se dedican al ensamble de tarjetas de modem, redes, enlaces de internet, centrales telefónicas, etc y entre los mas grandes se encuentran, Alcatel, 3Com, Nortel Telecom, Motorola, Westell, Adtran, Mitel, etc., la figura 1.1 muestra la fachada de la planta.



Figura 1.1 Fachada de la planta. (Cortesía de Midcom Inc.)

1.2 Descripción del equipo

La Empresa Midcom Inc. manufactura transformadores para telecomunicaciones; el proceso de manufactura es secuencial y se lleva a cabo en una línea de producción que consta de dos etapas, y cada etapa consta de las siguientes máquinas:

Máquinas devanadoras Tanac de origen Japonés, en su mayoría y las máquinas actuales son de tecnología Italiana (Máquinas Marsilli). La figura siguiente muestra la configuración de la máquina descrita anteriormente:



Figura 1.2 Máquina devanadora. (Cortesía de Midcom Inc.)

En el interior de estas máquinas también se encuentra la encintadora que coloca una cinta aislante en cada devanado. Dicha máquina se muestra en la figura 1.3

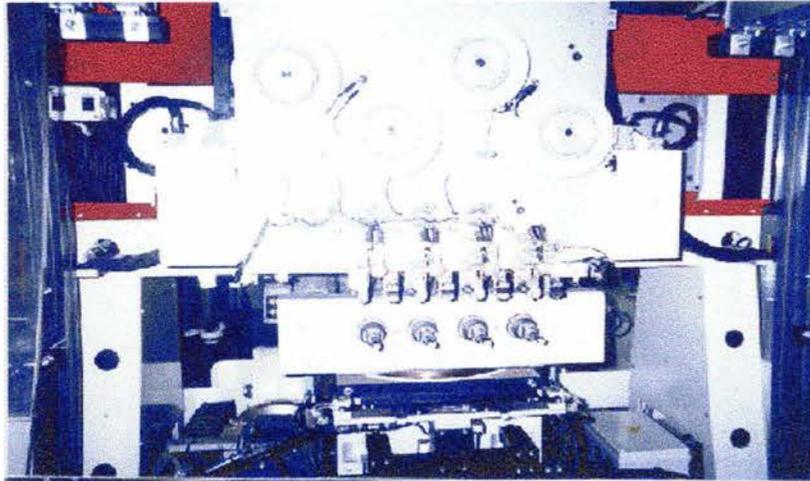


Figura 1.3 Encintadora. (Cortesía de Midcom Inc.)

Se cuenta también con máquinas soldadoras (la soldadura se lleva cabo por inmersión, y normalmente se usa 67/33 % de estaño y plomo respectivamente), una máquina soldadora se muestra en la figura 1.4

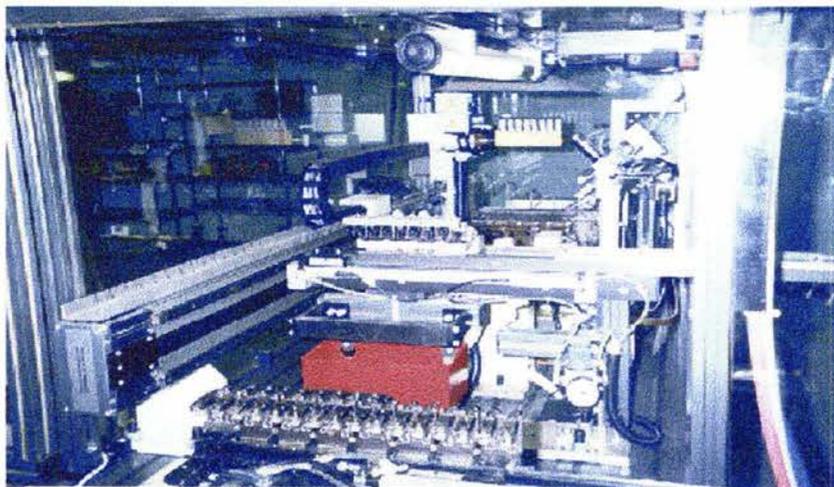


Figura 1.4 Máquina soldadora. (Cortesía de Midcom Inc.)

Otro dispositivo integrado al sistema productivo, es una máquina de moldeo por inyección de plástico que calienta e inyecta un polímero a presión. Esta máquina se muestra en la figura 1.5

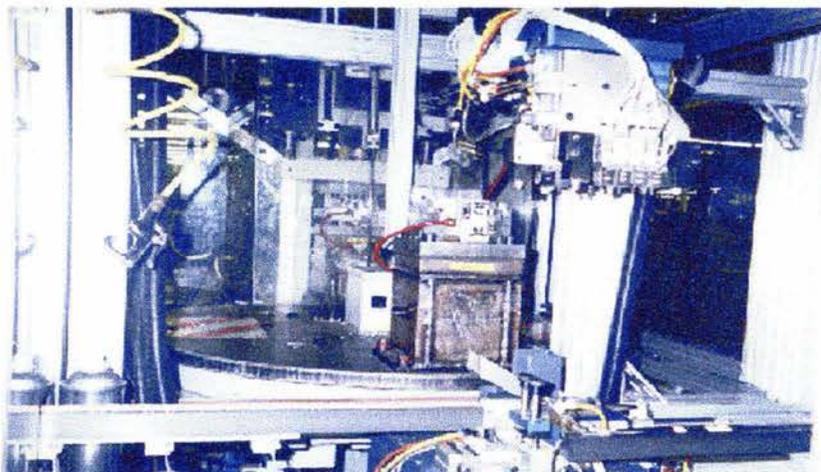


Figura 1.5 Máquina moldeadora. (Cortesía de Midcom Inc.)

1.3 Primera etapa del proceso de manufactura

La materia prima base es una bobina (pieza A) hechas de plástico (polímero) que contiene ocho terminales (patas) compuestas de un material de aluminio con alguna aleación. Cuatro de ellas están en un extremo y la otras cuatro en el otro, como se muestra en la figura 1.6, éstas sirven para sujetar las puntas de los embobinados (arrollamiento de alambre de cobre cubierto de un barniz aislante) y su colocación en las tarjetas electrónicas.

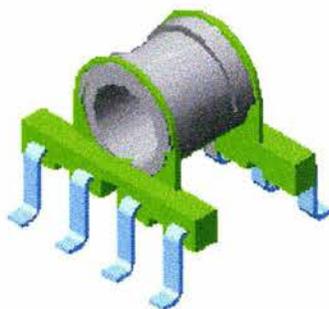


Figura 1.6 Pieza A (bobina). (Cortesía de Midcom Inc.)

El proceso se inicia cuando se colocan en forma manual las bobinas a la tolva del alimentador, el cual las ordena en forma adecuada por medio de vibración en un riel que mueve las piezas por vibración y, posteriormente, las transporta hacia un manipulador (tipo brazo recolector 3 GDL) que toma de una posición y coloca en la otra parte. Dicho mecanismo coloca cuatro de ellas en un dispositivo que sirve de sujetador (para mayor facilidad de maniobra en el proceso). Después este dispositivo es transportado en una trayectoria recta por medio de una banda (tipo sinfín) situada en el exterior de la entrada de la máquina embobinadora, y ésta la traslada hacia el interior de la primera máquina embobinadora. Dentro de la máquina devanadora el dispositivo con las piezas A, son colocadas por un manipulador de 2 GDL en una mesa giratoria y ésta al girar 180 grados, coloca al dispositivo sujetador en la sección de embobinado, donde se lleva a acabo el primer embobinado o enrollado del alambre de cobre (B_1), ver figura 1.7.



Figura 1.7 Primer embobinado de alambre de cobre (B_1). (Cortesía de Midcom Inc.)

También se enrolla las dos puntas del alambre mostrado en la figura 1.7 de los embobinados en un par de terminales o patas de cada una las cuatro bobinas o piezas A al mismo tiempo, quedando como se muestra en la figura 1.8.

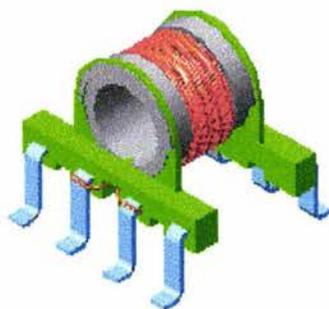


Figura 1.8 Bobina con el primer embobinado (pieza B). (Cortesía de Midcom Inc.).

Después de este proceso las bobinas con sus embobinados (piezas B) son transportadas al área de encintado por la mesa giratoria donde se enrolla la cinta aislante (C_1) encima de cada uno de los embobinados (pieza C), que sirve para separar a los embobinados. La figura del encintado se muestra en la figura 1.9.

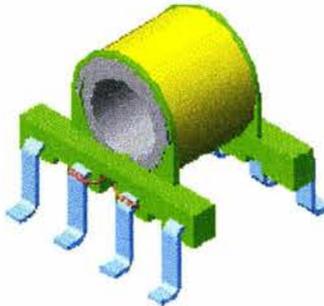


Figura 1.9 Encintado que separa los embobinados (Pieza C). (Cortesía de Midcom Inc.)

En el siguiente paso se coloca el dispositivo con las cuatro piezas C por el mismo manipulador de 2 GDL en la misma banda sinfín y ésta trasladada al dispositivo a la entrada de la primera máquina soldadora. Aquí, un manipulador de 3 GDL manipula el dispositivo con las piezas C al interior de la máquina soldadora, donde son soldadas por inmersión las terminales y las puntas del embobinado, de la siguiente manera: primero, se coloca en las terminales la grasa líquida la cual limpia la suciedad y enseguida, son inmersas en la soldadura de estaño (S_1) que está en un recipiente en estado líquido a cierta temperatura, posteriormente se colocan en una barra caliente para eliminar el excedente de soldadura (F_1) quedando como lo muestra la figura 1.10.

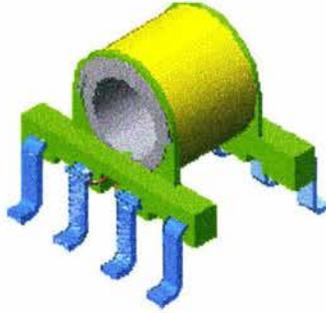


Figura 1.10 Terminales de la pieza A y puntas del embobinado soldadas (Pieza D). (Cortesía de Midcom Inc.)

Después de esto, el dispositivo sujetador que lleva las bobinas con su primer embobinado, su encintado y soldadura (pieza D) es trasladado por un manipulador de 3 GDL al riel vibrador el cual las transporta hacia la primer máquina de moldeo por inyección de plástico, en este cambio abandonan el dispositivo sujetador. Al llegar a la primera máquina de moldeo las piezas D, inmediatamente éstas son colocadas por un manipulador de 3 GDL en un molde que se encuentra en una mesa giratoria, la mesa da un giro de 180 grados y transporta las piezas D al lugar donde se encuentra el inyector de plástico. El polímero inyectado (M) se encuentra en un estado manejable debido a la temperatura que se ha aplicado, y éste es colocado encima del embobinado y la cinta y también cubre las puntas del embobinado, de tal manera que el polímero moldeado da forma a una bobina parecida a la pieza A como se muestra en la figura 1.11.

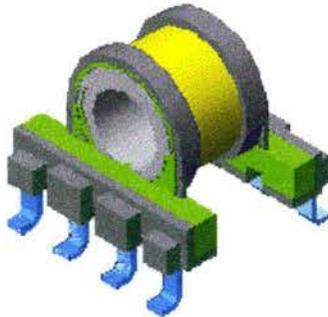


Figura 1.11 Moldeo del polímero que da forma a una segunda bobina (Pieza E). (Cortesía de Midcom Inc.)

Como se observa en la figura anterior, se pueda colocar un par de embobinados en la nueva bobina formada por el polímero moldeado (M). La mesa giratoria vuelve a dar un giro de 180 grados y el manipulador de 3 GDL coloca a las nuevas bobinas (piezas E) en la zona de un riel vibrador, mecanismo que las transporta a la segunda máquina embobinadora.

1.4 Segunda etapa del proceso de manufactura

Al llegar las piezas E a la entrada de la segunda máquina embobinadora, un manipulador (tipo brazo recolector 3 GDL) toma de una posición a las piezas E y las coloca en la otra parte, colocando cuatro de ellas en un dispositivo que sirve de sujetador (para mayor facilidad de maniobra en el proceso). Después este dispositivo es transportado en trayectoria recta por medio de una banda (tipo sinfin) situada en el exterior de la entrada de la máquina embobinadora, y ésta las traslada hacia el interior de la primera máquina devanadora. Dentro de ésta las piezas E son colocadas por un manipulador de 2 GDL en una mesa giratoria, y ésta al girar 180 grados coloca el dispositivo sujetador en la sección de embobinado, donde se lleva a acabo la colocación de dos embobinados (B_2) en las cuatro bobinas (piezas F) al mismo tiempo, como se observa en la figura 1.12.

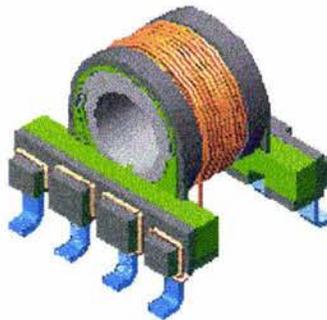


Figura 1.12 Pieza F, colocación del segundo embobinado B_2 . (Cortesía de Midcom Inc.)

Después de esta operación, las bobinas con sus embobinados son transportadas al área de encintado donde se enrolla cinta aislante (C_2) encima de los embobinado (pieza G). En el siguiente paso se coloca el dispositivo con las cuatro piezas G por el mismo manipulador de 2 GDL en la misma banda sinfín, y ésta banda la trasladada con el dispositivo a la entrada de la segunda máquina soldadora. Aquí, un manipulador de 3 GDL manipula el dispositivo con las piezas C al interior de la máquina soldadora, donde son soldadas por inmersión las terminales y las puntas del segundo embobinado, de la siguiente manera: primero, se coloca en las terminales la grasa líquida (D_2) que limpia la suciedad y enseguida son inmersas en la soldadura de estaño (S_2) que está en un recipiente en estado líquido a cierta temperatura. Posteriormente se colocan en una barra caliente para eliminar el excedente de soldadura (F_2) quedando como lo muestra la figura 1.13.

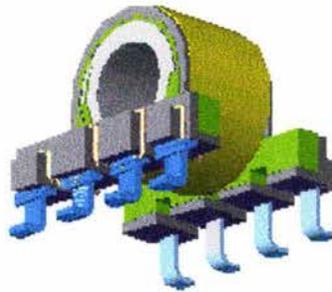


Figura 1.13 Producto terminado PT. (Cortesía de Midcom Inc.)

1.5 Distribución de planta

En la figura 1.14 se presenta un diagrama de distribución de planta, en el cual se indica la colocación de las máquinas involucradas en el proceso de manufactura, siguiendo la secuencia mencionada en las etapas anteriormente descritas. Como se puede observar en el diagrama de la figura 1.14, se tiene en la primera etapa, las áreas correspondientes al alimentador de la pieza A, la primera máquina embobinadora marca Marsili SMT4-80 Minifflex en la cual se encuentra integrada la máquina encintadora, la primera máquina soldadora y a los transportadores que comunican a las máquinas, éstos transportadores están compuestos por un riel que

mueve las piezas por vibración, un manipulador (tipo brazo recolector 3 GDL), una banda (tipo sinfín), un manipulador de 2 GDL, así como a la máquina moldeadora. Del mismo modo se encuentran los espacios para las máquinas en la segunda etapa, la cual inicia con la segunda máquina embobinadora que también incluye la segunda máquina excitadora, siguiendo en el orden de la segunda máquina soldadora; de aquí es donde sale el producto terminado.

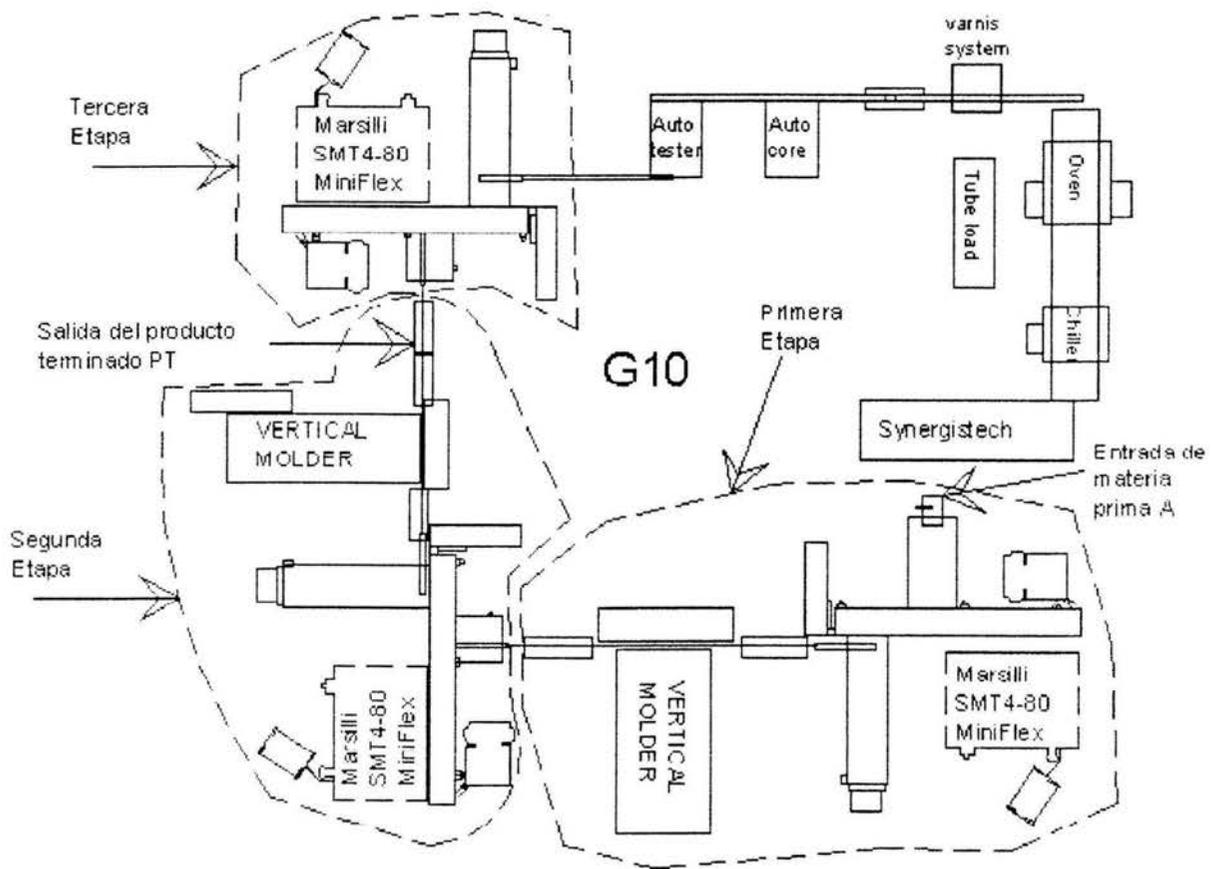


Figura 1.14 Dibujo de planta y ubicación de las dos etapas del proceso de manufactura. (Cortesía de Midcom Inc.)

