



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CONSTRUCCION DE UNA MATRIZ DE PRIMITIVAS:
CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA MIDCOM INC

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA

(A R E A M E C Á N I C A)

P R E S E N T A :

ING. TERESITA BURGOS OCHOA.

ASESOR: M. EN I. EUSEBIO JIMENEZ LOPÉZ



MEXICO, D. F. CIUDAD UNIVERSITARIA

2005



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Índice

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

NOMBRE: TERESITA BURGOS
OCHOA

FECHA: 21/03/06

FIRMA: [Firma]

PRÓLOGO	I
RESUMEN	III
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO 1 Definición del problema, restricciones, hipótesis y Premisas básicas.	
1.1 Definición del problema	18
1.2 Restricciones del problema	18
1.3 Hipótesis	19
1.4 Descripción de las operaciones de manufactura y componentes Básicas.	20
1.5 Algunas consideraciones del modelo de primitivas.	22
CAPÍTULO 2 Marco teórico y metodología.	
2.1 Conceptos importantes de la representación por primitivas.	24
2.2 Niveles de abstracción de la información y modelos de manufactura.	26
2.3 El dominio de la manufactura	29
2.4 Metodología para la representación por primitivas.	33
2.4.1 Pasos de la metodología	44
2.4.1.1 La ecuación de forma	44
2.4.1.2 Ecuaciones de volúmenes modificados	46
2.4.1.3 La matriz de primitivas	48
CAPÍTULO 3 Las ecuaciones de forma	
3.1 El dominio de manufactura.	51
3.2 Las ecuaciones de subparte y producto preparado	57
3.3 La ecuación de forma y representación geométrica	58

CAPÍTULO 4 La ecuación de volúmenes modificada y representación Por primitivas.

4.1	Aplicación del dominio de manufactura	60
4.2	Desarrollo de las primitivas de manufactura operación por Operación.	62
4.3	Desarrollo de la ecuación de volúmenes modificada	72

CAPÍTULO 5 La matriz de primitivas

5.1	Elementos de la matriz de primitivas	77
5.2	Desarrollo de la matriz de primitivas	79
5.3	Desglose de la matriz de primitivas	81
5.3.1	Matriz de las materias primas	82
5.3.2	Matriz de los productos preparados	88
5.3.3	Matriz de los materiales agregados y extraídos	93
5.3.4	Matriz de los subproductos	98

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

APÉNDICE

Prólogo

Recientemente se han desarrollado métodos orientados a generar representaciones o modelos de las transformaciones geométricas y de manufactura de componentes usando primitivas de manufactura. Dichos métodos han sido aplicados con propósitos didácticos.

En este trabajo de tesis se aplicarán tales métodos o, en su caso, la metodología que concentra dichos métodos (pasos para la generación de los modelos de Ecuaciones de Forma y Ecuaciones de Volúmenes Modificados), para representar, por medio de primitivas de manufactura, las operaciones y procesos realizados sobre un componente electrónico usado en la industria de las telecomunicaciones. El modelo de interés que será desarrollado en este trabajo es el de la Matriz de primitivas. Sin embargo, es necesario plantear los modelos de Ecuaciones de Forma y Ecuaciones de Volúmenes Modificadas pues tales modelos son necesarios para construir la Matriz de primitivas. El componente es manufacturado en una línea de producción de la empresa MIDCOM INC localizada en Cd. Obregón, Sonora.

El propósito de este trabajo, es mostrar que el modelo de la Matriz de primitivas puede ser aplicado en la industria. Esta tesis forma parte de un proyecto que integra los estudios siguientes:

- 1) Representación por ecuaciones de forma de las operaciones y procesos de la línea de MIDCOM INC.
- 2) Representación por Matrices de primitivas de las operaciones y procesos de la línea MIDCOM INC.
- 3) Caracterización de la distribución de maquinaria de la línea MIDCOM INC usando circunferencias de distribución.
- 4) Análisis, modelación y simulación de una trayectoria de soldadura por inmersión de estaño en la línea MIDCOM INC.
- 5) Modelación cinemática y de trayectoria de un robot cartesiano de la línea MIDCOM INC.
- 6) Sincronización local usando el método de vórtice de la línea MIDCOM INC.

7) Sincronización global usando el CBCR de la línea MIDCOM INC.

Este trabajo corresponde al proyecto 2) y se realiza sobre la base del proyecto 1).

La línea de producción MIDCOM INC es una línea de alta tecnología. Sus operaciones y procesos son automatizados y las dimensiones de los componentes son demasiado pequeños lo cual complica aún más las operaciones. Los proyectos relacionados con dicha línea, se formularon en el sentido de transferir la tecnología desarrollada en las universidades hacia las aplicaciones industriales. Es, por tanto, un esfuerzo por fortalecer el vínculo empresa-universidad.

Este trabajo de tesis forma parte de la línea de investigación: "Simulación de sistemas de manufactura", desarrollada en la Universidad La Salle Noroeste en colaboración con el Instituto Tecnológico Superior de Cajeme. Dichos centros de estudios están integrados a la Red Universitaria – Empresarial llamada ALFA conformada además, por la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora.

Finalmente, se agradece a todas aquellas personas e instituciones que permitieron el desarrollo de esta tesis, principalmente a la empresa MIDCOM INC.

Resumen

En este trabajo de tesis se presenta un método paso a paso el cual es usado para construir un modelo llamado Matriz de Primitivas. El modelo fue desarrollado usando información de geométrica y de manufactura proporcionada por la empresa MIDCOM INC, localizada en Cd. Obregón Sonora. Fueron desarrollados dos modelos secundarios: Ecuaciones de forma y Ecuaciones de volúmenes modificados para poder generar la matriz. Fue usado la teoría del dominio de manufactura como la base para el desarrollo del modelo. Los pasos del método fueron 38 y se usaron 5 operaciones reales de manufactura. El número de elementos del dominio fue de 22.