Capítulo 2

Marco teórico

Introducción. En este capítulo se definen algunos conceptos importantes relacionados con los sólidos regularizados, dominio sobre el cual, se sistematiza el álgebra de Boole. Dicha álgebra fue caracterizada, sistematizada y parametrizada en términos de manufactura en [2,3,23]. En este capítulo se presenta un breve resumen de las propiedades y consideraciones del álgebra de Boole definida en el conjunto de sólidos regularizados en los cuales, es posible que dos o más sólidos sean penetrados. Finalmente, los resultados obtenidos en este capítulo, serán utilizados en los capítulos posteriores para caracterizar y representar operaciones de manufactura del tipo “unión”.

2.1 Características de los sólidos regularizados

Los materiales sólidos y no sólidos pueden ser representados por “cuerpos” en los cuales el interior y la frontera están claramente definidos, para ello considere lo siguiente [23]:

Sea $B_1 \in \varepsilon$ (donde ε es un espacio euclidiano de puntos) un cuerpo que satisface las siguientes propiedades:

- 1) B_1 es acotado.
- 2) B_1 es dimensionado.
- 3) B_1 es de geometría bien definida.
- 4) B_1 pose reglas topológicas bien definidas.

Se puede analizar el cuerpo si es posible representarlo de la siguiente manera:

$$B_1 = I_{B_1} \cup \partial_{B_1} \quad (2.1)$$

Aquí, I_{B_1} y ∂_{B_1} son el interior y la frontera, respectivamente de B_1 .

En procesos de maquinados, ensambles y soldaduras se utilizan “cuerpos” sólidos (sólidos regularizados) sobre los cuales se realizan operaciones.

2.2 Cambio de dominio

En una operación de maquinado la herramienta de trabajo extrae material de un sólido (siempre y cuando la pieza y / o herramienta esté en movimiento y satisfaga ciertos parámetros de operación). En condiciones “normales” o estados fijos; es decir, sin relación alguna con la operación de maquinado, es prácticamente imposible que la herramienta penetre al sólido.

En otras palabras, si los sólidos B_1 y B_2 tienen las características definidas en la sección 1.1, se dirá que B_1 es impenetrable por B_2 o que B_2 es impenetrable por B_1 si y solo si [23]:

$$I_{B_1} \cap I_{B_2} = \emptyset \quad (2.2)$$

Observe que bajo la restricción (2.1) no será posible utilizar los sólidos regularizados para representar procesos y operaciones de manufactura. No es de utilidad que una herramienta no pueda penetrar un sólido o equivalentemente una pieza no pueda ser descompuesta o transformada por una herramienta.

Es necesario para fines de caracterización y representación utilizar un dominio en el cual pueda ser posible que dos o más sólidos sean penetrables los unos a los otros. Este cambio de dominio se logra mediante la siguiente función:

Sea B el conjunto de sólidos regularizados sujetos a la restricción (2.2). La función,

$$f_v : B \rightarrow B^v \quad (2.3)$$

definida por:

$$f_v(B_1) = B_1^v ; \quad \forall B_1 \in B \text{ y } B_1^v \in B^v$$

es llamada “función de cambio de dominio no penetrable a penetrable”. Aquí, el conjunto B^v es llamado “dominio penetrable”. Para este caso la función $f_v : B \rightarrow B^v$ debe ser biyectiva [23].

Una vez establecido el dominio penetrable es necesario considerar la siguiente definición:

“En B^v los sólidos regularizados pueden adquirir las siguientes propiedades:

- 1) $I_{B_1^v} \cap I_{B_2^v} \neq \emptyset ; \quad \forall B_1^v, B_2^v \in B^v$ (2.4)
- 2) $B_1^v = \bigcup_{i=1}^n B_{1i}^v$ ”

La primer propiedad dada en la definición anterior implica que los sólidos que pertenecen al dominio B^v pueden ser penetrados por otros sólidos, y la segunda propiedad indica que todo sólido $B_1^v \in B^v$ puede ser descompuesto.

Cabe señalar que el dominio penetrable B^V fue utilizado por [8] para sistematizar el álgebra de Boole direccionada con la caracterización y representación de operaciones de manufactura. Con la idea de penetrabilidad será posible modelar operaciones de manufactura tales como maquinados, ensambles y soldaduras entre otras operaciones [2,3,23].

2.3 Relación de contacto

Es importante considerar la siguiente relación de contacto para comprender la penetrabilidad, para ello se tomará en consideración la siguiente función [23]:

“Sean $B_1^V, B_2^V \in B^V$ dos sólidos regularizados penetrables. La función,

$$R_C : B^V \times B^V \rightarrow C \quad (2.5)$$

donde $C = \{1,0\}$, está definida por:

- 1) $R_C(B_1^V, B_2^V) = 1 \Leftrightarrow \partial_C \subset \partial_{B_1^V} \text{ y } \partial_C \subset \partial_{B_2^V} \cdot \exists \cdot \partial_C \subset \partial_{B_1^V} \cap \partial_{B_2^V}$
- 2) $R_C(B_1^V, B_2^V) = 0 \Leftrightarrow B_1^V \cap B_2^V = \emptyset$

es llamada “relación de contacto entre sólidos penetrables”. Aquí, “ ∂_C ” es una frontera común y la condición $B_1^V \cap B_2^V = \emptyset$ indica disyunción o separabilidad entre los cuerpos.

Si $B_1^V \in B^V$ entonces B_1^V admite la descomposición siguiente:

$$1) \quad B_1^V = \bigcup_{i=1}^n B_{1i}^V$$

$$2) \quad I_{B_{ii}^V} \cap I_{B_{2j}^V} \neq \emptyset; \quad i = j \quad (2.6)$$

- 3) La intersección entre dos descomposiciones es a lo mas una frontera común o un borde (incluyendo un punto).

2.4 Relaciones de orden en B^V

La relación “parte de” ($<$) y la relación de “inclusión” (\subset) son de orden parcial en el dominio B^V y son de gran utilidad para comprender la penetrabilidad de sólidos regularizados. Es necesario establecer las siguientes definiciones [23]:

Definición 2.4.1 Sea $B_1^V \in B^V$ y B_{11}^V una parte de B_1^V o equivalente de $B_{11}^V < B_1^V$.

Entonces las siguientes propiedades se satisfacen:

- 1) $B_{11}^V < B_1^V$ (2.7)
- 2) $B_{11}^V < B_{12}^V$ y $B_{12}^V \not< B_{11}^V$; $B_{12}^V < B_1^V$
- 3) si $B_{11}^V < B_{12}^V$ y $B_{12}^V < B_{13}^V$, entonces $B_{11}^V < B_{13}^V$; $B_{13}^V < B_1^V$.

Dichas propiedades son conocidas como reflexiva, antisimétrica y transitiva.

Definición 2.4.2 Considere tres sólidos; $B_1^V, B_2^V, B_3^V \in B^V$, entonces:

- 1) $B_1^V \subset B_1^V$
- 2) $B_1^V \subset B_2^V$ y $B_2^V \not\subset B_1^V$ (2.8)
- 3) si $B_1^V \subset B_2^V$ y $B_2^V \subset B_3^V$, entonces $B_1^V \subset B_3^V$

Aquí, la relación “ \subset ” es llamada inclusión y al igual que la relación “ $<$ ” es de orden parcial en B^V .

Otra equivalencia importante es la siguiente:

“La propiedad antisimétrica de la relación de inclusión es equivalente a

$$\text{si } B_1^v \subset B_2^v \text{ y } B_2^v \subset B_1^v \Rightarrow B_1^v = B_2^v”$$

Finalmente para evitar exceso de símbolos se utilizarán las equivalencias siguientes:

$$1) \quad B^v \Leftrightarrow B$$

$$2) \quad B_1^v \Leftrightarrow B_1$$

Es decir, $B_1 \in B$ representará el sólido penetrable.

2.5 Sistematización del álgebra de Boole

En un trabajo previo [2,3,23] se ha sistematizado el álgebra de Boole en el conjunto de sólidos regularizados penetrables. En esta parte del trabajo se realizará un resumen de los conceptos y propiedades de dicha álgebra.

2.5.1 La operación unión

Sea $B \subset \varepsilon$ el conjunto de sólidos penetrables compuestos por puntos. Sean ahora $B_1, B_2 \in B$. La operación [23]:

$$U : B \times B \rightarrow B \tag{2.9}$$

definida por:

$$B_1 \cup B_2 = \{ p \in B_1 \cup B_2 \mid p \in B_1 \vee p \in B_2 \}, \forall B_1, B_2 \in B$$

es llamada la unión entre sólidos regularizados penetrables . Para esta operación se tiene el siguiente resultado [23]:

Teorema 2.1. La pareja (B, \cup) es un semigrupo conmutativo.

Para que el sistema sea un semigrupo conmutativo se deben satisfacer las propiedades siguientes:

- | | | |
|----|---|------------------|
| 1) | $B_1 \cup B_2 = B_2 \cup B_1 ;$ | Conmutatividad. |
| 2) | $B_1 \cup (B_2 \cup B_3) = (B_1 \cup B_2) \cup B_3 ;$ | Asociatividad. |
| 3) | $B_1 \cup B_\emptyset = B_1 ;$ | Elemento neutro. |

Aquí, B_\emptyset es sólido nulo tal que $B_\emptyset \subset B_1; \forall B_1 \in B$

2.5.2 La operación intersección

Sean $B_1, B_2 \in B$. La operación,

$$\cap : B \times B \rightarrow B \tag{2.10}$$

definida por:

$$B_1 \cap B_2 = \{ p \in B_1 \cap B_2 \mid p \in B_1 \wedge p \in B_2 \}; \forall B_1, B_2 \in B$$

es llamada “ la intersección entre sólidos regularizados penetrables” [23]. Para esta operación se satisfacen las siguientes propiedades:

- | | | |
|----|---------------------------------|-----------------|
| 1) | $B_1 \cap B_2 = B_2 \cap B_1 ;$ | Conmutatividad. |
|----|---------------------------------|-----------------|

- 2) $B_1 \cap (B_2 \cap B_3) = (B_1 \cap B_2) \cap B_3$; Asociatividad.
 3) $B_1 \cap \Omega = B_1$; Elemento neutro.

Aquí, Ω es el sólido universal tal que $B_1 \subset \Omega$ para todo $B_1 \in B$. Observe entonces que la pareja (B, \cap) es, igual que el sistema (B, \cup) , un semi-grupo conmutativo.

2.5.3. Propiedades distributivas

Sean $\cup : B \times B \rightarrow B$ y $\cap : B \times B \rightarrow B$ la operación unión e intersección, respectivamente. El siguiente resultado presentado en [23] es verdadero:

Teorema 1.2. Las siguientes equivalencias, siendo $B_1, B_2, B_3, \in B$, se satisfacen:

- 1) $B_1 \cup (B_2 \cap B_3) = (B_1 \cup B_2) \cap (B_1 \cup B_3)$ (2.11)
 2) $B_1 \cap (B_2 \cup B_3) = (B_1 \cap B_2) \cup (B_1 \cap B_3)$

Dichas propiedades son llamadas "distributivas".

2.5.4. La operación diferencia y complemento

Sean $B_1, B_2 \in B$. La operación,

$$- : B \times B \rightarrow B \quad (2.12)$$

definida por:

$$B_1 - B_2 = \{ p \in B_1 - B_2 \mid p \in B_1 \wedge p \notin B_2 \}; \forall B_1, B_2 \in B$$

es llamada "la diferencia entre sólidos regularizados penetrables" [2,3,23].

Sean ahora $B_1 \in B$. Se define el complemento de B_1 de la manera siguiente.

$$\underline{B}_1 = \Omega - B_1 \quad (2.13)$$

2.5.5. Leyes de Morgan y acotación

Teorema 1.3. Sean $B_3 = B_1 \cup B_2$ y $B_4 = B_1 \cap B_2$, entonces las igualdades siguientes se satisfacen:

- 1) $\underline{B}_3 = \underline{B}_1 \cap \underline{B}_2; \quad \forall B_1, B_2 \in B$
- 2) $\underline{B}_4 = \underline{B}_1 \cup \underline{B}_2; \quad \forall B_1, B_2 \in B$

Dichas igualdades son conocidas como las Leyes de Morgan [2,3,23]. Por otro lado, el conjunto B está acotado inferior y superiormente, esto es:

- 1) $B_1 \cup B_2 = \text{Sup. } (B_1, B_2)$
- 2) $B_1 \cap B_2 = \text{Inf. } (B_1, B_2)$

Por tanto, la estructura $(B, \cup, \cap, -)$ es un álgebra de Boole.

Capítulo 3

Uniones geométricas y formalización de las operaciones abstractas de manufactura

Introducción. En este capítulo se presenta una parametrización geométrica al operador booleano unión (\cup). Para ello, se utilizarán las relaciones de contacto y de penetración entre sólidos regularizados descritas en el capítulo anterior. Se define el concepto “estado de operación”, el cual será utilizado para caracterizar las variantes geométricas de la operación unión ($\cup : B \times B \rightarrow B$). Se utilizan las relaciones abstractas entre la unión y sus variantes y las operaciones reales de manufactura, principalmente aquellas que unan materias primas como las de la clase 1 que son ensamble, montaje, recubrimiento y sellos, así como las de la clase 2 que son soldaduras con cordón de aporte y soldadura sin cordón de aporte, que fueron descritas en [23]. Estas relaciones son definidas sobre la base de los eventos de operación para las operaciones reales de manufactura, estas relaciones se dan en los estados iniciales y los estados finales. Con estas relaciones se caracterizan operaciones abstractas de manufactura y con ellas se pueden representar procesos reales.

3.1. Evento de operación

Una operación se caracteriza por un “evento de operación” compuesto por las etapas siguientes:

- 1) Un estado inicial Γ_0 .

- 2) Un estado final Γ_1 .
- 3) Una transición (T) de Γ_0 a Γ_1 .

El estado Γ_0 del evento, caracteriza las formas o maneras de preparar las materias primas según se muestra en la figura 3.1. El estado Γ_1 caracteriza al sólido generado una vez desarrollada la transición T (ver la figura 3.1)

La explicación en términos resumidos del evento de operación es:

“Dos sólidos B_1 y B_2 están “preparados” en el estado inicial (Γ_0). Un tercer sólido B_3 es caracterizado en el estado final (Γ_1) y durante la transición del estado inicial (Γ_0) al estado final (Γ_1) se ha aplicado la operación unión ($U : B \times B \rightarrow B$) entre los sólidos B_1 y B_2 generándose B_3 ”.

Nota: No se detallará lo que pasa durante la transición del evento.

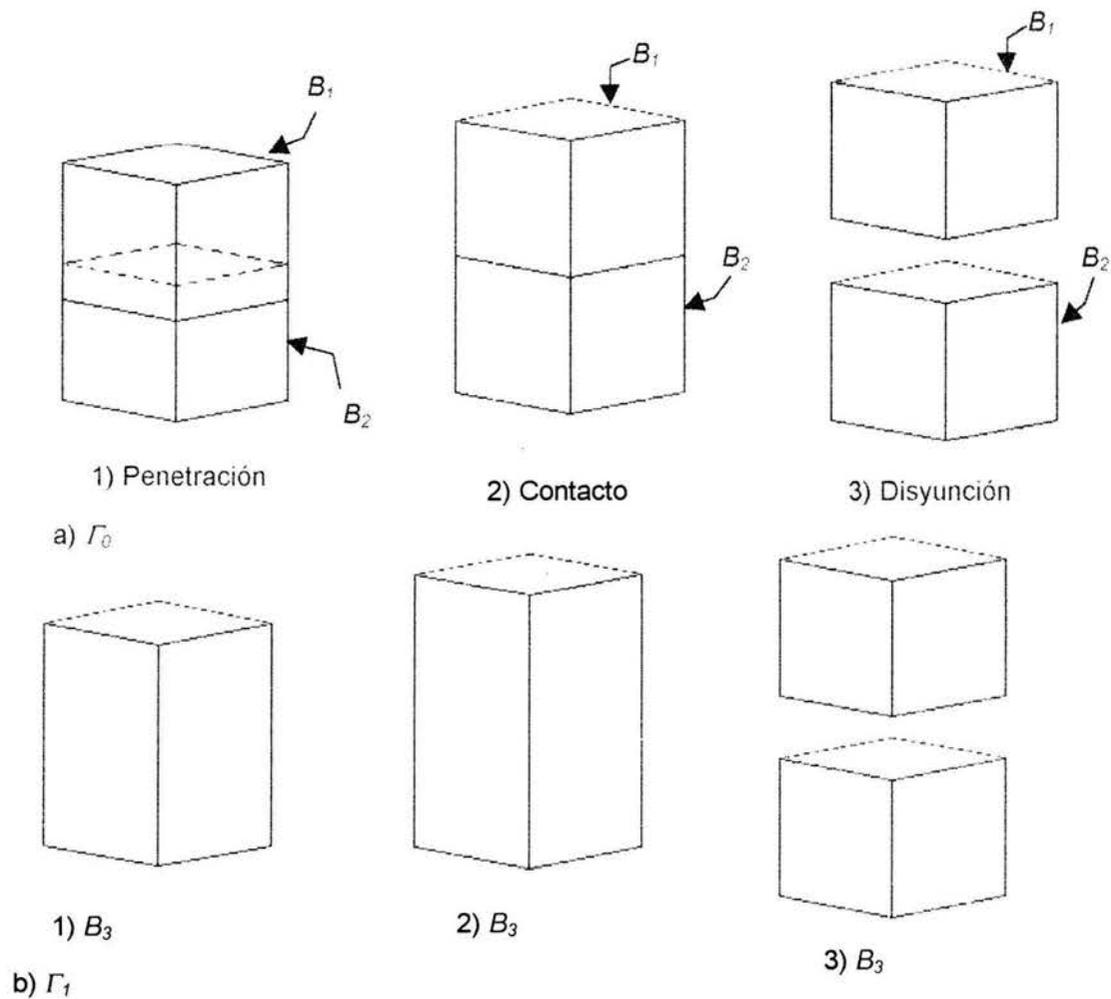


Figura 3.1. Estados de operación de la unión.

3.2. Primera variante de la unión (unión homogénea)

La unión homogénea está relacionada con estado de operación Γ_0 en el cual los sólidos preparados están penetrados.