Palabras claves: Procesos de manufactura, primitivas.

Introducción

En este trabajo de tesis se intentará cumplir con los siguientes objetivos:

- 1) Utilizar una metodología paso a paso, para representar, por medio de una matriz de primitivas las operaciones y procesos de la línea MIDCOM INC.
- 2) Aplicar la teoría del dominio de manufactura para generar el modelo.

I.1. El motivo de la investigación

Lo que motiva a la investigación o a la indagación en este trabajo de tesis es la siguiente:

“Recientemente, se han desarrollado métodos que permiten representar, en modelos abstractos, las transformaciones geométricas y de manufactura de operaciones y procesos de sistemas de manufactura [1,2]. Tales métodos se han aplicado en casos de estudios hipotéticos y didácticos. Lo que motiva a la investigación en esta tesis es saber si dichas métodos, en especial, el método de matrices de primitivas, pueden ser utilizados para modelar procesos y operaciones de manufactura industriales, en este caso, analizar y representar operaciones de la línea de producción MIDCOM INC. Para este caso, se requiere aplicar una teoría relacionada con el dominio de manufactura.”

La idea central de este estudio, es aplicar los métodos paso a paso de tal forma que tres modelos de manufactura puedan ser relacionados con el objetivo de proporcionar una base metodológica más amplia. Los modelos estudiados son: ecuaciones de forma, representación por primitivas y matrices de primitivas. La pieza en estudio es un transformador eléctrico utilizado para la industria de las telecomunicaciones y las operaciones analizadas y modeladas son: 1) Embobinado, 2) Empapelado y 3) Soldadura y sus operaciones auxiliares.

La importancia de los modelos aquí estudiados, radica en que tales modelos son generados usando un bajo contenido de información geométrica y no geométrica y que, además, la

información no geométrica relacionada con las primitivas se usa para diseñar trayectorias, entre otros usos.

I.2 Modelos abstractos de manufactura

Un modelo es una representación de un fenómeno en específico. Es, por tanto, una abstracción del fenómeno o una conceptualización manejable y útil para un propósito en específico. El hecho de que un modelo sea generado sobre la base de restricciones, implica que el fenómeno en cuestión solo sea representado en una parte significativa la cual depende del grado de importancia que los procesos u operaciones que se consideran esenciales de modelar.

Así, por ejemplo, para el caso de un modelo cinemático de un robot, lo que se deja de lado es la dinámica o, más bien dicho, las variables y parámetros dinámicos tales como fuerza y masa, no son considerados para el modelo cinemático.

En la manufactura los modelos se generan sobre la base de algún propósito específico, pues no es posible representar todas las variables y parámetros que intervienen en los procesos de la manufactura. Así, si se requiere un modelo que represente las herramientas necesarias para manufacturar un componente no se necesita tomar en cuenta, por ejemplo la forma en que las operaciones se organizan en el desempeño de un sistema productivo o, en su caso, si los insumos requeridos están disponibles en tiempo y forma. Por ello, todo modelo requiere de restricciones lo cuál implica aislar parte del fenómeno en cuestión con el propósito de estudiarlo sobre la base de tales limitaciones (restricciones).

En este sentido los modelos de las ecuaciones de forma, representación por primitivas y matrices de primitivas, han sido generados con el propósito de representar los procesos y operaciones de un sistema de manufactura. Cada modelo tiene sus propias restricciones que los limitan el uno al otro.

Sin embargo, cada modelo tiene sus alcances y resulta necesario poder integrarlos por medio de métodos con el fin de extender sus alcances y aplicaciones. Se pueden presentar dos casos:

- 1) Generar un modelo que integre dos o más modelos.
- 2) Generar metodologías paso a paso que permitan relacionar más de un modelo.

Cualquiera de los casos puede ser tomado en cuenta o una combinación de los dos para extender el alcance y dominio de una investigación, y/o una aplicación específica. Para generar un modelo se siguen los siguientes pasos:

- 1) Conocer en su generalidad un fenómeno.
- 2) Definir un problema en específico relacionado con el fenómeno.
- 3) Proponer las restricciones las cuales limitan al modelo o mejor dicho sobre las cuales el modelo será representativo.
- 4) Generar el modelo usando las herramientas o metodologías que sean necesarias.
- 5) Una vez generado el modelo, verificar si se encuentra dentro de las restricciones establecidas.
- 7) Validar el modelo
- 6) Si el paso anterior es verdadero, entonces el modelo es representativo y útil para los fines perseguidos en el problema o necesidad.

1.3 Métodos paso a paso

Muchas de las metodologías que se desarrollan en los diferentes campos de conocimiento presentan, en general, las formas o procedimientos utilizados en dichas investigaciones en forma implícita o de manera sintética. Se justifica este hecho en el sentido de que, quien quiera entender y manejar los resultados y procedimientos de las investigaciones y desarrollos, ha de tener suficientes bases metodológicas y el suficiente conocimiento inicial que le permitan penetrar en dicho conocimiento.

Sin embargo, no siempre se cuenta con tales bases metodológicas. Por ello, resulta necesario explicar, hasta donde sea posible, los procedimientos de las investigaciones y desarrollos.

Las metodologías paso a paso pueden ser útiles para ciertos propósitos:

- 1) Como procedimientos de enseñanza didácticos.
- 2) Como forma de hacer más rápida y sencilla la aplicación de conocimiento y las técnicas en la solución de problemas.
- 3) Para la documentación de la información.