La caracterización de la unión homogénea ($\overset{H}{U}$) es la siguiente:

Sean $B_1, B_2 \in B$ tales que $X \subset B_1$ y $X \cap B_2 \neq \emptyset$ en Γ_0 . La operación,

$$\overset{H}{U}: B \times B \rightarrow B \quad (3.1)$$

definida por:

$$B_1 \overset{H}{U} B_2 = B_3; \quad \forall B_1, B_2, B_3 \in B$$

es llamada la “unión homogénea” si en el estado de operación Γ_1 el sólido $B_3 \in B$ satisface las siguientes propiedades:

- 1) $B_3 = B_1 \cup B_2$
- 2) $I_{B_3} = (I_{B_1} \cup I_{B_2})$
- 3) $\partial_{B_3} = (\partial_{B_1} \cup \partial_{B_2}) - \partial_x$

La figura siguiente muestra un sólido generado por medio de la operación unión homogénea:

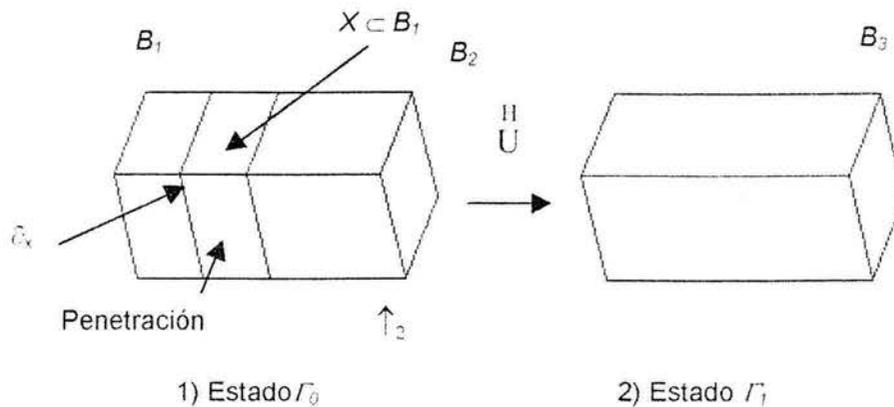


Figura 3.2 Evento de operación de la unión homogénea.

Observe en la figura anterior que la operación unión homogénea está caracterizada por dos propiedades fundamentales dadas por sus estados de operación; esto es:

- 1) Γ_0 ; preparación por penetración.

2) Γ_1 ; eliminación de frontera.

3.3. Segunda variante de la unión (unión homogénea en la frontera)

En el estado Γ_0 de la unión homogénea en la frontera, los sólidos están incrustados o encajados, a continuación se caracteriza dicha operación:

Sea, $B_1, B_2 \in B$ tales que $\exists \partial c \subset B_1$ y $\partial c \subset B_2$ con $\partial c \in \partial_{B_1} \cup \partial_{B_2}$ en Γ_0 . La operación:

$$\overset{\text{HF}}{\cup} : B \times B \rightarrow B \quad (3.2)$$

definida por:

$$B_3 = B_1 \overset{\text{HF}}{\cup} B_2; \forall (B_1, B_2) \in B \times B \text{ y } B_3 \in B$$

es llamada la “unión homogénea en la frontera” si el sólido B_3 en el estado Γ_1 satisface las propiedades siguientes:

- 1) $B_3 = B_1 \cup B_2$
- 2) $I_{B_3} = I_{B_1} \cup I_{B_2}$
- 3) $\partial_{B_3} = (\partial_{B_1} \cup \partial_{B_2}) - \partial_x$

La figura siguiente muestra los estados de operación de la unión homogénea en la frontera:

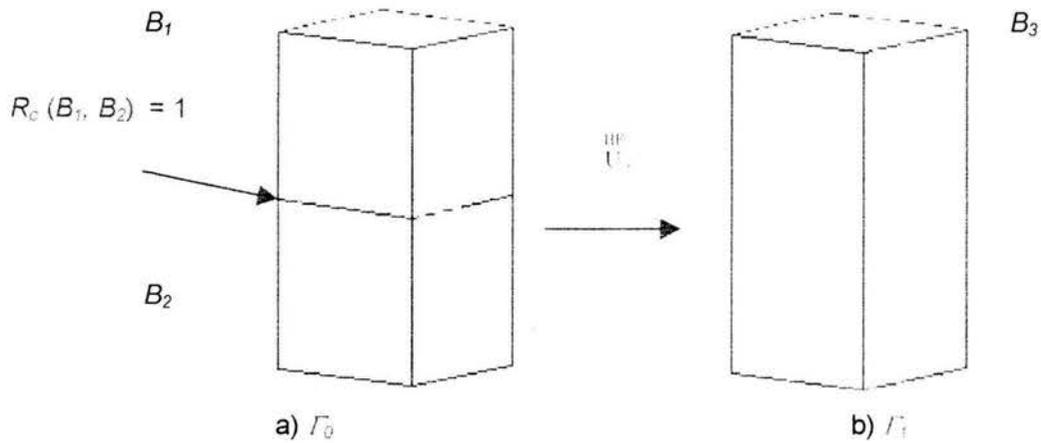


Figura 3.3 Efectos geométricos de la operación U^{HF} .

Las relaciones y características de la operación U^{HF} en los estados del evento son:

- 1) Γ_0 : relación de contacto.
- 2) Γ_1 ; eliminación de la frontera común.

3.4. Tercera variante de la unión: (unión no homogénea)

En la unión no homogénea la relación de contacto prevalece tanto en el estado Γ_0 como en el estado final Γ_1 y a continuación se presenta su caracterización:

Sean, $B_1, B_2 \in B$ tales que $\exists \partial C \subset \partial_{B_1}$ y $\partial C \subset \partial_{B_2}$ en Γ_0 donde ∂C es un borde o sistemas de bordes no cerrados. La operación [23]:

$$U^{NH}: B \times B \rightarrow B \tag{3.3}$$

definida por:

$$B_3 = B_1 \overset{\text{NH}}{\cup} B_2 ; \forall (B_1, B_2) \in B \times B \text{ y } B_3 \in B$$

es llamada “la unión no homogénea” si en el estado Γ_1 del evento de operación el sólido generado satisface las propiedades siguientes:

- 1) $B_3 = B_1 \cup B_2$
- 2) $I_{B_3} = I_{B_1} \cup I_{B_2}$
- 3) $\partial_{B_3} = \partial_{B_1} \cup \partial_{B_2} \Rightarrow \exists \partial_C \cdot \ni \cdot \partial_C \in \partial_{B_1} \cup \partial_{B_2}$

La figura siguiente muestra los estados de operación para la operación

$$\overset{\text{NH}}{\cup} : B \times B \rightarrow B :$$

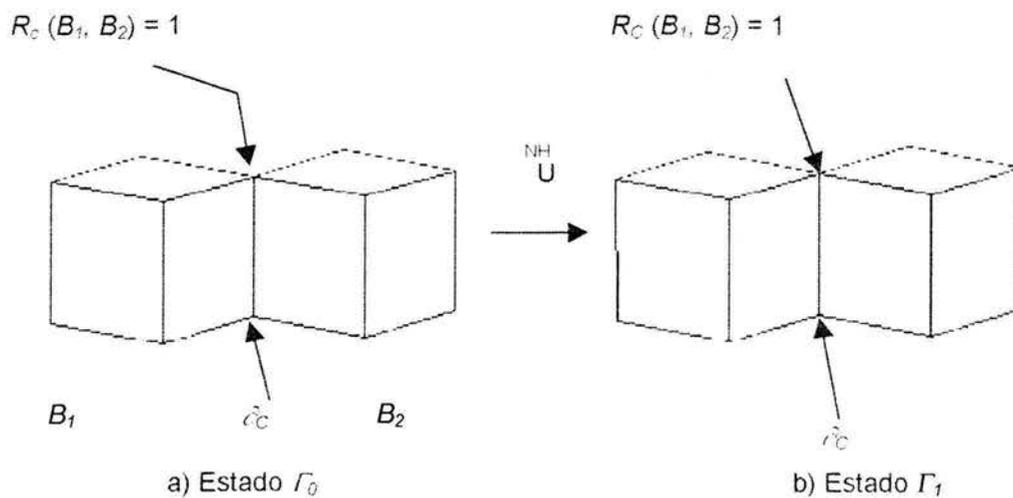


Figura 3.4 Características geométricas de la operación $\overset{\text{NH}}{\cup}$.

Las relaciones que caracterizan la operación no homogénea en los estados del evento son:

- 1) Estado Γ_0 : relación de contacto (región no cerrada).
- 2) Estado Γ_1 : relación de contacto (no se eliminan fronteras).

3.5 Cuarta variante de la unión (unión por disyunción)

Se estudia un tipo de unión en la cual, en el estado Γ_0 los sólidos base están disyuntos y en el estado Γ_1 permanecen disyuntos. La caracterización de esta operación se presenta a continuación:

Sean $B_1, B_2 \in B$ tales que $B_1 \cap B_2 = B_\phi$ en Γ_0 . La operación:

$$\overset{D}{\cup}: B \times B \rightarrow B \quad (3.4)$$

definida por:

$$B_3 = B_1 \overset{D}{\cup} B_2; \forall (B_1, B_2) \in B \times B \text{ y } B_3 \in B$$

es llamada la "unión por disyunción" si el sólido B_3 generado en el estado Γ_1 satisface las propiedades siguientes:

- 1) $B_3 = B_1 \cup B_2$
- 2) $I_{B_3} = I_{B_1} \cup I_{B_2}$ y $I_{B_1} \cap I_{B_2} = B_\phi$
- 3) $\hat{o}_{B_3} = \hat{o}_{B_1} \cup \hat{o}_{B_2}$ y $\hat{o}_{B_1} \cap \hat{o}_{B_2} = B_\phi$

La figura siguiente muestra los estados de la operación "unión por disyunción."

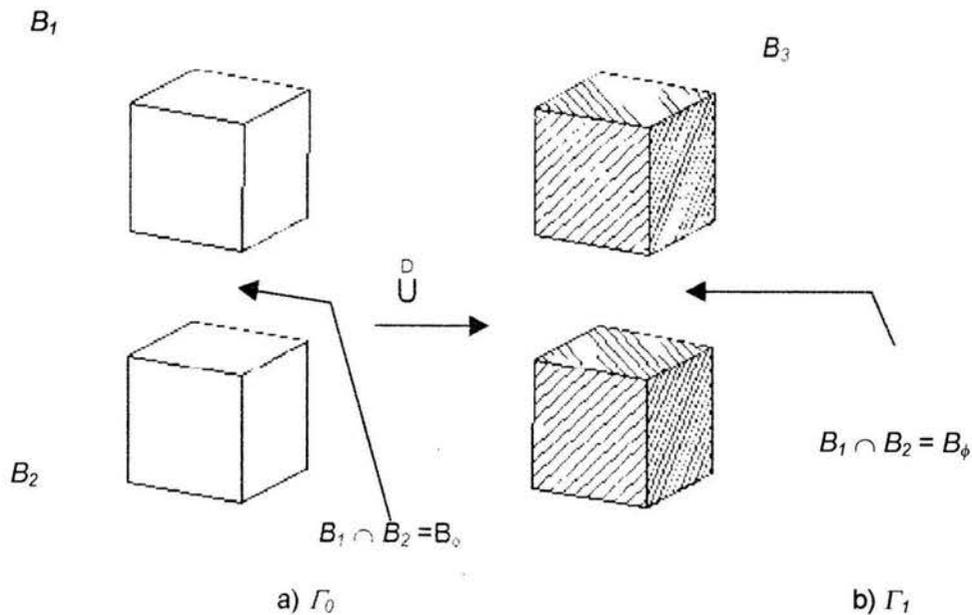


Figura 3.5 Característica genéricas de la unión por disyunción.

Las relaciones de los estados iniciales y finales para la operación unión por disyunción son:

- 1) Estado Γ_0 : disyunción.
- 2) Estado Γ_1 : disyunción.

Las caracterizaciones realizadas a la operación booleana $U : B \times B \rightarrow B$ por medio de sus variantes se podrán utilizar para representar en términos abstractos, operaciones reales de manufactura.

La figura siguiente muestra cuatro componentes generados por medio de la operación unión y la caracterización de los estados de las variantes.

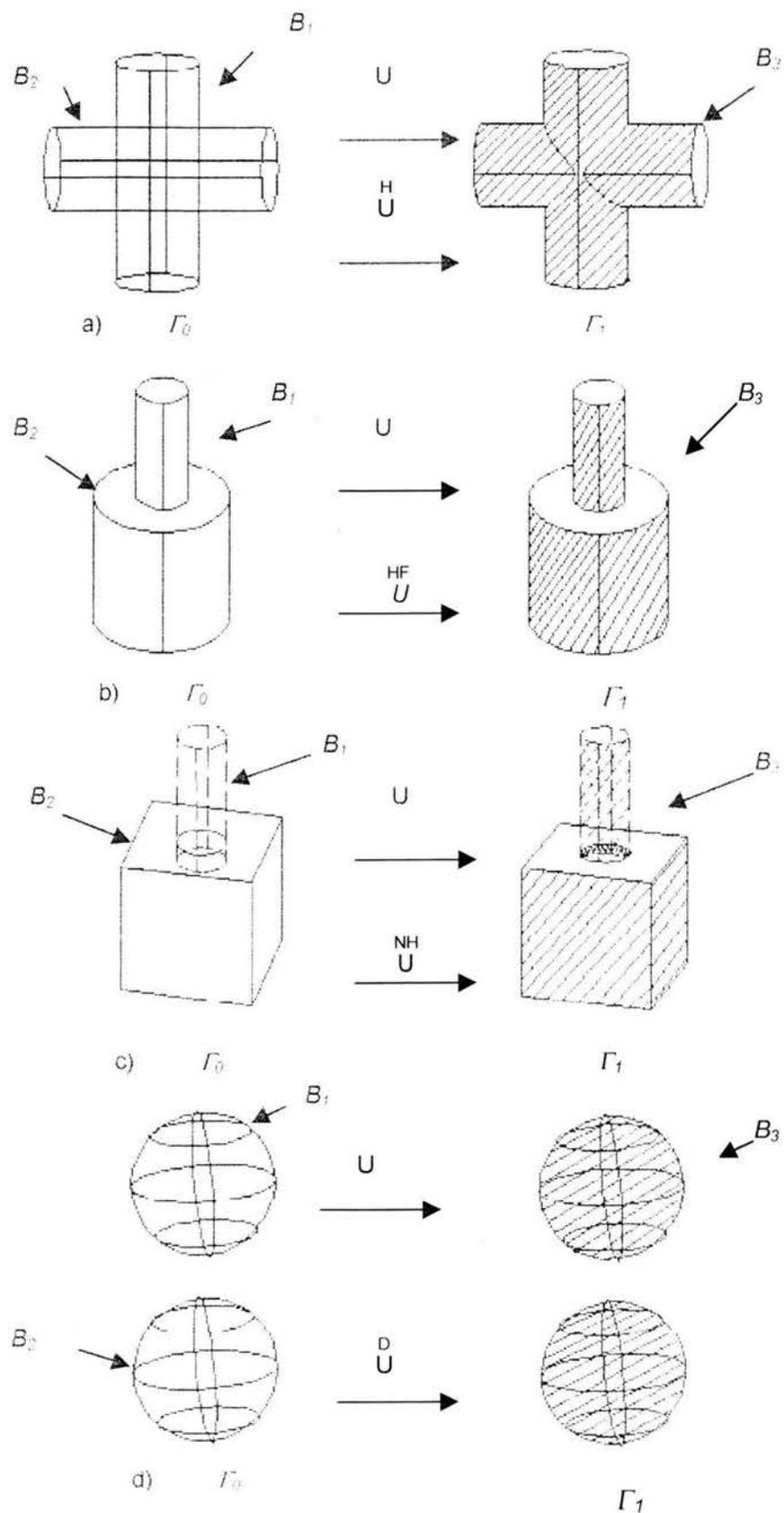


Figura 3.6 Uniones por CAD y variantes.

3.6 Formalización de las operaciones abstractas de manufactura

En esta sección se formalizarán las operaciones de unión clase 1 y clase 2 usando “indicadores de manufactura”. Las operaciones indicadas serán llamadas “operaciones abstractas de manufactura”. Para ello considere el conjunto I_m el cual contendrá el universo de índices tales que cada elemento caracterice una y solo una operación de manufactura [23].

Sea $I_{m1} \subset I_m$, tal que $I_{m1} = \{ E, M, R \}$, donde E denota “ensamble”, M “montaje” y R “recubrimiento”. La función:

$$f_I : I_{m1} \rightarrow \{ U \} \quad (3.5)$$

definida por:

- 1) $f_I(E) = \overset{E}{U}$; $E \in I_{m1}$ y $U \in \{ U \}$.
- 2) $f_I(M) = \overset{M}{U}$; $M \in I_{m1}$ y $U \in \{ U \}$.
- 3) $f_I(R) = \overset{R}{U}$; $R \in I_{m1}$ y $U \in \{ U \}$

caracteriza las operaciones clase 1. Aquí, $\overset{E}{U}$ es la unión por ensamble, $\overset{M}{U}$ es la unión por montaje y $\overset{R}{U}$ la unión por recubrimiento.

Por otro lado, sea $I_{m2} \subset I_m$ el subconjunto tal que: $I_{m2} = \{ S_a, S_{sa} \}$ donde S_a denota “soldadura con aporte y S_{sa} soldadura sin aporte”. La función:

$$f_I : I_{m2} \rightarrow \{ U \} \quad (3.6)$$

definida por:

- 1) $f_I (S_a) = \overset{Sa}{U} \quad ; S_a \in I_{m2} \text{ y } U \in \{ U \}$
- 2) $f_I (S_{sa}) = \overset{Ssa}{U} \quad ; S_{sa} \in I_{m2} \text{ y } U \in \{ U \}$

caracteriza las operaciones de la clase 2. Aquí, $\overset{Sa}{U}$ es la unión por la soldadura con cordón de aporte y $\overset{Ssa}{U}$ es la unión de soldadura sin cordón de aporte.

3.6.1. Primera operación abstracta de manufactura: unión por ensamble

En esta sección se formalizará la operación unión por ensamble, utilizando las relaciones geométricas descritas en las secciones anteriores. Considere la siguiente definición:

“Sean Γ_0 y Γ_1 dos estados de un evento abstracto presentado en el conjunto de sólidos regularizados tal que dicho evento caracteriza la unión y sus variantes. Sean también Γ'_0 y Γ'_1 los estados de un evento real de manufactura. La representación $\overset{E}{U}$ se dice “unión por ensamble” si y solo si:

- 1) $\overset{E}{U} \overset{Go}{\Leftrightarrow} \overset{NH}{U}$
- 2) $\Gamma'_0 \Leftrightarrow \Gamma_0 \quad \text{y} \quad \Gamma'_1 \Leftrightarrow \Gamma_1$
- 3) $\overset{E}{U}$ es una operación tal que:

$$\overset{E}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$$
 donde B^M es el dominio de manufactura.
- 4) La operación $\overset{E}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$ es perfecta.
- 5) $p_3 \Leftrightarrow E$ es un indicador de “ensamble” tal que:
 “ p_3 representa una presión de ensamble”.