El segundo punto se puede apreciar con más claridad, cuando a un trabajador se le enseña a utilizar manuales de operación de máquinas o cuando se tiene que aplicar procedimientos para el mantenimiento correctivo o preventivo en la maquinaria. El hecho es, pues, que los manuales y procedimientos en la industria son generados o propuestos en términos de procedimientos paso a paso.

En esta tesis se enmarcan los modelos de ecuaciones de forma y representación por primitivas y el modelo de la matriz de primitivas en una metodología paso a paso, con el propósito de que, una vez conocidos los diferentes conceptos relacionados con tales modelos, las aplicaciones puedan ser realizadas de manera ordenada en el menor tiempo posible.

I.4. Algunas consideraciones sobre las primitivas

En esta tesis se usará el siguiente concepto de primitiva [1]:

“Una primitiva es una representación computacional que combina información geométrica y no geométrica, de una parte o un conjunto de partes. Dicha información puede ser utilizada para algún propósito en específico.”

Así mismo, la primitiva es conocida comúnmente como representación por características.

En esta tesis se usarán las primitivas para:

- Representar operaciones y procesos de manufactura.
- Representar información cinemática.

De acuerdo con [3], si la información relacionada con la primitiva es de manufactura, dicha primitiva es denominada, de manufactura. En el trabajo propuesto por [3], se da la siguiente clasificación de primitivas:

- 1) Primitivas de materia prima.
- 2) Primitivas de producto preparado.
- 3) Primitivas de los sólidos agregados o extraídos (operaciones).
- 4) Primitivas de las subpartes.
- 5) Primitivas del producto terminado.

Esta clasificación depende exclusivamente de una operación, pues [3]:

"El dominio mínimo de primitivas de manufactura se caracteriza por una y solo una operación de manufactura."

O, equivalentemente:

"Cada operación de manufactura tiene un dominio mínimo de primitivas de manufactura".

Cabe hacer notar que se le llama dominio de manufactura al conjunto que contiene todas las primitivas de un proceso. Sin embargo, las primitivas determinadas por [3], representan procesos que contienen diversas operaciones. Por lo tanto, el dominio máximo de primitivas se caracteriza por el número de operaciones integrado a una secuencia de operaciones. Así, si una secuencia está formada por " n " operaciones, el dominio de primitivas y sus familias se relacionan o, más bien dicho, dependen de " n " [3,4].

En este sentido las primitivas relacionadas con un proceso, se determinan en términos de una secuencia de operaciones y, por tanto, no existe una primitiva caracterizada si no más bien una colección de ellas. Así, existe para $n > 1$ una colección de materias primas (primitivas), una colección de primitivas de productos preparados, materiales agregados o extraídos, subpartes y el producto terminado. El número de elementos que contiene cada colección depende de " n "[3].

Por otro lado, cada primitiva, según [3], tiene información implícita o explícita que hace que se distinga de las restantes. Dicha información se asocia en términos de un formato específico. Para el caso de las primitivas integradas a la colección de materias primas (P_{MP}), la información que la caracteriza es, según [3], la siguiente:

$$P_{MP} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Forma} \quad , \quad \text{Dimensiones} \quad , \quad \text{Material} \\ \text{geométrica} \quad \text{principales} \end{array} \right\}$$

La información de esta colección es del tipo implícita. Así mismo, la información representada en una primitiva del producto preparado (P_{PP}) es:

$$P_{PP} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Primitiva de la} \quad , \quad \text{Primitiva del sólido} \quad , \quad \text{Operación de} \\ \text{materia prima} \quad \text{agregado o extraído} \quad \text{preparación} \end{array} \right\}$$

Cabe hacer notar que, la información en esta primitiva es también implícita y que, la primitiva del producto preparado es una consecuencia matemática (términos y residuos de una expresión matemática o sistema que no tiene representación física o de aplicación concreta pero que son necesarios para que un método o teoría adquiera validez) [3.4]. Además, la primitiva del sólido agregado o extraído se interpreta como materia prima. Por otro lado, la primitiva del material agregado o extraído (P_{MAE}) contiene la siguiente información:

$$P_{MAE} = \left\{ \left\{ \begin{array}{l} \text{Información de la Geometría} \\ \text{primitiva del pro- , agregado o} \\ \text{ducto preparado extraído} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{Coordenadas del Vector Dimensiones} \\ \text{punto de inicio} \quad , \quad \text{unitario} \quad , \quad \text{de la} \\ \text{de la operación} \quad \quad \quad \text{operación} \end{array} \right\} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Parámetros} \\ \text{cinemáticos} \end{array} \right\} , \left\{ \begin{array}{l} \text{Información} \\ \text{adicional} \end{array} \right\}$$

La información representada en esta primitiva es del tipo cinemático explícita (El término cinemático explícito significa que la información que se representa en un modelo es, primero cinemática como velocidades, puntos, trayectorias y explícita porque dicha

información es desglosada de acuerdo con ciertos propósitos). También, la primitiva de los subproductos representa la siguiente información (P_{SUB}):

$$P_{SUB} = \left\{ \begin{array}{l} \textit{Primitiva de} \quad \textit{Primitiva} \quad \textit{Descripción de} \\ \textit{producto} \quad , \quad \textit{de la} \quad , \quad \textit{la operación de} \\ \textit{preparado} \quad \textit{operación} \quad \textit{manufactura} \end{array} \right\}$$

Esta primitiva contiene información del tipo explícita. Finalmente, la primitiva del producto finalizado o terminado (P_{PT}) se puede representar por:

- 1) Como materia prima (primitiva)
- 2) Como subproducto (primitiva)
- 3) Como una entidad que integre todas las primitivas del proceso.