Note que bajo la definición anterior, es posible representar por medio de la operación $\overset{E}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$ procesos de ensambles reales. Para este caso, los sólidos B_1 B_2 deberán ser materias primas y el sólido generado B_3 un producto terminado. Además, dicho producto terminado debe satisfacer las especificaciones del plano de fabricación. La siguiente definición formaliza el concepto de dominio de manufactura:

“Todo producto terminado generado por una operación de manufactura o una sucesión de operaciones tiene asociado un dominio de manufactura”.

3.6.2. Segunda operación abstracta de manufactura: unión por montaje

En esta sección se caracterizará la operación abstracta “unión por montaje”. Considere la siguiente definición:

“La representación $\overset{M}{U}$ se dice unión por montaje si y solo si:

$$1) \quad \overset{M}{U} \stackrel{Go}{\Leftrightarrow} \overset{NH}{U}$$

$$2) \quad \Gamma_0' \Leftrightarrow \Gamma_0 \quad \gamma \quad \Gamma_1' \Leftrightarrow \Gamma_1$$

3) $\overset{M}{U}$ es una operación tal que:

$$\overset{M}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$$

donde B^M es el dominio de manufactura.

4) La operación $\overset{M}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$ es perfecta.

5) $p_2 \Leftrightarrow M$ es un indicador de presión “para operaciones de montaje tal que $p_2 < p_3$ ”.

Es importante recordar que los estados Γ_0 y Γ_1 están asociados con la operación $\overset{NH}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$ y Γ_0' y Γ_1' están relacionados con la operación real de montaje. Por

otro lado, la única diferencia entre las operaciones abstractas $\overset{E}{U}$ y $\overset{M}{U}$ es el indicador $p_2 < p_3$. Sin embargo, ambas operaciones tienen diferencias significativas en el dominio real de la manufactura.

3.6.3. Tercera operación abstracta de manufactura: unión por recubrimiento

En esta sección se presenta la formalización de la operación “unión por recubrimiento”. Considere ahora la siguiente definición:

“La representación $\overset{R}{U}$ se utiliza para caracterizar operaciones de recubrimiento sin penetración de frontera si y solo si:

$$1) \quad \overset{R}{U} \stackrel{Go}{\Leftrightarrow} \overset{NH}{U}$$

$$2) \quad \Gamma'_0 \Leftrightarrow \Gamma_0 \quad \gamma \quad \Gamma'_1 \Leftrightarrow \Gamma_1$$

3) $\overset{R}{U}$ es una operación tal que:

$$\overset{R}{U}: B^M \times B^M \rightarrow B^M$$

donde B^M es el dominio de manufactura.

4) La operación $\overset{R}{U}: B^M \times B^M \rightarrow B^M$ es perfecta.

5) $p_1 \Leftrightarrow R$ es un indicador de presión tal que $p_1 < p_2 < p_3$ ”.

Note en la definición anterior que la operación $\overset{R}{U}$ es equivalente a las operaciones $\overset{E}{U}$ y $\overset{M}{U}$, respectivamente, en las cuatro primeros incisos y la única diferencia se observa en los indicadores de presión. Por otro lado, el conjunto de $O^R = \{\overset{E}{U}, \overset{M}{U}, \overset{R}{U}\}$ representa la clase 1 de operaciones abstractas de manufactura.

Finalmente, es importante mencionar que se ha impuesto una restricción a la operación $\overset{R}{U}: B^M \times B^M \rightarrow B^M$; esto es; se ha dicho en la definición anterior que $\overset{R}{U}$ solo representa la clase de recubrimiento que no penetran fronteras.

3.6.4. Cuarta operación abstracta de manufactura: unión por soldadura con cordón de aporte

Las operaciones de soldadura con cordón de aporte juegan un papel importante en la manufactura de componentes. En esta sección se formaliza la operación $\overset{Ca}{U}$ con el propósito de utilizarla para representar operaciones de soldadura. Considere ahora la siguiente definición:

“Las operaciones de manufactura por soldadura con cordón de aporte se pueden representar por medio del símbolo $\overset{Ca}{U}$ si y solo si:

$$1) \quad \overset{Ca}{U} \stackrel{Go}{\Leftrightarrow} \overset{H}{U}$$

$$2) \quad \Gamma'_0 \Leftrightarrow \Gamma_0 \quad \vee \quad \Gamma'_1 \Leftrightarrow \Gamma_1$$

3) $\overset{Ca}{U}$ es una operación; esto es:

$$\overset{Ca}{U}: B^M \times B^M \rightarrow B^M$$

donde B^M es el dominio de manufactura.

4) La operación $\overset{Ca}{U}: B^M \times B^M \rightarrow B^M$ es perfecta.

5) Existe en Γ'_0 y Γ'_1 un $B_1 \in B^M$ tal que $B_1 \in B_{MAE}$ y representa el cordón de aporte.

6) $B_1 \in B_{MAE}$ es un sólido en Γ'_0 y Γ'_1 .

donde B_{MAE} es el conjunto de sólidos agregados o extraídos

Observe que bajo la definición anterior es posible representar operaciones de soldadura con cordón de aporte por medio de la operación $\overset{Ca}{U}: B^M \times B^M \rightarrow B^M$. Es

importante mencionar que ésta operación rompe fronteras comunes e incrustadas tanto de las materias primas como del cordón de aporte.

3.6.5. Quinta operación abstracta de manufactura: unión por soldadura sin cordón de aporte

Es esta sección será formalizada la operación “unión por soldadura sin cordón de aporte”. Para ello, considere la siguiente definición:

“Las operaciones de soldaduras sin cordón de aporte se pueden representar por medio del símbolo $\overset{\text{Csa}}{U}$ si y solo si:

$$1) \quad \overset{\text{Csa}}{U} \overset{\text{Go}}{\Leftrightarrow} \overset{\text{HF}}{U}$$

$$2) \quad \Gamma'_0 \Leftrightarrow \Gamma_0 \quad \vee \quad \Gamma'_1 \Leftrightarrow \Gamma_1$$

3) $\overset{\text{Csa}}{U}$ es una operación; esto es:

$$\overset{\text{Csa}}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$$

donde B^M es el dominio de manufactura.

4) La operación $\overset{\text{Csa}}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$ es perfecta”.

Para este tipo de operación, como se recordará, existe una frontera común en Γ'_0 y, posteriormente, se eliminará en Γ'_1 . Finalmente, el conjunto $O^R = \{ \overset{\text{Ca}}{U}, \overset{\text{Csa}}{U} \}$ representa la clase 2 de operaciones abstractas de manufactura.

Capítulo 4

Ecuación de forma

Introducción. Uno de los principales objetivos de la presente investigación es obtener una representación abstracta de los procesos reales de manufactura. Para ello, se utilizan tanto sólidos regularizados como operaciones abstractas de manufactura, incluyendo además, una secuencia finita de operaciones principales. La representación obtenida es llamada "Ecuación de forma" (EF) [3,17]. El dominio virtual de sólidos regularizados es parametrizado en términos de manufactura bajo un nivel de abstracción máximo con el propósito de formar familias que representen a los sólidos base, sólidos preparados, subpartes, productos finalizados y sólidos especiales.

Diversas técnicas han sido usadas para representar las transformaciones de materias primas en productos terminados tales como el CSG (Constructive Solid Geometry) y DSG (Destructive Solid Geometry); tales técnicas no incluyen una mínima parametrización sobre los elementos que los constituyen (sólidos y operaciones booleanas) [17]. Este hecho trae como consecuencia que el diseñador o planeador de procesos no tenga a su disposición la información de manufactura de cada una de las operaciones y, por consiguiente, no puede planear correctamente las operaciones y los procesos implicados en la manufactura de un producto.

Por otro lado, el CSG es un método abstracto que representa transformaciones de sólidos generados en un sistema CAD y, por tanto, no puede contener información de manufactura. Las ecuaciones de forma por su construcción, relacionan información (mínima) de manufactura dada en las operaciones booleanas, así como la secuencia de operaciones que determinan el proceso.

En realidad los elementos constituyentes de la ecuación de forma son los mismos que los del CSG. Sin embargo, el hecho de incluir y organizar la información de manufactura en las “ecuaciones de forma” proporciona al planeador una visión más aproximada sobre el proceso de manufactura del producto.

Es importante señalar que la generación de representaciones de transformación de materias primas en productos finalizados es de suma importancia en los sistemas de producción, pues implican directa o indirectamente la selección de maquinaria y la distribución de planta, e inclusive, determina los niveles de producción y la sincronización de proceso [21].

4.1 Definición de ecuación de forma

“Una ecuación de forma es una representación abstracta de las transformaciones geométricas de las materias primas en productos terminados. Dicha representación está integrada por sólidos regularizados definidos dentro del contexto del dominio de manufactura. Para la construcción de la ecuación de forma se utiliza una sucesión de operaciones perfectas de manufactura” [21].

“Una ecuación de forma es una representación de las etapas de manufactura (transformación) de materias primas en productos terminados. Los elementos que constituyen a una ecuación de forma son: sólidos y operaciones parametrizados en términos de manufactura. Dicha representación es generada por una y sólo una secuencia finita de operaciones principales de manufactura” [3].

“Una secuencia finita de operaciones principales de manufactura es de una sucesión de operaciones principales aplicadas a la materia prima para obtener un producto finalizado o terminado” [17].

La siguiente proposición es importante en este trabajo de tesis:

“Todo componente descrito en un plano de fabricación sujeto a manufactura tiene asociado una o un conjunto finito de ecuaciones de forma”.

El problema fundamental para generar las ecuaciones de forma consiste en obtener una ecuación de forma que satisfaga las consideraciones geométricas y de manufactura del producto terminado, para ello es necesario recurrir a los planos de fabricación. La información obtenida e interpretada de los planos puede ser analizada y utilizada bajo criterios de abstracción, se considera un nivel alto de abstracción cuando la información extraída de los planos de fabricación es mínima. Por otro lado, se considera un bajo nivel de abstracción cuando se obtiene la máxima información posible. En ambos niveles la información obtenida debe satisfacer la siguiente proposición:

“Los únicos requisitos que se requiere para utilizar un alto nivel de abstracción o bajo nivel es que la información extraída sea suficiente y funcional con los objetivos de su aplicación”.

4.2 Elementos que componen a una ecuaciones de forma

La ecuación de forma según su definición, está compuesta por tres elementos primitivos:

- a) Dominio de manufactura del componente.
- b) Operaciones abstractas de manufactura.
- c) Secuencia finita de operaciones.

El dominio de manufactura está compuesto por 5 subfamilias: 1) materias primas, 2) productos preparados, 3) materiales agregados o extraídos, 4) subproductos y 5) productos terminados. La cardinalidad del conjunto denominado “dominio de manufactura” dependerá del producto terminado analizado, o más precisamente de la suma de los elementos de cada familia.

El dominio de manufactura no puede ser interpretado en su totalidad de los planos de fabricación, puesto que las familias, producto preparado, sólido agregado o extraído y subparte, dependen del análisis de cada planificador del proceso.

4.2.1 Caracterización del dominio de manufactura de un componente simple

Considere el componente PT mostrado en la figura 4.1.

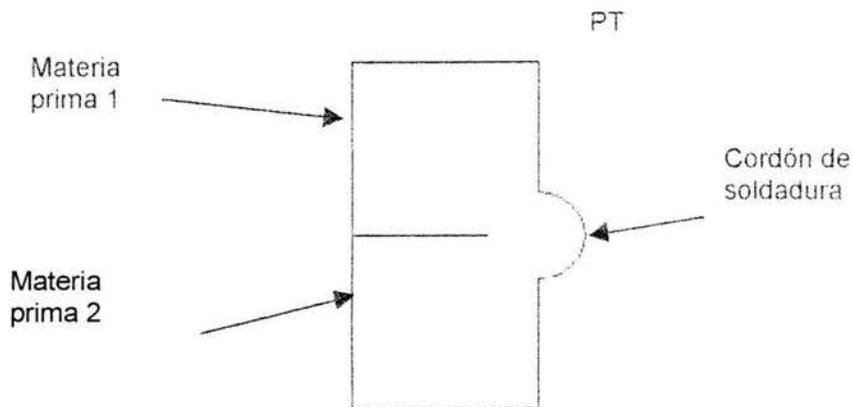


Figura 4.1 Componente de análisis

El producto PT está compuesto de dos bloques unidos por un cordón de soldadura. Cabe aclarar que la información geométrica y de manufactura de PT debe de interpretarse de un plano de fabricación.

Para poder formar el dominio de manufactura del componente PT considere los siguientes pasos:

- 1) Definir las cinco familias que componen el dominio de manufactura, esto es:
 - a) $B_{MP} = \{\text{sólidos de materias primas}\}$.
 - b) $B_{PP} = \{\text{sólidos de producto preparado}\}$.
 - c) $B_{MAE} = \{\text{sólidos de material agregado o extraído}\}$.
 - d) $B_{SUB} = \{\text{sólidos de subparte}\}$.
 - e) $B_{PT} = \{\text{sólido de producto terminado}\}$.

- 2) Si PT es único, entonces definir B_{PT} , es decir $B_{PT} = \{PT\}$.

- 3) Determinar el número de materias primas usadas para generar PT. Sean A y B los bloques mostrados en la figura 4.1, entonces $B_{MP} = \{A, B\}$.

- 4) Determinar por interpretación o cálculo la cantidad de elementos de la familia B_{MAE} , es decir; si C es el cordón de aporte pueden presentarse dos casos:
 - 1) C es único, por tanto, $B_{MAE} = \{C\}$.
 - 2) C se compone de varias "pasadas" por ejemplo 3; entonces $B_{MAE} = \{C_1, C_2, C_3\}$.

- 5) El número o cardinalidad de la familia B_{MAE} es igual a B_{SUB} , es decir:
 - 1) Si C es único, entonces $B_{SUB} = \{B_{SUB1}\}$.
 - 2) Si C se compone de varias pasadas por ejemplo 3, entonces $B_{SUB} = \{B_{SUB1}, B_{SUB2}, B_{SUB3}\}$.

- 6) La familia B_{PP} puede no tener elementos si las operaciones no requieren de preparación. Para el caso de la operación de soldadura asociada con el componente PT mostrado en la figura 4.1, se requiere

una preparación, esto es; $B_{PP1} = A \cup B$ y, posteriormente aplicar el cordón. Note que $B_{PP} = \{B_{PP1}\}$ para el caso del componente analizado.

De acuerdo con los seis pasos mencionados anteriormente y suponiendo cordón único de aporte, la caracterización del dominio de manufactura asociado con PT es:

- a) $B_{MP} = \{ A , B \}$.
- b) $B_{PP} = \{ B_{PP1}, B_{PP2} \}$.
- c) $B_{MAE} = \{ C \}$.
- d) $B_{SUB} = \{ B_{SUB1} \}$.
- e) $B_{PT} = \{PT\}$.

Por otro lado, la caracterización del dominio de manufactura satisface la relación siguiente:

$$N(DM) = \sum_{i=0}^r k_0 + i(k_0 - 2) \quad \text{ó} \quad N(DM) = 2(2n + 1)$$

donde $k_0 = 6$ e $i = n - 1$ y $r < n$, con "n" el número de operaciones igual a 1, entonces:

$$N(DM) = K_0 + i(k_0 - 2) = 6 + (1 - 1)(6 - 2) = 6 \quad \text{ó} \quad N(DM) = 2(2 \times 1 + 1) = 6$$

4.2.2 Operaciones abstractas de manufactura

Las operaciones abstractas de manufactura forman parte de los elementos primitivos de una ecuación de forma. Para poder interpretarlas de los planos de fabricación se utilizan los siguientes pasos:

- 1) Interpretar de los planos de fabricación las operaciones principales de manufactura; es decir; aquellas que transforman geoméricamente materias primas en subproductos o producto terminado.

- 2) Asociar un operador booleano abstracto a cada operación o a cada operación real de manufactura interpretada.
- 3) Si la familia B_{MAE} contiene elementos únicos; es decir materiales extraídos o agregados que pueden ser manipulados por una sola operación de manufactura, entonces los operadores booleanos caracterizados son determinados por el inciso 2.
- 4) Si un material agregado o extraído debe ser manipulado por varias operaciones de la misma naturaleza (por ejemplo, un cilindrado de varias pasadas), entonces por cada descomposición de dicho material se debe asociar un operador booleano abstracto de manufactura.

Note que antes de caracterizar las operaciones de manufactura, se debe determinar primero el dominio de manufactura del componente por procesar.

Para el caso del componente mostrado en la figura 4.1, la única operación es la soldadura por cordón de aporte, además, dicho cordón es único. Por tanto el operador booleano asociado es \bigcup^{Ca} .

4.2.3. Sucesiones de operaciones perfectas

El último elemento primitivo de una ecuación de forma lo constituye una sucesión de operaciones perfectas de manufactura. En general, si “ η ” es el número de operaciones de manufactura caracterizadas según la sección 4.2.2, entonces el número de sucesiones (N_s) depende la relación siguiente:

$$N_s = \eta!$$

Las sucesiones, al estar compuestas de operaciones perfectas, deben ser aplicadas en forma secuencial. Por tanto, es necesario definir una sucesión por eventos con el propósito de no utilizar el concepto de tiempo. Considere ahora la siguiente definición:

“Una sucesión de operaciones abstractas de manufactura se dice secuencial y caracterizada por eventos, si las operaciones se aplican en forma sucesiva una vez presentado el estado final de una determinada operación”.

Sea $\eta = 3$ el número de operaciones de manufactura para un componente hipotético, entonces el número de sucesiones es de $N_s = 6$.

La representación de una sucesión se puede dar de dos formas:

- 1) Por nomenclatura.
- 2) Por tabla de eventos.

Observe que la representación por nomenclatura puede ser variada por ejemplo:

- 1) O_{123}
- 2) $SO^{F_1}O_{23}$

Los números 1,2 y 3 en O_{123} , representan operaciones de manufactura previamente fijadas, es decir, si las operaciones son: soldadura, ensamble y montaje, entonces soldadura \rightarrow 1, ensamble \rightarrow 2 y montaje \rightarrow 3. La asignación de la numeración es arbitraria. Por otro lado, la representación $SO^{F_1}O_{23}$ se puede interpretar de la misma manera siguiente:

“Sucesión o secuencia de operaciones de la familia F_1 y permutación O_{23} ”.

Aquí, la familia indica cual operación fue aplicada primeramente sobre las materias primas. El conjunto completo de las sucesiones para $N_s = 6$ es:

- 1) $SO^{F_1O_{23}}, SO^{F_1O_{32}}$
- 2) $SO^{F_2O_{13}}, SO^{F_2O_{31}}$
- 3) $SO^{F_3O_{12}}, SO^{F_3O_{21}}$

Observe entonces que el número de familias (N_F) satisface la relación siguiente:

$$N_F = \eta$$

Considere ahora la sucesión $SO^{F_2O_{31}}$. La tabla de eventos es la siguiente:

$SO^{F_2O_{31}}$				
E_V	O	O_1	O_2	O_3
E_{V1}	0	1	0	
E_{V2}	0	0	1	
E_{V3}	1	0	0	
E_V	Γ	Γ_1	Γ'_1	Γ''_1

Tabla 4.1 representación por eventos de sucesión.