A esta última representación se le conoce como matriz de entidades de manufactura [5].

1.5 Algunas consideraciones sobre las ecuaciones de forma y ecuaciones de volúmenes modificadas

Existen diversas maneras de representar las transformaciones geométricas y de manufactura de materias primas en productos terminados. Dos de tales transformaciones son [3,4,5,6]: 1) La ecuación de forma y 2) La ecuación de volúmenes modificados.

La ecuación de forma es una expresión booleana que combina sólidos regularizados y operadores booleanos en términos de una secuencia de operaciones [4]. La información geométrica y de manufactura representada en dicha expresión, es de la forma implícita. Así, los operadores booleanos se relacionan con las operaciones de manufactura en términos de un índice. Por ejemplo, la representación $\overset{+}{Y}$ es conocida como unión por ensamble y $\overset{-}{Y}$ es la diferencia de maquinado. También, B_{MP} es un sólido que representa una materia prima. La ecuación de forma tiene como objetivo fundamental direccionar o, en su caso, proponer una forma preliminar de las operaciones y procesos, ya sea en una máquina o en una línea de producción. La ecuación de forma puede obtener su información de:

- 1) Un plano o un conjunto de planos de fabricación
- 2) Por interpretación directa del flujo de operaciones y materiales en una línea de producción.

Si la información se forma de un plano, entonces las diferentes secuencias de operaciones obtenidas, en términos del número de operaciones, pueden ser usadas para orientar la distribución de maquinaria. Por el contrario, si la información se obtiene bajo interpretación de un proceso, la ecuación de forma solo representará las transformaciones geométricas y de manufactura de dicho proceso. Es decir, solo existe una secuencia de operaciones operativamente hablando. Otro uso que tiene la ecuación de forma, es el de orientar la construcción de un nuevo modelo denominado "ecuación de volúmenes modificada"[2,5]. Este modelo, al igual que la ecuación de forma, representa las operaciones y procesos en términos de volúmenes de primitivas y operaciones usuales de suma y resta de volúmenes. La ecuación de volúmenes se genera usando una secuencia de operaciones. De hecho:

"Toda ecuación de volúmenes modificada tiene una y solo una ecuación de forma asociada y viceversa, si y solo si ambas expresiones son generadas por la misma secuencia de operaciones."

La ecuación de volúmenes tiene su origen en el criterio siguiente: *"No se pueden operar primitivas que representen diferente tipo de información"*. Por este motivo, a cada primitiva se le asocia un volumen y se usan, en lugar de operadores booleanos, las operaciones de suma y resta de volúmenes.

I.6 La línea MIDCOM INC

La línea de producción que será modelada en esta tesis, pertenece a la empresa MIDCOM INC localizada en Cd. Obregón, Sonora. Sobre dicha línea se manufactura el componente mostrado en la figura I.1.



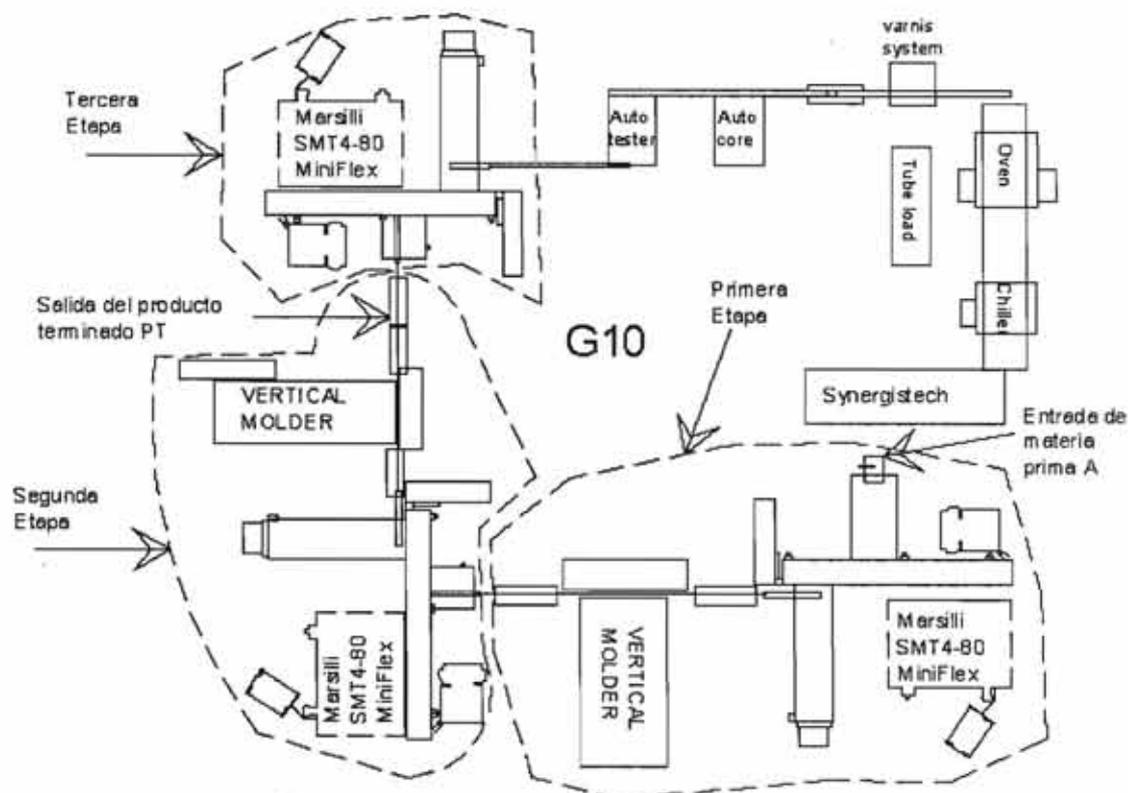
Figura I.1 Componente

Las operaciones realizadas o ejecutadas en la línea de producción se muestran en la tabla I.1. Asimismo, la distribución de planta es la mostrada en la figura I.2 .

Operación	Elemento geométrico de B _{M&E}
O ₁ (Montaje de bobina 1)	
O ₂ (Montaje de empapelado 1)	
O ₃ (Recubrimiento de flux 1)	
O ₄ (Recubrimiento por soldadura de estaño 1)	
O ₅ (Excedente de soldadura 1)	
O ₆ (Montaje de pieza)	
O ₇ (Montaje de bobina 2)	
O ₈ (Montaje de empapelado 2)	
O ₉ (Recubrimiento de flux 2)	
O ₁₀ (Recubrimiento por soldadura de estaño 2)	
O ₁₁ (Excedente de soldadura 1)	

Tabla I.1 Operaciones de manufactura

Figura I.2 Distribución de planta (cortesía MIDCOM INC)



En este trabajo de tesis se modelarán, usando ecuaciones de forma y ecuaciones de volúmenes modificados y matriz de entidades de manufactura, 5 operaciones de manufactura [7,8]:

- 1) Embobinado
- 2) Empapelado
- 3) Recubrimiento por flux
- 4) Recubrimiento por soldadura
- 5) Eliminación de excedentes

La secuencia de operaciones que será utilizada fue obtenida bajo interpretación del proceso.

1.7 Modelos abstractos de manufactura

En esta sección se presenta una síntesis de los modelos relacionados con las representaciones de materias primas en productos terminados. En un trabajo hecho en [5] se desarrollo una matriz de entidades de manufactura. En dicho trabajo fue modelada una pieza mecánica la cual es manufacturada por operaciones de manufactura. En la figura 1.2 se muestra la pieza modelada.

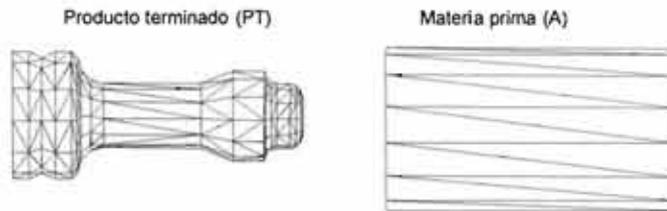


Figura 1.2. El producto PT y la materia prima A

En dicho trabajo se analizaron y desarrollaron las primitivas de manufactura del producto mostrado en la figura 1.2. Una de las primitivas de las operaciones se muestra en la figura 1.3.

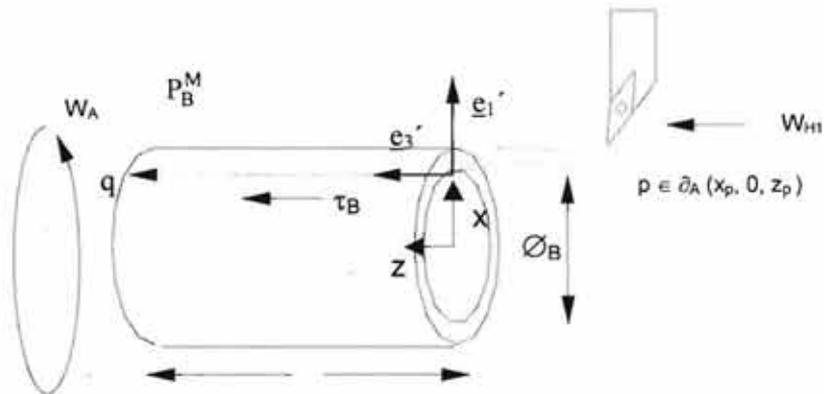


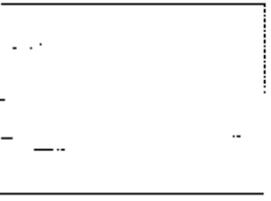
Figura 1.3 Parámetros de la primitiva P_B^M

Fueron analizadas 6 operaciones y la matriz resultante fue la siguiente [5]:

$$\{M_{PT}^*\} = \left\{ \begin{array}{c|cccccccc|cccccc} G_A & G_B & G_C & G_D & G_E & G_F & G_G & G_{sub 1} & G_{sub 2} & G_{sub 3} & G_{sub 4} & G_{sub 5} & G_{sub 6} \\ P_A^M & P_B^M & P_C^M & P_D^M & P_E^M & P_F^M & P_G^M & P_{sub 1}^M & P_{sub 2}^M & P_{sub 3}^M & P_{sub 4}^M & P_{sub 5}^M & P_{sub 6}^M \\ V_A^{PM} & V_B^{PM} & V_C^{PM} & V_D^{PM} & V_E^{PM} & V_F^{PM} & V_G^{PM} & V_{sub 1}^{PM} & V_{sub 2}^{PM} & V_{sub 3}^{PM} & V_{sub 4}^{PM} & V_{sub 5}^{PM} & V_{sub 6}^{PM} \end{array} \right\}$$

La tabla 1.2 muestra dos entidades de manufactura relacionada con la matriz de primitivas.