El símbolo "0" representa una operación no aplicada en el evento E_V correspondiente, en tanto, el símbolo 1 indica aplicación de operación. Por otro lado, los estados Γ_1 , Γ'_1 y Γ''_1 representan estados finales de cada operación analizada. Para poder utilizar una sucesión de operaciones en la construcción de una ecuación de forma se debe satisfacer la siguiente consideración:

“Una sucesión de operaciones se dice aplicable funcionalmente para construir una ecuación de forma si y solo si dicha sucesión es cuando menos admisible geoméricamente”.

La consideración anterior es fundamental, puesto que no todas las sucesiones son admisibles. Para formalizar el concepto de admisibilidad geométrica considere la siguiente definición:

“Una sucesión de operaciones se dice admisible geoméricamente si al aplicar las operaciones de manufactura sobre las materias primas el producto generado satisface las propiedades geométricas del plano de fabricación”.

Existen en general diversos tipos de inadmisibilidad en una sucesión. Tres de ellas son las siguientes.

- 1) Geométricas.
- 2) Por operatividad.
- 3) Por proceso.

Las dos últimas (inadmisibilidades) están asociadas con la forma de manufacturar un producto en una máquina y los tiempos de procesos.

Si η es el número de operaciones r representa las familias inadmisibles, entonces el número de sucesiones admisibles obtenidas por medio de la siguiente relación:

$$N_{SA} = (\eta - r)!$$

4.3. Operaciones auxiliares

En esta sección son caracterizadas y discutidas dos nuevas operaciones abstractas de manufactura: 1) la unión por preparación y 2) la diferencia de premaquinado. Dichas operaciones son auxiliares de algunas operaciones reales de manufactura.

Considere que antes de aplicar el cordón de soldadura sobre las materias primas A y B del componente PT mostrado en la figura 4.1, los bloques deben ser preparados; es decir, unidos de alguna manera o con algún dispositivo. Las piezas unidas generarán un producto preparado.

Puesto que para generar un producto preparado se requiere de una determinada acción, dicha acción se puede representar por el símbolo $\overset{\text{Pr}}{U}$ el cual denota "unión por preparación". La siguiente definición es fundamental:

"El símbolo $\overset{\text{Pr}}{U}$ representa una acción de preparación si:

1) $\overset{\text{Pr}}{U}$ es una operación, es decir,

$$\overset{\text{Pr}}{U} : B^M \times B^M \rightarrow B^M$$

2) El estado Γ_0 de $\overset{\text{Pr}}{U}$ está caracterizado por una relación de disyunción.

3) El estado Γ_1 de $\overset{\text{Pr}}{U}$ está caracterizado por una relación de contacto entre fronteras comunes cerradas o no cerradas.

4) La operación $\overset{\text{Pr}}{U}$ es perfecta.

5) La operación $\overset{\text{Pr}}{U}$ no representa transformación geométrica de componentes".

6) El componente generado al aplicar $\overset{\text{Pr}}{U}$ es siempre un producto preparado.

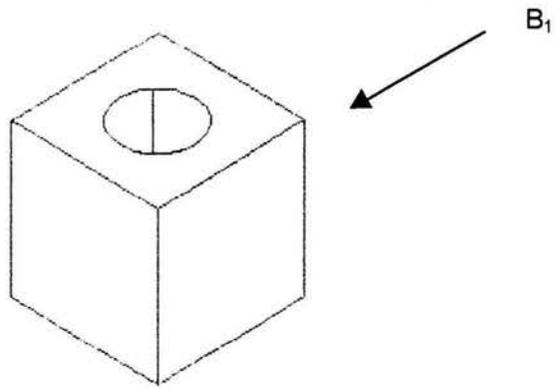


Figura 4.3. Materia prima.

Considere ahora que la materia prima fue previamente “maquinada” de un bloque $B_2 \in B_{MP}$; esto es:

$$B_1 = B_2 - B_0$$

Aquí, $B_0 \in M_{MAE}$ es una porción extraída de B_2 . La figura siguiente muestra la descomposición de la materia prima B_1 :

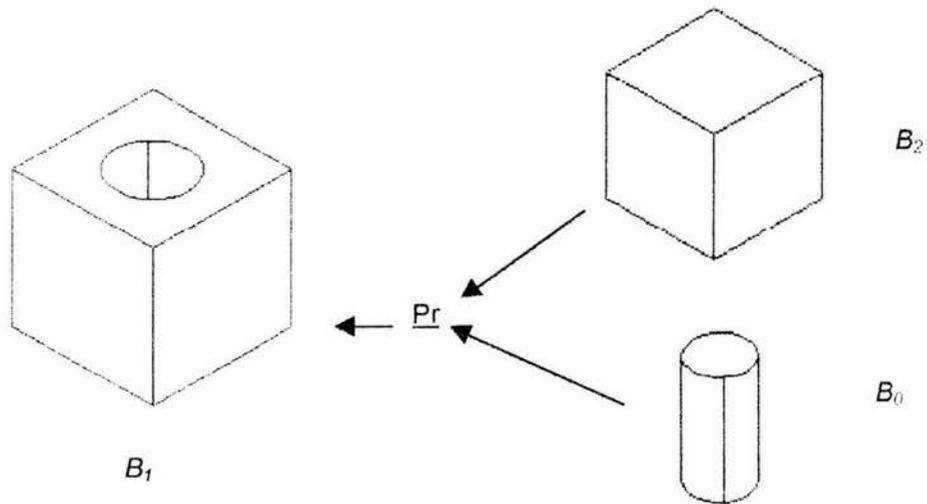


Figura 4.4. Descomposición de una materia prima.

Note en la figura anterior que se ha utilizado el símbolo " \underline{Pr} " para denotar el premaquinado de B_2 para generar a B_1 . Se dirá entonces que: "si una materia prima puede ser representada por medio de descomposiciones en las cuales se intercale la "diferencia", entonces a dicha operación "virtual" se le llamará "diferencia de premaquinado".

Es importante señalar que el indicador "premaquinado" ha sido usado de forma genérica para representar descomposiciones de una materia prima y, por tanto, no interesa en realidad que operación real de manufactura fue usada en la generación de materia prima B_1 .

El procedimiento siguiente es un resumen para generar un ecuación de forma asociada con cualquier producto terminado PT:

- 1) Conocido el componente PT, caracterizar su dominio de manufactura.
- 2) Interpretese, de un plano de fabricación, las operaciones reales de manufactura y asociar operadores abstractos.
- 3) Caracterice, si existen, operaciones de preparación.
- 4) Defina una sucesión admisible geoméricamente de operaciones abstractas.
- 5) Genérese metódicamente las ecuaciones de subforma de acuerdo con la sucesión seleccionada.
- 6) Expanda la última ecuación de subforma y encontrar la ecuación de forma asociada al producto terminado.
- 7) Representétese geoméricamente la ecuación de forma encontrada.

Considerando el procedimiento anterior, los puntos 1,2,3,4 y 5 ya han sido determinados anteriormente para PT de la figura 4.1, el punto 6 expresa la ecuación de forma para PT como se observa a continuación:

$$PT = B_{SUB1} = (((A \overset{Pr}{\cup} B) \overset{Pr}{\cup} C) \overset{Ca}{\cup} C)$$

La figura 4.5 representa geométicamente la ecuación de forma descrita anteriormente.

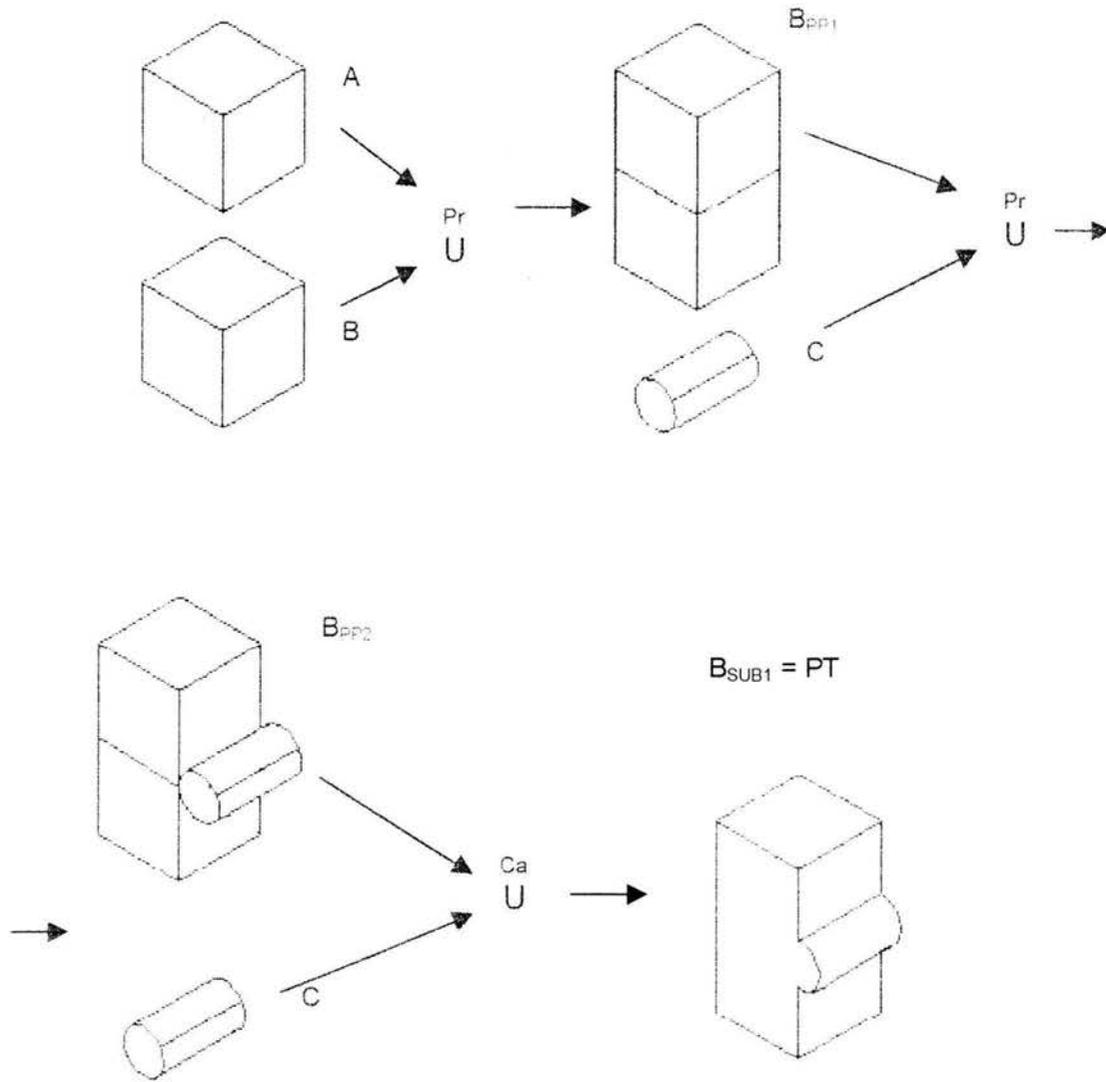


Figura 4.5 Representación geométrica de PT.

Capítulo 5

Primera ecuación de forma de un componente complejo (transformador para telecomunicaciones)

Introducción. En esta sección se construye la ecuación de forma relacionada con un componente utilizado en las telecomunicaciones. Dicha pieza es un transformador compuesto por dos embobinados y dos cuerpos de plástico, así como dos encintados (cinta aislante). En el capítulo 1 se describió en forma general el proceso. La figura siguiente muestra el producto estudiado en este capítulo:

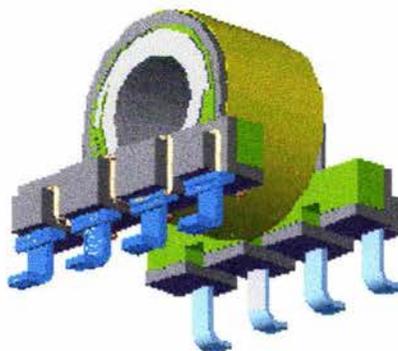


Figura 5.1. Transformador para telecomunicaciones (PT). (Cortesía de Midcom Inc.)

Por otro lado, la materia prima base con la cual se genera el componente PT se muestra en la figura 5.2.

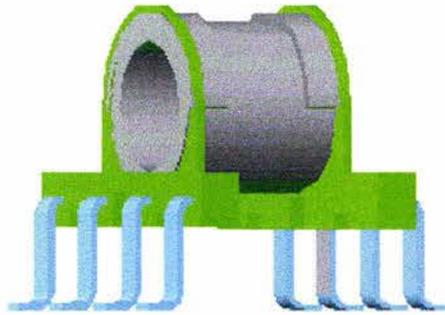


Figura 5.2. Materia prima base (cuerpo A). (Cortesía de Midcom Inc.)

La descripción y nomenclatura de las partes que componen el producto PT se describen en la siguiente tabla:

Nomenclatura	Descripción de la parte
A	Materia prima base
B ₁	Cuerpo del primer embobinado
C ₁	Cuerpo de la primera cinta aislante
D ₁	Cuerpo de la primera grasa
S ₁	Soldadura 1
M	Pieza moldeada en plástico
B ₂	Cuerpo del segundo embobinado
C ₂	Cuerpo de la segunda cinta aislante
D ₂	Cuerpo de la segunda grasa
S ₂	Soldadura 2

Tabla 5.1 Nomenclatura y descripción de las partes de PT.

La figura siguiente muestra las formas geométricas de los elementos descritos anteriormente:

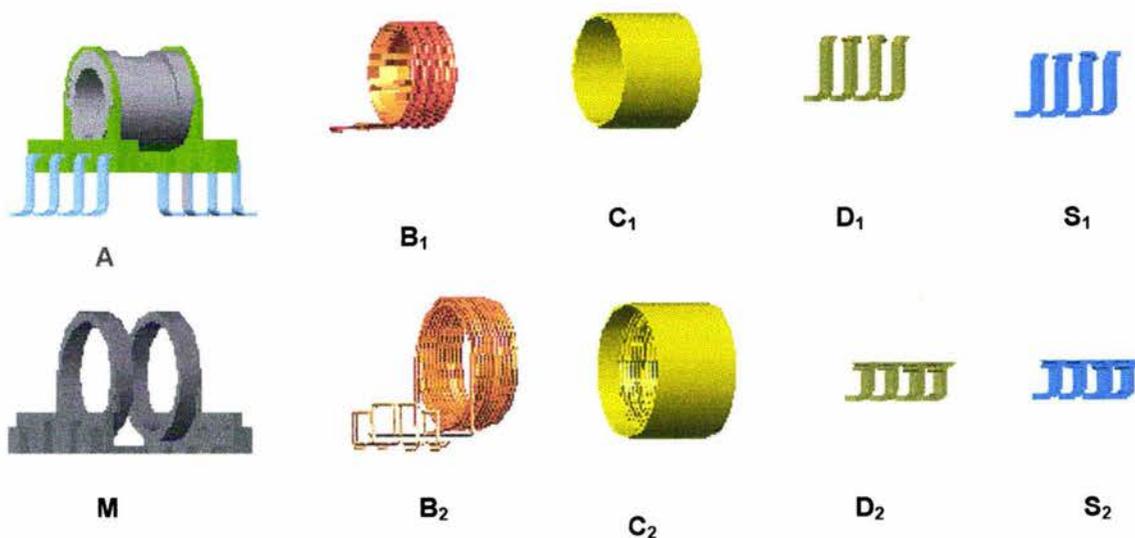


Figura 5.3. Partes del PT. (Cortesía de Midcom Inc.)

A continuación se describen las operaciones principales para manufacturar el componente PT:

“Sobre el cuerpo A mostrado en la figura 5.3 se monta el embobinado B_1 y sus puntas en las terminales de cuerpo A. Posteriormente, se encinta con un cinta aislante C_1 sobre el embobinado B_1 . Luego se le aplica una película de grasa líquida D_1 para hacer limpieza a las terminales del cuerpo A y, posteriormente, se recubren con soldadura (estaño) S_1 . El excedente de soldadura F_1 es quitado después de la aplicación. El componente M es moldeado por una máquina de inyección de plástico sobre la cinta aislante C_1 . Sobre M se monta una segundo embobinado B_2 y sus puntas en las terminales de cuerpo A y luego a dicho embobinado se le coloca otra la cinta aislante C_2 . Posteriormente, sobre las partes del cuerpo generado se aplica una película de grasa líquida D_2 para hacer limpieza a las terminales del cuerpo A y luego se aplica soldadura de estaño S_2 sobre las terminales. Finalmente, se quita el exceso de soldadura F_2 y el producto obtenido es PT.”

Cabe señalar que los excedentes F_1 y F_2 no fueron descritos en las partes que componen a PT.

Con esta información se procederá a construir la ecuación de forma asociada con el producto terminado PT usando la metodología siguiente:

- 1) Conocido el componente PT, caracterizar su dominio de manufactura.
- 2) Interpretar las operaciones reales de manufactura y asociar operadores abstractos.
- 3) Caracterizar, si existen, operaciones de preparación.
- 4) Definir una sucesión admisible geoméricamente de operaciones abstractas.
- 5) Generar metódicamente las ecuaciones de subforma y productos preparados de acuerdo con la sucesión seleccionada.
- 6) Expandir la última ecuación de subforma y encontrar la ecuación de forma asociada con el producto terminado.
- 7) Representar geoméricamente la ecuación de forma encontrada.

De acuerdo con los planos de fabricación del producto, mostrados en el apéndice A, las siguientes características se satisfacen para la manufactura de PT:

- 1) El montaje de los embobinados se realiza en una sola operación y se considera la unión de las puntas del embobinado y las terminales del cuerpo A en la misma.

- 2) El montaje de las cintas aislante se realiza en una sola operación.
- 3) El montaje del moldeo se considera en una sola operación.
- 4) La aplicación de la soldadura es una sola operación en un “baño de estaño”.
- 5) El exceso de soldadura es eliminado en una sola operación.