a11		
G11		
Geometría de la materia prima	Cilindro Macizo	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a'2		
G12		
Geometría de la operación	Cilindro Hueco	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a21	
P21	
Geometría	G11
Dimensiones	DiA = 25.4 IA = 48
Material	Latón 7030

a31	
V31	
Geometría	G11
Manufactura	P21
Volumen	22.801 cm ³

Primitiva de la materia prima

a22		
P22		
Primitiva de manufactura de la materia prima		P21
Geometría de la operación		G12
Coordenadas de "p"	(x,z)	(20,0)
Punto inicial y final	p	(20,0)
	q	(20,45)
Longitud de Corte	IB	45mm
Diámetro	DiAB	20mm
Vector unitario	e3'	(0,1)
Trayectoria	Recta	Perfiles de trayectoria
	P. inicial: p	
	P. Final: q	
	Longitud: 45	
Vel. Corte	VB	100mm/min
Tiempo	TB	
Movimiento	WH1	Traslación
	WA	Rot. 1500rpm
Herramienta	H1	Buril

a32	
V32	
Geometría	G12
Manufactura	P22

Primitiva de la operación

Tabla 1.2 Información de las entidades de manufactura.

La matriz desarrollada en el trabajo presentado por [5] fue utilizada para caracterizar un código de control numérico y una simulación. La tabla 1.3 muestra un ejemplo de esto.

004 G84 2000 -5000 100 100

Este comando es para hacer un ciclo de cilindrado, parte del punto de posicionamiento y se desplaza al punto final que son las coordenadas indicadas para "x" en 20 mm. y para "z" en -50 mm. con un avance de 100 mm./min.

Es la extracción del volumen B y generación de B_{sub1} .

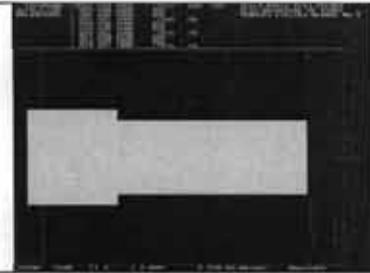


Tabla I.3 Ejemplo de la aplicación de la matriz de entidades de manufactura

Por otro lado, en un trabajo desarrollado por [9,10] fue desarrollada otra matriz de primitivas, para este caso el producto modelado fue una pieza mecánica la cual se muestra en la figura I.4. El producto es una pieza didáctica

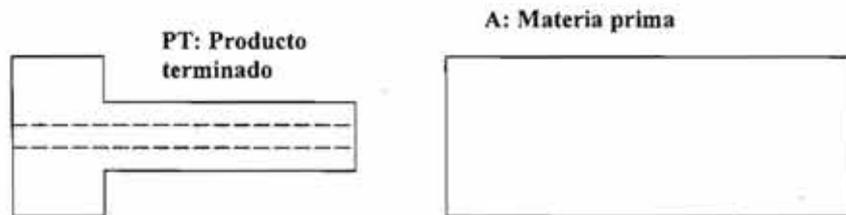


Figura I.4. El producto PT y la materia prima A

El componente fue fabricado en un torno didáctico Boxford. La descripción de algunas de las operaciones se presenta en la tabla I.4. El componente es fabricado por medio de una sucesión de operaciones de maquinados. Algunas primitivas modeladas se presentan en la tabla I.4. El objetivo era analizar el componente utilizando tres modelos de manufactura: ecuaciones de forma, ecuaciones de volúmenes modificados y matriz de primitivas. Esto es, aplicar tres modelos abstractos.

$O_1 \Leftrightarrow \overset{m}{-}T_{a_1}$	Taladrado de centros
$O_2 \Leftrightarrow \overset{m}{-}T_{a_2}$	Taladrado de 1 ^{er} aproximación
$O_3 \Leftrightarrow \overset{m}{-}T_{a_3}$	Taladrado de 2 ^{da} aproximación
$O_4 \Leftrightarrow \overset{m}{-}T_{a_4}$	Taladrado final
$O_5 \Leftrightarrow \overset{m}{-}C_1$	Cilindrado burdo
$O_6 \Leftrightarrow \overset{m}{-}C_2$	Cilindrado fino

Tabla I.4 Operaciones de manufactura

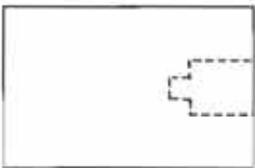
Nomenclatura	Descripción	Primitiva de la materia prima	Primitiva de los materiales extraídos	Operación	Forma geométrica
P_{PP1}	Primitiva del producto preparado 1	P_{A1}	P_{T1}	Preparación	
P_{PP2}	Primitiva del producto preparado 2	P_{SUB1}	P_{B1}	Preparación	

Tabla 1.5 Información de las primitivas de la familia P_{PP}

La matriz de primitivas relacionada con el producto mostrado en la figura 1.4 es la siguiente:

$$M_{PT}^E = \begin{pmatrix} G_{PT} \\ P_{PT} \\ V_{B1}^{PM} \end{pmatrix} = \left(\begin{array}{cccccccccc} G_{A1} & G_{T1} & G_{SUB1} & G_{SUB2} & G_{SUB3} & G_{SUB4} & G_{SUB5} & G_{SUB6} & G_{SUB7} \\ P_{A1} & P_{T1} & P_{SUB1} & P_{SUB2} & P_{SUB3} & P_{SUB4} & P_{SUB5} & P_{SUB6} & P_{SUB7} \\ V_{A1}^{PM} & V_{T1}^{PM} & V_{SUB1}^{PM} & V_{SUB2}^{PM} & V_{SUB3}^{PM} & V_{SUB4}^{PM} & V_{SUB5}^{PM} & V_{SUB6}^{PM} & V_{SUB7}^{PM} \end{array} \right) \left. \vphantom{\begin{pmatrix} G_{PT} \\ P_{PT} \\ V_{B1}^{PM} \end{pmatrix}} \right\} MP$$

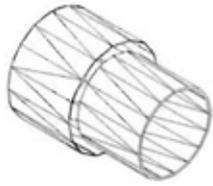
$$\left(\begin{array}{cccccccc} G_{PP1} & G_{PP2} & G_{PP3} & G_{PP4} & G_{PP5} & G_{PP6} & G_{PP7} & G_{PP8} \\ P_{PP1} & P_{PP2} & P_{PP3} & P_{PP4} & P_{PP5} & P_{PP6} & P_{PP7} & P_{PP8} \\ V_{PP1}^{PM} & V_{PP2}^{PM} & V_{PP3}^{PM} & V_{PP4}^{PM} & V_{PP5}^{PM} & V_{PP6}^{PM} & V_{PP7}^{PM} & V_{PP8}^{PM} \end{array} \right) \left. \vphantom{\begin{pmatrix} G_{PP1} \\ P_{PP1} \\ V_{PP1}^{PM} \end{pmatrix}} \right\} PP$$

$$\left(\begin{array}{cccccccc} G_{SUB1} & G_{SUB2} & G_{SUB3} & G_{SUB4} & G_{SUB5} & G_{SUB6} & G_{SUB7} & G_{SUB8} \\ P_{SUB1} & P_{SUB2} & P_{SUB3} & P_{SUB4} & P_{SUB5} & P_{SUB6} & P_{SUB7} & P_{SUB8} \\ V_{SUB1}^{PM} & V_{SUB2}^{PM} & V_{SUB3}^{PM} & V_{SUB4}^{PM} & V_{SUB5}^{PM} & V_{SUB6}^{PM} & V_{SUB7}^{PM} & V_{SUB8}^{PM} \end{array} \right) \left. \vphantom{\begin{pmatrix} G_{SUB1} \\ P_{SUB1} \\ V_{SUB1}^{PM} \end{pmatrix}} \right\} SUB$$

$$\left(\begin{array}{cccccccc} G_{T1} & G_{B1} & G_{B2} & G_{B3} & G_{B4} & G_{C1} & G_{C2} & G_{T2} \\ P_{T1} & P_{B1} & P_{B2} & P_{B3} & P_{B4} & P_{C1} & P_{C2} & P_{T2} \\ V_{T1}^{PM} & V_{B1}^{PM} & V_{B2}^{PM} & V_{B3}^{PM} & V_{B4}^{PM} & V_{C1}^{PM} & V_{C2}^{PM} & V_{T2}^{PM} \end{array} \right) \left. \vphantom{\begin{pmatrix} G_{T1} \\ P_{T1} \\ V_{T1}^{PM} \end{pmatrix}} \right\} MAE$$

La tabla 1.6 presenta una primitiva de las operaciones.

a₁₈

G ₁₈		
Geometría de la materia prima	Geometría especial	
Información Topológica	(V _i , C _j , B _k)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a₂₈

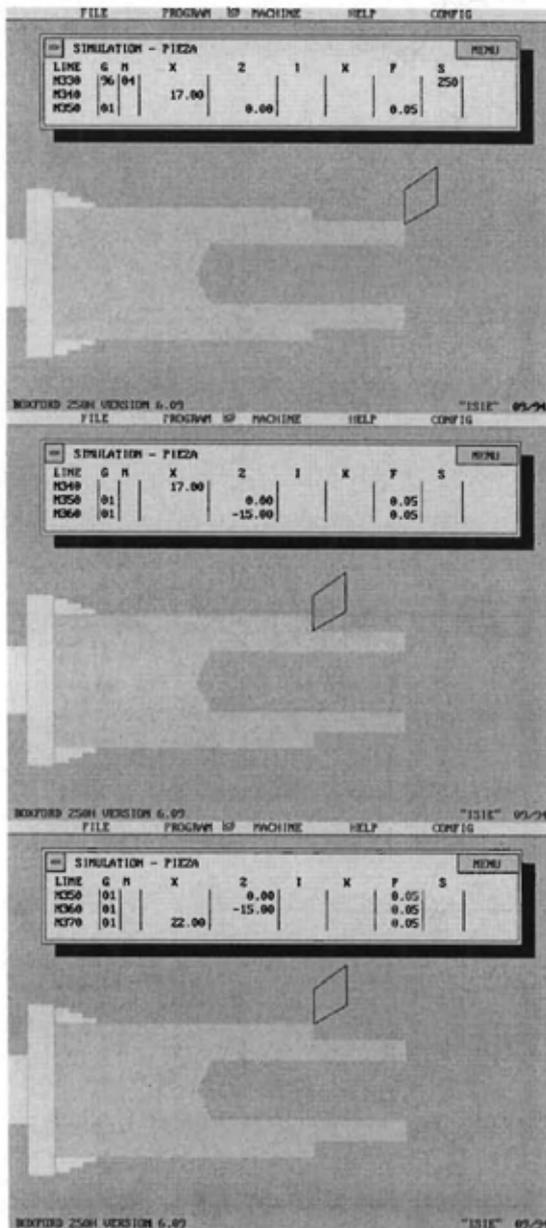
P ₂₈		
Geometría de la Operación		G ₁₈
Coordenadas de p	(x ,z)	(0, 8.6)
Punto Inicial y Final	p ^{vi}	(0,8.6)
	q ^{vi}	(-30,11)
Longitud del corte	l	30
Diámetro		22
Vector Unitario		(1,0)
Trayectoria	Recta P. Inicial: p ^{vi} P Final: q ^{vi} Longitud: 30	Perfiles de trayectorias
Vel. corte	V _{T1}	117.14 mm /s
Tiempo	T _{T1}	
Movimiento	W _{H1} W _A	Traslación Rot. 250 rpm
Herramienta		Buril

a₂₈

V ₃₈	
Geometría	G ₁₈
Manufactura	P ₂₈
Volumen	526.9440 mm ³

Tabla I.6 Datos de una primitiva de las operaciones

Al igual que en el trabajo desarrollado en [5], en esta investigación se aplicó la matriz de entidades de manufactura para caracterizar un programa de control numérico. La tabla I.7 muestra algunas salidas gráficas de la simulación.