5.1 Dominio de manufactura del componente

En esta sección se genera el dominio de manufactura relacionado con el componente PT mostrado en la figura 5.1. Para esta pieza, el dominio de manufactura satisface la relación siguiente:

$$N(DM) = \sum_{i=0}^r k_0 + i(k_0 - 2) \quad \text{ó} \quad N(DM) = 2(2n + 1)$$

donde $k_0 = 6$ e $i = n - 1$ y $r < n$, con “n” el número de operaciones igual a 11, entonces:

$$N(DM) = K_0 + i(k_0 - 2) = 6 + (11 - 1)(6 - 2) = 46 \quad \text{ó} \quad N(DM) = 2(2 \times 11 + 1) = 46$$

El dominio es el siguiente:

- 1) Los sólidos de las materias primas.

$$B_{MP} = \{A, B_1, C_1, M, B_2, C_2, B_{SUB1}, B_{SUB2}, B_{SUB5}, B_{SUB6}, B_{SUB7}, B_{SUB8}\}$$

- 2) Los sólidos del producto preparado.

$$B_{PP} = \{ B_{PP1}, B_{PP2}, B_{PP3}, B_{PP4}, B_{PP5}, B_{PP6}, B_{PP7}, B_{PP8}, B_{PP9}, B_{PP10}, B_{PP11} \}$$

3) Los sólidos de los materiales agregados o extraídos.

$$B_{MAE} = \{ B_1, C_1, D_1, S_1, F_1, M, B_2, C_2, D_2, S_2, F_2 \}$$

4) Los sólidos de las subpartes.

$$B_{SUB} = \{ B_{SUB1}, B_{SUB2}, B_{SUB3}, B_{SUB4}, B_{SUB5}, B_{SUB6}, B_{SUB7}, B_{SUB8}, B_{SUB9}, B_{SUB10}, B_{SUB11} \}.$$

5) El sólido del producto terminado.

$$B_{PT} = \{ PT \}$$

5.2 Operaciones y operadores booleanos

En esta sección se caracterizan las operaciones principales y suboperaciones relacionadas con el componente PT. Asimismo se asociará un operador booleano parametrizado. Los operadores principales son:

- 1) O_1^P : Montajes.
- 2) O_2^P : Soldadura.
- 3) O_3^P : Moldeo.

Las suboperaciones relacionadas con las operaciones principales (O_1^P , O_2^P , O_3^P) son las que se muestran en la tabla siguiente:

O_1^P		O_2^P		O_3^P	
O_{11}	Embobinado 1	O_{11}	Aplicación de grasa	O_{11}	Moldeo
O_{12}	Encintado 1	O_{12}	Soldadura 1		
O_{13}	Montaje (M)	O_{13}	Quitado de excedente 1		
O_{14}	Embobinado 2	O_{14}	Aplicación de grasa		
O_{15}	Encintado 2	O_{15}	Soldadura 2		
		O_{16}	Quitado de excedente 2		

Tabla 5.2. Suboperaciones relacionadas con las operaciones principales.

La tabla siguiente muestra los operadores booleanos asociados con las operaciones descritas anteriormente:

O_1^P	O_2^P	O_3^P	Operador	Descripción
O_{11}	-	-	$\begin{matrix} M,B \\ U \end{matrix}$	Unión por montaje de embobinado
O_{12}	-	-	$\begin{matrix} M,P \\ U \end{matrix}$	Unión por montaje de cinta aislante
O_{13}	-	-	$\begin{matrix} M \\ U \end{matrix}$	Unión por montaje
O_{14}	-	-	$\begin{matrix} M,B \\ U \end{matrix}$	Unión por montaje de embobinado
O_{15}	-	-	$\begin{matrix} M,P \\ U \end{matrix}$	Unión por montaje de cinta aislante
-	O_{11}	-	$\begin{matrix} R \\ U \end{matrix}$	Unión por recubrimiento
-	O_{12}	-	$\begin{matrix} S \\ U \end{matrix}$	Unión por soldadura sin cordón de aporte.
-	O_{13}	-	E —	Diferencia de excedente
-	O_{14}	-	$\begin{matrix} R \\ U \end{matrix}$	Unión por recubrimiento
-	O_{15}	-	$\begin{matrix} S \\ U \end{matrix}$	Unión por soldadura sin cordón de aporte.
-	O_{16}	-	E —	Diferencia de excedente
-	-	O_{11}	-	No aplicable

Tabla 5.3. Asociación de operadores booleanos con operadores reales.

Cabe señalar que la operación de moldeo O_3^P no ha sido analizada, puesto que no se tiene operador booleano que lo represente. De hecho se considerará el cuerpo M ya producido.

5.3 Sucesión de operaciones

En esta sección será caracterizado el orden de las operaciones realizadas sobre las materias primas que componen al producto PT motivo de estudio. De acuerdo con la

crónica de operaciones descrita al inicio de la sección 5.1, la aplicación de dichas operaciones es secuenciada, esto es:

$$(O_{11}, O_{12}) O_1^P \rightarrow (O_{11}, O_{12}, O_{13}) O_2^P \rightarrow (O_{13}, O_{14}, O_{15}) O_1^P \rightarrow (O_{14}, O_{15}, O_{16}) O_2^P$$

Considere ahora un renombramiento de las operaciones, es decir:

- 1) $O_{11} (O_1^P) \Leftrightarrow O_1$
- 2) $O_{12} (O_1^P) \Leftrightarrow O_2$
- 3) $O_{11} (O_2^P) \Leftrightarrow O_3$
- 4) $O_{12} (O_2^P) \Leftrightarrow O_4$
- 5) $O_{13} (O_2^P) \Leftrightarrow O_5$
- 6) $O_{13} (O_1^P) \Leftrightarrow O_6$
- 7) $O_{14} (O_1^P) \Leftrightarrow O_7$
- 8) $O_{15} (O_1^P) \Leftrightarrow O_8$
- 9) $O_{14} (O_2^P) \Leftrightarrow O_9$
- 10) $O_{15} (O_2^P) \Leftrightarrow O_{10}$
- 11) $O_{16} (O_2^P) \Leftrightarrow O_{11}$

La sucesión general de operaciones de manufactura es la siguiente:

$$O_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}$$

Para seleccionar una secuencia finita arbitraria de operaciones primarias, se sigue el procedimiento que a continuación se describe:

Las operaciones principales son $\eta = 11$ para obtener el producto terminado. Se considera que $N_S = \eta!$ es el factorial del número de operaciones principales, donde N_S es el número de secuencias totales; esto es:

$$N_S = 11! = 39,916,900$$

Las sucesiones, al estar compuestas de operaciones perfectas, deben ser aplicadas en forma secuencial. Por tanto, es necesario definir una sucesión por eventos con el propósito de no utilizar el concepto de tiempo.

Para poder utilizar una sucesión de operaciones en la construcción de una ecuación de forma se debe satisfacer la siguiente consideración:

“Una sucesión de operaciones se dice admisible geoméricamente si al aplicar las operaciones de manufactura sobre las materias primas el producto generado satisface las propiedades geométricas del plano de fabricación.”

Tomando en cuenta la definición anterior, se observa que del total de secuencias, existen familias inadmisibles por geometría, por proceso y por especificaciones eléctricas del transformador. En otras palabras, no se pueden intercambiar las posiciones de los embobinados B_1 y B_2 por características eléctricas; del mismo modo el polímero moldeado es la parte que da forma de nuevo a la bobina para colocar el segundo embobinado, por tanto, no se puede realizar esta operación en otra posición de la secuencia. También no es posible aplicar la soldadura sin antes haber aplicado la grasa, y del mismo modo no es posible eliminar el excedente, si no existe todavía éste; además no se puede eliminar el excedente sin antes aplicar la soldadura; así como la posición de las cintas aislantes, no es posible colocar la primera en el lugar de la segunda. Por tanto el número de familias inadmisibles (r) es:

$$r = 9$$

En consecuencia el número de secuencias admisibles (N_{sa}) es:

$$N_{sa} = (\eta - r)! = (11 - 9)! = 2! = 2$$

La representación de la sucesión se da por tabla de eventos y se considera la primera representación por nomenclatura de la forma siguiente:

$$SO^{F_1}O_{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}$$

Donde S significa secuencia, O operaciones, F familias, los subíndices representa el número de secuencia de las operaciones, dicha nomenclatura se interpreta de la siguiente manera:

“Sucesión o secuencia de operaciones de la familia F_1 y permutación en $O_{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}$ ”

La tabla siguiente representa los eventos de la secuencia de operaciones:

SO ^{F1O2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}											
Oper Ev.	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁
Ev ₁	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₂	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₃	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₄	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₅	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ev ₆	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Ev ₇	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Ev ₈	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Ev ₉	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ev ₁₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ev ₁₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ev Γ	Γ ₁ ⁱ	Γ ₁ ⁱⁱ	Γ ₁ ⁱⁱⁱ	Γ ₁ ^{iv}	Γ ₁ ^v	Γ ₁ ^{vi}	Γ ₁ ^{vii}	Γ ₁ ^{viii}	Γ ₁ ^{ix}	Γ ₁ ^x	Γ ₁ ^{xi}

Tabla 5.4. Representación por eventos de una sucesión de operaciones.

Aquí, el símbolo “0” representa una operación no aplicada en el evento Ev correspondiente, en tanto, el símbolo “1” indica aplicación de operación de operación. Por otro lado, los estados $\Gamma_1^i, \Gamma_1^{ii} \dots \Gamma_1^{xi}$ representan estados finales de cada operación analizada.

5.4 Las ecuaciones de subpartes y productos preparados

Una vez establecido el dominio de manufactura y la sucesión de operaciones, es posible determinar las subpartes y los productos preparados de la ecuación de forma, esto es:

$$1) B_{PP1} = A \overset{Pr}{\cup} B_1$$

$$2) B_{SUB1} = B_{PP1} \overset{M,B}{\cup} B_1$$

$$3) B_{PP2} = B_{SUB1} \overset{Pr}{\cup} C_1$$

$$4) B_{SUB2} = B_{PP2} \overset{M,P}{\cup} C_1$$

$$5) B_{PP3} = B_{SUB2} \overset{Pr}{\cup} D_1$$

$$6) B_{SUB3} = B_{PP3} \overset{R}{\cup} D_1$$

$$7) B_{PP4} = B_{SUB3} \overset{Pr}{\cup} S_1$$

$$8) B_{SUB4} = B_{PP4} \overset{S}{\cup} S_1$$

$$9) B_{PP5} = B_{SUB4} \overset{Pr}{\cup} F_1$$

$$10) B_{SUB5} = B_{PP5} \overset{E}{-} F_1$$

$$11) B_{PP6} = B_{SUB5} \overset{Pr}{\cup} M$$

$$12) B_{SUB6} = B_{PP6} \overset{M}{\cup} M$$

$$13) B_{PP7} = B_{SUB6} \overset{Pr}{\cup} B_2$$

$$14) B_{SUB7} = B_{PP7} \overset{M,B}{\cup} B_2$$

$$15) B_{PP8} = B_{SUB7} \overset{Pr}{\cup} C_2$$

$$16) B_{SUB8} = B_{PP8} \overset{M,P}{\cup} C_2$$

$$17) B_{PP9} = B_{SUB8} \overset{Pr}{\cup} D_2$$

$$18) B_{SUB9} = B_{PP9} \overset{R}{\cup} D_2$$

$$19) B_{PP10} = B_{SUB9} \overset{Pr}{\cup} S_2$$

$$20) B_{SUB10} = B_{PP10} \overset{S}{\cup} S_2$$

$$21) B_{PP11} = B_{SUB10} \overset{Pr}{\cup} F_2$$

$$22) B_{SUB11} = B_{pp11}^E - F_2$$

5.5 La ecuación de forma del producto terminado PT

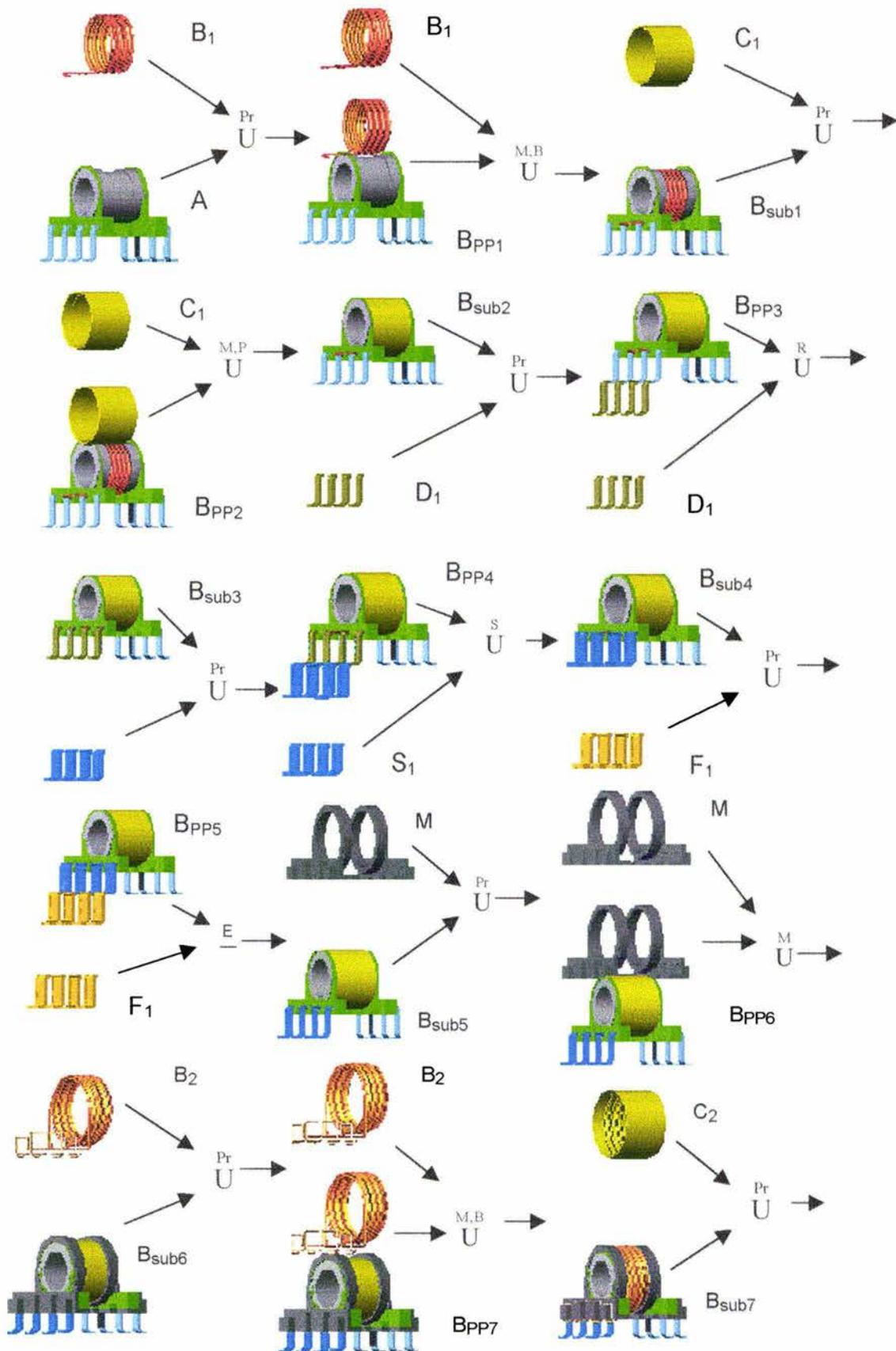
La representación en términos abstractos de las transformaciones de materias primas en la generación del componente PT se obtiene al expandir la subparte B_{SUB11} . Con dicha expansión se genera la ecuación de forma asociada con la sucesión

$$SO^{F_1, O_{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}}$$

Esto es:

$$PT \approx B_{SUB11} = ((((((((((((((((((((((((((A \overset{Pr}{\cup} B_1) \overset{M,B}{\cup} B_1) \overset{Pr}{\cup} C_1) \overset{M,P}{\cup} C_1) \overset{Pr}{\cup} D_1) \overset{R}{\cup} D_1) \\ \overset{Pr}{\cup} S_1) \overset{S}{\cup} S_1) \overset{Pr}{\cup} F_1) - F_1) \overset{Pr}{\cup} M) \overset{M}{\cup} M) \overset{Pr}{\cup} B_2) \overset{M,B}{\cup} B_2) \overset{Pr}{\cup} C_2) \overset{M,P}{\cup} C_2) \overset{Pr}{\cup} D_2) \\ \overset{R}{\cup} D_2) \overset{Pr}{\cup} S_2) \overset{S}{\cup} S_2) \overset{Pr}{\cup} F_2) - F_2)$$

Cabe señalar que la ecuación de forma descrita anteriormente representa las formas operativas del sistema productivo real. La figura siguiente muestra una representación geométrica de la ecuación de forma de PT (transformador de telecomunicaciones):



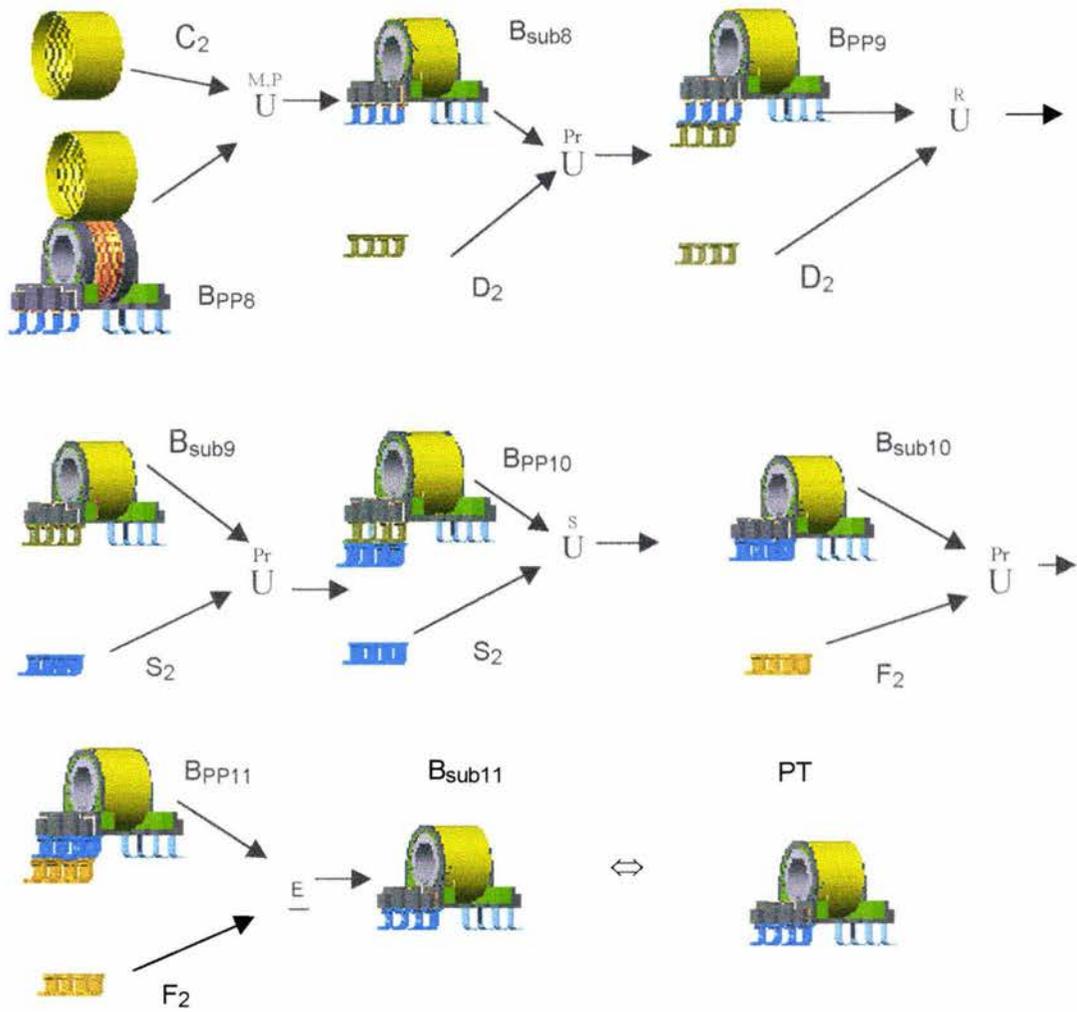


Figura 5.4 Representación geométrica de la ecuación de forma. (Cortesía de Midcom Inc.)

Capítulo 6

Segunda ecuación de forma de un componente complejo (transformador para telecomunicaciones)

Introducción. En este capítulo se construye una segunda ecuación de forma relacionada con el componente utilizado en las telecomunicaciones.

A continuación se describe la secuencia de las operaciones principales para manufacturar el componente PT:

“Sobre el cuerpo A mostrado en la figura 5.3, se monta el embobinado B_1 y sus puntas en las terminales de cuerpo A. Luego se le aplica una película de grasa líquida D_1 para hacer limpieza a las terminales del cuerpo A y, posteriormente, se recubren con soldadura (estaño) S_1 . El excedente de soldadura F_1 se elimina inmediatamente después de la aplicación. Enseguida, se encinta con una cinta aislante C_1 sobre el embobinado B_1 . El componente M es moldeado por una máquina de inyección de plástico sobre la cinta aislante C_1 . Sobre M se monta una segundo embobinado B_2 y sus puntas en las terminales de cuerpo A. Después de esto, se aplica una película de grasa líquida D_2 para hacer limpieza a las terminales de éste y luego se aplica soldadura de estaño S_2 sobre las terminales; eliminando posteriormente el exceso de soldadura F_2 , y finalmente sobre el embobinado se le coloca la segunda cinta aislante C_2 ; con esta última operación se obtiene el producto PT.”

Cabe señalar que los excedentes F_1 y F_2 no fueron descritos en las partes que componen a PT. Con esta información se procederá a construir la segunda ecuación de forma asociada con el producto terminado PT usando la metodología descrita en el capítulo anterior.

6.1 Dominio de manufactura del componente

En esta sección se genera el dominio de manufactura relacionado con la segunda secuencia de operaciones admisible relacionada con el componente PT. Para esta pieza, el dominio de manufactura satisface la relación siguiente:

$$N(DM) = \sum_{i=0}^r k_0 + i(k_0 - 2) \quad \text{ó} \quad N(DM) = 2(2n + 1)$$

donde $k_0 = 6$ e $i = n - 1$ y $r < n$, con “n” el número de operaciones igual a 11, entonces:

$$N(DM) = K_0 + i(k_0 - 2) = 6 + (11 - 1)(6 - 2) = 46 \quad \text{ó} \quad N(DM) = 2(2 \times 11 + 1) = 46$$

El dominio es el siguiente:

- 1) Los sólidos de las materias primas.

$$B_{MP} = \{ A, B_1, C_1, M, B_2, C_2, B_{SUB1}, B_{SUB4}, B_{SUB5}, B_{SUB6}, B_{SUB7}, B_{SUB10} \}.$$

- 2) Los sólidos de los producto preparados.

$$B_{PP} = \{ B_{PP1}, B_{PP2}, B_{PP3}, B_{PP4}, B_{PP5}, B_{PP6}, B_{PP7}, B_{PP8} \}.$$

- 3) Los sólidos de los materiales agregados o extraídos.

$$B_{MAE} = \{ B_1, D_1, S_1, F_1, C_1, M, B_2, D_2, C_2, D_2, S_2, F_2, C_2 \}.$$

4) Los sólidos de las subpartes.

$$B_{SUB} = \{ B_{SUB1}, B_{SUB2}, B_{SUB3}, B_{SUB4}, B_{SUB5}, B_{SUB6}, B_{SUB7}, B_{SUB8}, B_{SUB9}, B_{SUB10}, B_{SUB11} \}.$$

5) El sólido del producto terminado.

$$B_{PT} = \{ PT \}.$$

6.2 Operaciones y operadores booleanos

En esta sección se describen las operaciones principales caracterizadas en el capítulo anterior y las suboperaciones relacionadas con el componente PT. La tabla siguiente muestra los operadores booleanos asociados con dichas operaciones:

O_1^P	O_2^P	O_3^P	Operador	Descripción
O_{11}	-	-	M,B U	Unión por montaje de embobinado
O_{12}	-	-	M,P U	Unión por montaje de cinta aislante
O_{13}	-	-	M U	Unión por montaje
O_{14}	-	-	M,B U	Unión por montaje de embobinado
O_{15}	-	-	M,P U	Unión por montaje de cinta aislante
-	O_{11}	-	R U	Unión por recubrimiento
-	O_{12}	-	S U	Unión por soldadura sin cordón de aporte
-	O_{13}	-	E -	Diferencia de excedente
-	O_{14}	-	R U	Unión por recubrimiento
-	O_{15}	-	S U	Unión por soldadura sin cordón de aporte
-	O_{16}	-	E -	Diferencia de excedente
-	-	O_{11}	-	No aplicable

Tabla 6.1 Asociación de operadores booleanos.

Cabe señalar que la operación de moldeo O_3^P no ha sido analizada, puesto que no se tiene operador booleano que lo represente. De hecho se considerará el cuerpo M ya producido.

6.3 Sucesión de operaciones

En esta sección será caracterizado el orden de las operaciones realizadas sobre las materias primas que componen el producto PT motivo de estudio.

De acuerdo con la crónica de operaciones descrita al inicio de la sección 6.1, la aplicación de dichas operaciones es secuenciada, esto es:

$$(O_{11}) O_1^P \rightarrow (O_{11}, O_{12}, O_{13}) O_2^P \rightarrow (O_{12}) O_1^P \rightarrow (O_{13}, O_{14}) O_1^P \rightarrow (O_{14}, O_{15}, O_{16}) O_2^P \rightarrow (O_{15}) O_1^P$$

Considere ahora un renombramiento de las operaciones, es decir:

- 1) $O_{11} (O_1^P) \Leftrightarrow O_1$
- 2) $O_{11} (O_2^P) \Leftrightarrow O_3$
- 3) $O_{12} (O_2^P) \Leftrightarrow O_4$
- 4) $O_{13} (O_2^P) \Leftrightarrow O_5$
- 5) $O_{12} (O_1^P) \Leftrightarrow O_2$
- 6) $O_{13} (O_1^P) \Leftrightarrow O_6$
- 7) $O_{14} (O_1^P) \Leftrightarrow O_7$
- 8) $O_{14} (O_2^P) \Leftrightarrow O_9$
- 9) $O_{15} (O_2^P) \Leftrightarrow O_{10}$
- 10) $O_{16} (O_2^P) \Leftrightarrow O_{11}$
- 11) $O_{15} (O_1^P) \Leftrightarrow O_8$

La sucesión general de operaciones de manufactura es la siguiente:

$$O_{1, 3, 4, 5, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 8}$$

La representación de la sucesión se da por tabla de eventos y se considera la primera representación por nomenclatura de la forma siguiente:

SO^{F1O3,4,5, 2,6,7, 9,10,11,8}

La tabla siguiente representa los eventos de la secuencia de operaciones:

SO ^{F1O3,4,5, 2,6,7,9,10,11,8}											
Oper Ev.	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁
Ev ₁	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₂	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₃	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₄	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ev ₅	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ev ₆	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Ev ₇	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Ev ₈	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ev ₉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ev ₁₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ev ₁₁	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Ev Γ	Γ ₁ ⁱ	Γ ₁ ⁱⁱ	Γ ₁ ⁱⁱⁱ	Γ ₁ ^{iv}	Γ ₁ ^v	Γ ₁ ^{vi}	Γ ₁ ^{vii}	Γ ₁ ^{viii}	Γ ₁ ^{ix}	Γ ₁ ^x	Γ ₁ ^{xi}

Tabla 6.1. Representación por eventos de una sucesión de operaciones.

6.4 Las ecuaciones de subpartes y productos preparados

Una vez establecido el dominio de manufactura y la sucesión de operaciones, es posible determinar las subpartes y los productos preparados de la ecuación de forma, esto es:

$$1) B_{pp1} = A \cup^{Pr} B_1$$

$$2) B_{SUB1} = B_{PP1} \overset{M,B}{\cup} B_1$$

$$3) B_{PP2} = B_{SUB1} \overset{Pr}{\cup} D_1$$

$$4) B_{SUB2} = B_{PP2} \overset{R}{\cup} D_1$$

$$5) B_{PP3} = B_{SUB2} \overset{Pr}{\cup} S_1$$

$$6) B_{SUB3} = B_{PP3} \overset{S}{\cup} S_1$$

$$7) B_{PP4} = B_{SUB3} \overset{Pr}{\cup} F_1$$

$$8) B_{SUB4} = B_{PP4} \overset{E}{-} F_1$$

$$9) B_{PP5} = B_{SUB4} \overset{Pr}{\cup} C_1$$

$$10) B_{SUB5} = B_{PP5} \overset{M,P}{\cup} C_1$$

$$11) B_{PP6} = B_{SUB5} \overset{Pr}{\cup} M$$

$$12) B_{SUB6} = B_{PP6} \overset{M}{\cup} M$$

$$13) B_{PP7} = B_{SUB6} \overset{Pr}{\cup} B_2$$

$$14) B_{SUB7} = B_{PP7} \overset{M,B}{\cup} B_2$$

$$15) B_{PP8} = B_{SUB7} \overset{Pr}{\cup} D_2$$

$$16) B_{SUB8} = B_{PP8} \overset{R}{\cup} D_2$$

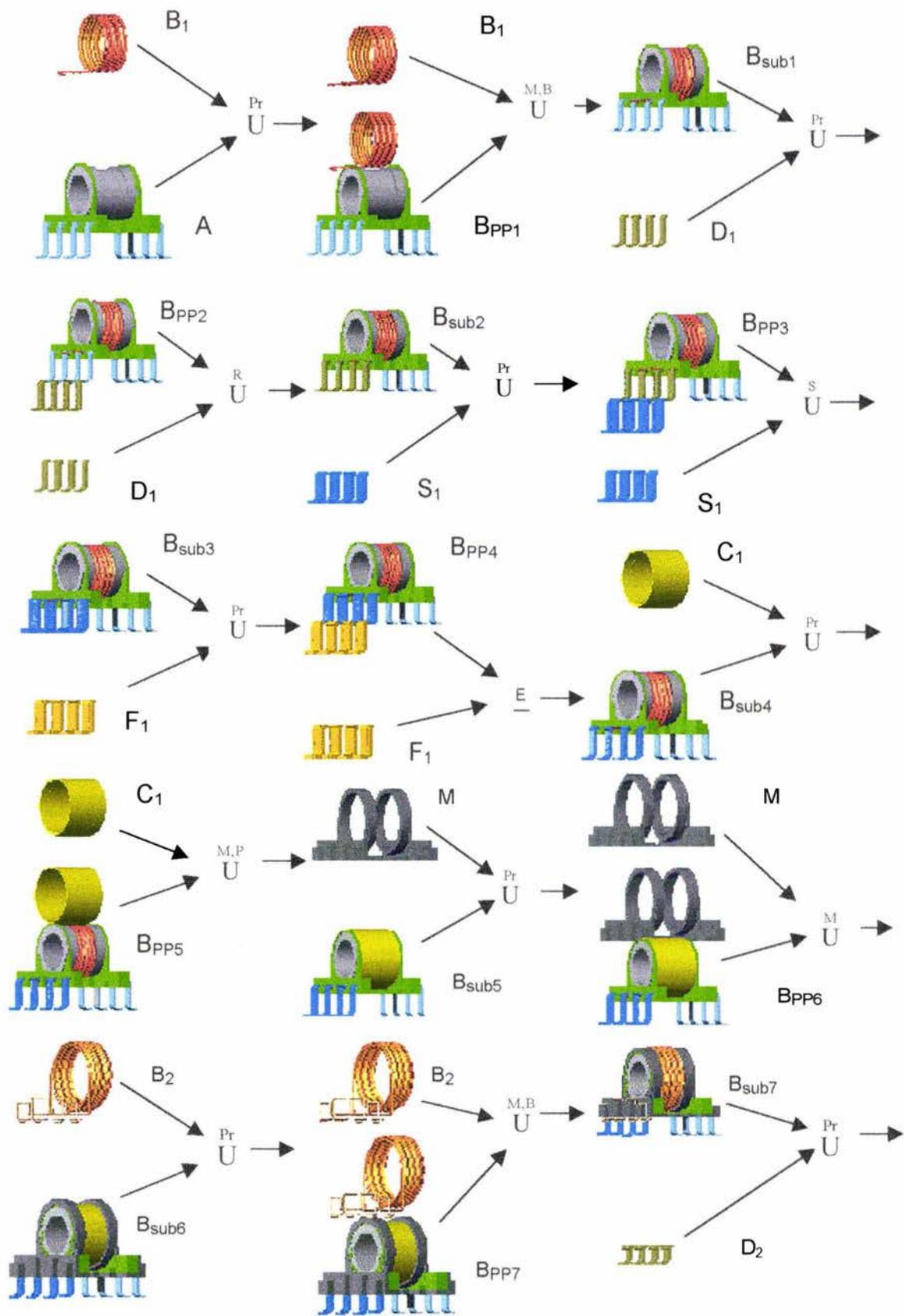
$$17) B_{PP9} = B_{SUB8} \overset{Pr}{\cup} S_2$$

$$18) B_{SUB9} = B_{PP9} \overset{S}{\cup} S_2$$

$$19) B_{PP10} = B_{SUB9} \overset{Pr}{\cup} F_2$$

$$20) B_{SUB10} = B_{PP10} \overset{E}{-} F_2$$

$$21) B_{PP10} = B_{SUB10} \overset{Pr}{\cup} C_2$$



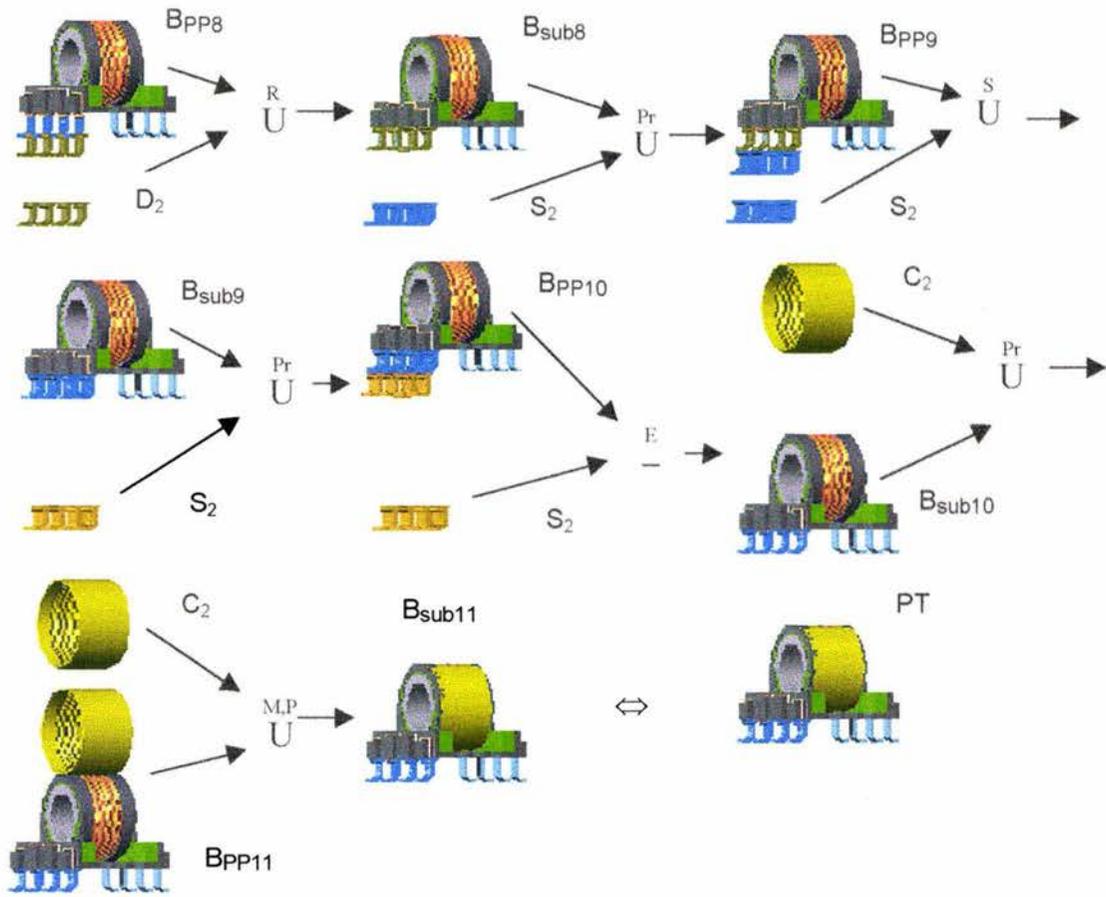


Figura 6.1. Representación geométrica de la segunda ecuación de forma. (Cortesía de Midcom Inc.)

Capítulo 7

Algunas consideraciones sobre las ecuaciones de forma y un breve resumen de primitivas

Introducción. En este capítulo se discuten algunas consideraciones importantes relacionadas con el modelo de ecuaciones de forma. Se presenta también en este capítulo un breve resumen de las primitivas de manufactura.

7.1 Algunas consideraciones sobre las ecuaciones de forma

Las consideraciones que a continuación se describen pueden ser usadas tanto en los procesos de manufactura como en los criterios de diseño para la manufactura de productos.

- 1) Toda ecuación de forma tiene asociada una y solo una secuencia de operaciones.
- 2) Toda secuencia de operaciones tiene asociada una y solo una ecuación de forma.
- 3) Las secuencias de operaciones no son conmutativas y por consecuencia las ecuaciones de forma tienen una única representación dada una secuencia de operaciones fijas.
- 4) No toda secuencia de operaciones asociada con las transformaciones de materias primas da como resultado el producto finalizado.
- 5) Las ecuaciones de forma no son asociativas internamente.
- 6) Las ecuaciones de forma son asociativas externamente.

- 7) Para cada operación de ensamble a presión o soldadura existe asociada una operación por preparación.
- 8) Dada una secuencia finita de operaciones sobre las materias primas existe una y sólo una ecuación de forma asociada con la transformación de materias primas en productos terminados.
- 9) Si "n" es el número de operaciones principales efectuadas sobre las materias primas, entonces existen n! ecuaciones de forma. Además existen "n" subpartes y "n" familias de operaciones.
- 10) Dadas n! secuencias de operaciones y "r" familias de operaciones inadmisibles geoméricamente, entonces existen (n-r)! secuencias admisibles geoméricamente.
- 11) Si $n = r$ entonces no existen secuencias admisibles geoméricamente. Si $n > r$ existe cuando menos una ecuación de forma admisible geoméricamente.
- 12) Sea n! el número de secuencias admisibles y n!-1 la exclusión de la última secuencia admisible (siempre que el recorrido de la permutación implique que la secuencia extraída sea totalmente diferente a la inicial $O_{123\dots n}$), entonces existe al menos una subparte equivalente geoméricamente en n!-1 ecuaciones de forma.
- 13) Toda secuencia de operaciones con $n > 5$ puede ser particionada. Cada partición se considera secuencia externa.
- 14) Siempre que un sólido anexado o extraído cambie de posición en la ecuación de forma, entonces implicará un cambio en la secuencia de operaciones y, por consecuencia, se trata de otra ecuación de forma.
- 15) El conjunto de secuencias de operaciones admisibles geoméricamente generado por (n-r)! satisface la forma geométrica del producto finalizado.

A continuación se presentan algunas consideraciones relacionadas con las ecuaciones de forma direccionadas principalmente con el diseño y la manufactura de productos.

7.2. Consideraciones en manufactura

- Todo proceso secuenciado (en el cual una operación es realizada siempre que finalice otra con excepción de la primera) está gobernado por una y sólo una ecuación de forma.
- Toda distribución de maquinaria que opere en forma secuencial es determinada por una ecuación de forma.
- Cada ecuación de forma relacionada con un proceso de manufactura tiene implicaciones sobre las siguientes variables:
 - a) Tiempo total de proceso.
 - b) Modificación de las trayectorias de operación.
 - c) Modificación sobre la distribución de maquinaria y herramientas.
 - d) Modificación sobre el transporte de materia primas y flujos de materiales de desecho.
 - e) Costo del proceso.

7.3 Consideraciones en el diseño de productos

- En el diseño preliminar de productos debe considerarse que el número de operaciones inadmisibles sea reducido al máximo.
- En el diseño de producto se debe minimizar cuanto sea posible el número de operaciones principales y secundarias.
- Mientras más ecuaciones de forma admisibles existan, más se ampliará el rango de análisis de optimización de tiempos y movimientos en una línea de producción.
- Para discriminar posibilidades de productos en la etapa inicial preliminar debe tomarse la existencia de familias inadmisibles de operaciones.

7.4 Resumen de primitivas

Las primitivas han sido utilizadas para modelar las operaciones de manufacturas de componentes mecánicos. De hecho, la tecnología por primitivas permitió eslabonar las técnicas CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing).

En el diseño y la planificación de sistemas productivos las primitivas de manufactura se usan para recopilar analizar y representar información geométrica y de manufactura impresas en los planos de fabricación.

“La ecuación de forma” es el modelo base que ayuda a generar una representación lógica de las transformaciones de la materia prima en el componente analizado. La información modelada se obtiene de un plano de fabricación y se caracteriza bajo un nivel de abstracción mínima. Las primitivas asociadas con los componentes y sus procesos son representadas en una matriz de entidades de manufactura.

Definiciones de primitivas [19].

“Una primitiva es una representación computacional de la información geométrica y no geométrica de un componente o una parte de él. Dichos información puede ser utilizada para diversos campos de aplicación”.

“Una primitiva que represente información geométrica y no geométrica relacionada con las operaciones de manufactura descritas en un plano de fabricación es llamada “primitiva de manufactura”.

Considere la siguiente definición que permite caracterizar primitivas relacionadas con productos terminados.

“Todo plano de fabricación completo y con información bien definida es una primitiva de manufactura.”

De acuerdo con [19], si los elementos sólidos de una ecuación de forma son primitivas de manufactura, entonces el dominio B^M es un dominio de primitivas.

El dominio B^M es construido con nivel de abstracción máximo; es decir, con el mínimo de contenido de información, por tanto, el dominio B^M de primitivas no clarifica las diferencias cualitativas y cuantitativas entre los elementos de las familias que componen a B^M .

Sea “P” un conjunto de parámetros geométricos y no geométricos. La función,

$$k : P \rightarrow B^M$$

definida por:

- 1) $K(P_{MP}) = P_{B_{MP}}$
- 2) $K(P_{PP}) = P_{B_{PP}}$
- 3) $K(P_{MAE}) = P_{B_{MAE}}$
- 4) $K(P_{SUB}) = P_{B_{SUB}}$
- 5) $K(P_{PT}) = P_{B_{PT}}$

es llamada “función de parametrización por primitivas en el orden de nivel de abstracción mínimo”. Aquí, $P = \{ P_{MP}, P_{PP}, P_{MAE}, P_{SUB}, P_{PT} \}$ es un conjunto de paquetes de información y están asociadas con los sólidos de B^M . El conjunto B^{MP} es llamado “dominio de primitivas”. Por otro lado, es importante señalar que parte de la información del conjunto “P” está impresa en los planos de fabricación de los

componentes y otra parte se considera información adicional y / o deducida de las operaciones.

Se propone la siguiente clasificación de primitivas:

“Si $B^{MP} = \{ \{P_{B_{MP}}\}, \{P_{B_{PP}}\}, \{P_{B_{MAE}}\}, \{P_{B_{Sub}}\}, \{P_{B_{PT}}\} \}$ es un conjunto de conjuntos de primitivas, entonces $P_{B_{MP}} \subset P_{B_{PP}} \subset P_{B_{MAE}} \subset P_{B_{Sub}} \subset P_{B_{PT}}$ ”.

Nótese que de acuerdo con la clasificación de primitivas descritas anteriormente, $P_{B_{PT}}$ es de máxima jerarquía, en tanto la primitiva $P_{B_{MP}}$ contendrá la mínima información geométrica y no geométrica y, por tanto es de mínima jerarquía. En otras palabras, se considerará a $P_{B_{PT}}$ como una cota superior y a $P_{B_{MP}}$ como una cota inferior en el sentido de la cantidad y calidad de la información geométrica y no geométrica representada.

7.4.1 Parametrización del conjunto B^M : jerarquización de primitivas

En esta sección se define el conjunto P formado por paquetes de información. Dicho conjunto, de acuerdo con la sección anterior, parametriza el dominio de manufactura B^M en términos de nivel de abstracción mínimo.

La siguiente definición es importante considerarla:

El conjunto P se caracteriza de la siguiente manera [25]:

$$\mathbf{P} = \left\{ \begin{array}{l}
\mathbf{P}_{MP} ; \mathbf{P}_{MP} = \{\mathbf{G}_{MP}, \ell_{MP}, \mathbf{M}_{MP}\} \\
\mathbf{P}_{PP} ; \mathbf{P}_{PP} = \{\mathbf{P}_{MPi}, \mathbf{P}_{MPi+1}, \text{operación } i - \text{ésima de preparación}\} \\
\mathbf{P}_{MAE} ; \mathbf{P}_{MAE} = \{\{\mathbf{P}_{PP}\}, \{\mathbf{G}_{MAE}\}, \{\mathbf{p} \in \partial_{PP}, \mathbf{e}_i\}, \{\text{información básica geométrica de la operación}\}, \{\mathbf{v}_{MAE}, \tau_{MAE}, \mathbf{W}_{PP}, \mathbf{W}_{MAE}\}, \{\mathbf{H}_{MAE}, \mathbf{K}_{ij}\}\} \\
\mathbf{P}_{SUB} ; \mathbf{P}_{SUB} = \{\{\mathbf{P}_{PP}\}, \{\mathbf{P}_{MAE}\} \{\text{operación de manufactura}\}\} \\
\mathbf{P}_{PT} ; \mathbf{P}_{PT} = \{\mathbf{M}^E\} \text{ ó} \\
\mathbf{P}_{PT} = \{\mathbf{P}_{SUBi}\} \text{ ó} \\
\mathbf{P}_{PT} = \{\mathbf{P}_{MP}\}
\end{array} \right.$$

La tabla siguiente describe cada uno de las variables y / o parámetros mencionados en la definición anterior:

Nomenclatura	Descripción
P_{MP}	Primitiva de materia prima
G_{MP}	Geometría de la materia prima
l_{MP}	Dimensiones principales de la materia prima
M_{MP}	Material de la materia prima
P_{PP}	Primitiva del material preparado
P_{Mpi}	i-ésima primitiva de la materia prima
P_{Mpi+1}	Primitiva de la materia prima i-ésima + 1
Operación i-ésima	Operación i-ésima de la preparación
P_{MAE}	Primitiva de los materiales agregados o extraídos
P_{PP}	Primitiva del producto preparado
G_{MAE}	Geometría del sólido agregado o extraído
$p \in \hat{\partial}_{PP}$	Punto localizado en la frontera del producto preparado y determina el inicio de una operación
\underline{e}_1	Vector unitario que determina la dirección de la herramienta
Información básica de geometría de la operación	Dimensiones, diámetros, longitudes, etc..
γ_{MAE}	Velocidad de ejecución de la operación
τ_{MAE}	Lugar geométrico de la operación
W_{PP}	Movimiento del producto preparado
W_{MAE}	Movimiento de la herramienta
H_{MAE}	Característica de la herramienta
k_{ij}	Parámetros adicionales de información
P_{sub}	Primitiva de la subparte
Operación de manufactura	Operaciones principales del plano de fabricación
P_{PT}	Primitiva del producto terminado
M^E	Matriz de entidades de manufactura
P_{SUBi}	Ultima primitiva de subparte
P_{MP}	Primitiva de materia prima del producto terminado

Tabla 7.1. Descripción de los parámetros del conjunto P.

Cabe señalar que la información integrada al conjunto P se extrae del plano de fabricación y de información complementaria relacionadas con las operaciones y procesos descritos en dichos planos de fabricación.

Por otro lado, de acuerdo con la parametrización P, las primitivas de manufactura relacionadas al dominio $P(B^M)$ satisfacen el siguiente orden jerárquico:

$$P_{B_{MP}} \subset P_{B_{PP}} \subset P_{B_{MAE}} \subset P_{B_{Sub}} \subset P_{B_{PT}}$$

Nótese que la primitiva $P_{B_{MP}}$ es la mínima jerarquía; es decir la que posee la menor cantidad geométrica y de manufactura. En tanto, la primitiva $P_{B_{PT}}$ es la de máxima jerarquía.

Es importante mencionar que los productos preparados parametrizados por el conjunto P son en realidad “caracterizaciones matemáticas” y, en ocasiones, resultará imposible representarlas.

Se pueden clasificar las operaciones de preparación en dos tipos:

- 1) $\overset{Pr}{U}_M$; matemática
- 2) $\overset{Pr}{U}_{PR}$; operación de preparación real.

La primera operación de preparación, por definición, existe, en tanto la segunda, se usa comúnmente en operaciones de ensambles y soldaduras. En este trabajo se determinan dichas operaciones.

Cabe destacar que la primitiva del producto terminado se puede escribir, de acuerdo con el conjunto P, de tres formas.

- 1) Como subparte.
- 2) Como materia prima.
- 3) Como matriz de entidades de manufactura.

Finalmente, si $P_{\text{SUB}i+1}$ es la penúltima primitiva de la subparte, entonces dicha primitiva y sus antecesores son materias primas para las operaciones de manufactura.

Conclusiones

En este trabajo de tesis fueron cumplidos los objetivos siguientes:

- Se modelaron los procesos de manufactura de un componente eléctrico (transformador) en una línea de producción (Midcom inc.).
- Se propuso un marco formal para caracterizar el operador boleano unión y utilizar dicho operador para representar operaciones reales de manufactura.
- Dos ecuaciones de forma fueron construidas de dos secuencias de operaciones admisibles geoméricamente.

En esta tesis se modelaron las transformaciones de materias primas en productos terminados. Para tal propósito se usaron dos ecuaciones de forma. El componente fue un transformador eléctrico para la industria de las telecomunicaciones. Los resultados y conclusiones derivados de esta tesis se resumen a continuación:

- Se modelaron 11 operaciones de manufactura y 3 genéricos; 1) embobinado , 2) soldadura y 3) ensamble , usando el operador boleano unión.
- El número de elementos del dominio de manufactura (del componente) fue de 46.
- Solo fue posible usar dos secuencias de operaciones, pues las restantes fueron inadmisibles.
- Toda línea de producción secuencial tiene asociada una ecuación de forma que representa los procesos de manufactura.

- El modelo de ecuaciones de forma es la base de los modelos operacionales en los sistemas productivos, pues la secuencia de operaciones tiene implicaciones en la distribución de planta, trayectorias y el sistema de control.

Futuros trabajos por desarrollar relacionados con esta tesis son:

- 1) Modelado por primitivas del transformador eléctrico.
- 2) Análisis de trayectoria en la línea de producción de Midcom Inc.
- 3) Circunferencia de distribución para caracterizar la distribución de maquinaria de la línea de producción de Midcom Inc.
- 4) Sincronización local y global de la línea de producción de Midcom Inc.

Referencias

- [1] McMahon, chirs and Browne, Jimmie (1993). CAD/CAM. Addison Wesley Publishing Company

- [2] Jiménez, E., Reyes L, Villar, Murillo I., Soto A.(2003). Representación de un componente mecánico mediante primitivas de manufactura: Aplicaciones del álgebra de Boole a las técnicas CAD/CAM/CAP. Informe interno de investigación. UNAM – DEPMI, Sección Mecánica. ISBN (En trámite)

- [3] Marin, M. Las Ecuaciones de Volúmenes Modificadas. (2000). UANM- División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. (tesis Maestria).

- [4] Sulkimo, J., Vuoskoski J. (1995). GEREP, a boundary Representati3n Modeller proposal for GEANT 4.

- [5] Fahlbusch, Klaus-Peter, Roser, Thomas D. (1995). Dynamic Modeling for Three- Dimensional Compputer- Aided Design. (Hp Pe/SolidDesigner) Hewlett-Packard Journal, v46 n5 p6(8).

- [6] Shen, G., Sakkalis T., Patrikalakis N. (2000). Interval Methods for B-rep Model Verication and Rectification. Proceeding of ASME 2000 IDETC/CIE, 2000 SAME design AUTOMATION conference.

- [7] Clarke Carles. A Brigher Spare. (1993). (hardware Review) (Intergraph Engineering Modeling System 2.1 Mechanical Computer-Aided Design

Software from Intergraf Runs on the Sun SPARCstation)(Evaluation),
Cadcam, v12 n2 p62(3).

- [8] Keyser J., Krishnan, S., Manocha, D. Efficient and Accurate B-rep Generation of Low Degree Sculptured Solid using Exact Arithmetic.,
- [9] Clarke, Charles. (1993). Top Models, (EDS-Unigraphics' Unigraphics 10 computer-aided design/computer aided manufacturing software), cadccam, v12 n7-8 p24(3).
- [10] Nigel Sttewart, Goeff Leach, Sabu John, (2000). A Z- Buffer CSG Rendering Algorithm for convex Objects, The 8-th International Conference in Central Europe on Computer Grafics, Visualisation and Interactive Digital Media'2000-SCG2000 Volumen II PP. 364-372
- [11] Nigel Sttewart, Goeff Leach, Sabu John, (2002). Linear-time CSG Rendering of Intersected convex Objects, The 10-th International Conference in Central Europe on Computer Grafics, Visualisation and Interactive Digital Media'2002-SCG2002 Volumen II PP. 437-444.
- [12] Dobkin, D., Guibas, L. Hershberger, J., Snoeyink, J., (1989). An Efficient Algorithm for Finding the CSG Representation of a Simple Polygon.
- [13] Ernest, Peter, (1995). H. Boolean set operations with solid models. (HP PE/SolidDesigner) (Hewlett Packard Journal, v46 n5 p74(6).
- [14] Lim, C., Ensz, M., Ganter, M. Stori D. (1993). Algebraic Computer-Aided-Design with Maple V₂. p169-175

- [15] Freitag, S., Opitz K., (1995). Enhancements in Blending Algorithms. (HP PE/SolidDesigner CAD Software) Hewlett-Packard Journal V46 n5 P24(11).
- [16] Jiménez, E., Reyes, L., Portillo, S., González, J., Tinajero, L., Valdés C. Caracterización y Distribución Preliminar de Maquinaria usando Ecuaciones de Forma y Circunferencia de Distribución. SOMIM, (2002).
- [17] Jiménez, E., Reyes, L., Marín, L., Villar, G., Corona, J, Álvarez, J. Representación de un Proceso de Maquinado usando una Matriz de Primitivas. SOMIM, (2002).
- [18] Rojas, L. Algunas Consideraciones sobre la Planeación Táctica y Operacional. Tesis de grado de Maestría en Ingeniería Mecánica. DEPFI-UNAM. 2000
- [19] Jiménez, E., Reyes, L., Murillo I., Mercado M., Encinas González I., Portillo S. Representación Formal de las Transformaciones Geométricas y de Manufactura de un Transformador Eléctrico usado para la Industria de las Telecomunicaciones. SOMIM. 2003 Veracruz. México.
- [20] Flores A., "Control de Robots Manipuladores", Tesis de grado de Maestría en Ingeniería Mecánica, (1998), DEPFI-UNAM.
- [21] Jiménez, E., Reyes, L., González, J., Mercado, M. Pérez, A., García D.. Control de una línea de Producción usando un Código Binario de Proceso. SOMIM, (2002).

- [22] Jiménez, E., Reyes, L., Tapia, E., Peón, R., Galindo, F., Pérez A. Distribución de Sensores sobre una Línea de Producción Serial y Sincronización usando el Método del Vórtice. SOMIM, (2002).
- [23] Jiménez, E., Reyes, L., Marín, L., Villar, G., Lucero, B., Luna, I: "Caracterización de Operaciones de Manufactura usando el Álgebra de Boole en el Conjunto Binario". Informe interno de investigación DEPI - SME - MME- DMEC- MAV- 01- 2002. UNAM -ITESCA ISBN 968-36-9839-5
- [24] Fregoso A. Los Elementos del Lenguaje de la Matemática": Parte I. Lógica y Conjuntos. (1977). Editorial Trillas. México.
- [25] Jiménez E., Reyes A., Galindo F., Esquer H., González I., Luna J., Mercado M., Portillo S. Simulación Computacional de una Trayectoria Continua para la Aplicación de Soldadura por Inmersión de Estaño de un Componente Electrónico. Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. Por presentarse en Congreso 2004.
- [26] Jiménez E., Reyes A. Determinación del Dominio de Manufactura de un Plano de Fabricación. Informe Interno de Investigación (Febrero de 2004. Universidad La Salle Noroeste). (III-1301). ISBN 968-5844-02-X