N380 G01 0.00 F0.05

Se prepara en la posición z = 0

N390 G01 -15.0

$$P_{SUB6}^{PM} = P_{PP6}^{PM} \ominus P_{C1}^{PM}$$

Realiza un corte hasta z = -15, mediante una interpolación del perfil de velocidad

N400 G01 22.0

Se coloca el buril en x = 22

Tabla I.7 Ejemplo de la aplicación de la matriz en una simulación de fabricación

I.8 Resumen de la tesis y capitulado

En este trabajo de tesis se modelan 5 operaciones de manufactura relacionados con el componente mostrado en la figura I.1. se usarán las metodologías y criterios descritos en [,], para generar tres modelos: 1) Ecuación de forma, 2) Primitivas de manufactura y 3) Matriz de entidades de manufactura. Los modelos se enmarcarán en una metodología paso a paso con el propósito de ordenar, sistemáticamente, los procedimientos para generar los modelos de tal forma que la metodología sirva para fines didácticos e industriales.

Es importante señalar que, el modelo de ecuaciones de forma fue desarrollado en [7] y en esta tesis dicho modelo se relacionará con el modelo de ecuaciones de volúmenes y la matriz de entidades de manufactura, y la información que representen las primitivas de las operaciones (materiales agregados o extraídos) serán usadas, en un futuro trabajo, para modelar las trayectorias de operación.

Este trabajo está formado por 5 capítulos los cuales se resumen a continuación:

En el capítulo 1 se define el problema y las delimitaciones o restricciones, así como una hipótesis. En el capítulo 2 se presenta un breve marco teórico y los métodos paso a paso con los que se construirán los modelos. En el capítulo se presenta el modelo de la ecuación de forma. En el capítulo 4 se presenta el modelo de las ecuaciones de volúmenes modificadas. En el capítulo 5 se presenta el modelo de la matriz de entidades de manufactura. Finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo.

Capítulo 1

Definición del problema, restricciones e hipótesis

Introducción. En este capítulo se define el problema por solucionar en este trabajo de tesis, así como sus restricciones fundamentales. Se discute, además, los alcances del modelo de matriz de primitivas. De hecho, el modelo de matrices de primitivas será construido por medio de un método el cual será discutido paso a paso, en el capítulo 2. Finalmente, se hará uso del modelo de ecuaciones de forma desarrollado en [7], para desarrollar el modelo del componente usando primitivas de manufactura.

1.1 Definición del problema

El problema por solucionar en este trabajo de tesis, es el siguiente:

“Se requiere representar las transformaciones geométricas y de manufactura del componente electrónico mostrado en la figura 1.1, usando el modelo de la Matriz de primitivas”

1.2 Restricciones del problema

Las restricciones del problema definido en la sección anterior son las siguientes:

- 1) Solo se modelan 3 operaciones de manufactura y dos suboperaciones:
 - Embobinado
 - Encintado
 - Soldadura: recubrimiento por flux, soldadura y eliminación de excedentes.
- 2) El proceso de manufactura es serial.

- 3) El modelo de la ecuación de forma es fijo y conocido.
- 4) Las operaciones se representan una vez terminadas.

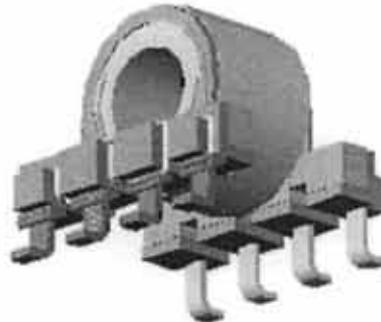


Figura 1.1. El componente por modelar

1.3 Hipótesis

Todo problema planteado, exige una guía que lo conecte con su solución. Dichas guías al ser escritas en términos de proposiciones se les llama hipótesis [11]. Para el caso de problema de este trabajo de tesis, la hipótesis es la siguiente:

- 1) Existe el problema y su solución.
- 2) La solución del problema depende de:
 - 2.1) La definición de primitiva de manufactura.
 - 2.2) De la cardinalidad (número de elementos) del dominio de manufactura.
- 3) Las premisas son:
 - 3.1) El plano de fabricación es una primitiva de manufactura
 - 3.2) El orden de la matriz de primitiva depende de la cardinalidad (número de elementos) del dominio de manufactura.

1.4 Descripción de las operaciones de manufactura y componentes básicos

En esta sección se describen en términos generales, las operaciones de manufactura que serán modeladas por medio de primitivas de manufactura. Dichas operaciones y las partes del componente se describen en la tabla 1.1.

Operación	Operador booleano	Elemento geométrico de B_{MAC}
O ₁ (Montaje de bobina 1)	M, B Y Unión de montaje por embobinado	
O ₂ (Montaje de empapelado 1)	M, P Y Unión de montaje por empapelado	
O ₃ (Recubrimiento de flux 1)	R Y Unión por recubrimiento	
O ₄ (Recubrimiento por soldadura de estaño 1)	S Y Unión por soldadura	
O ₅ (Excedente de soldadura 1)	E - Diferencia de excedentes	

Tabla 1.1. Descripción de componente y operaciones de manufactura

Cabe mencionar que las operaciones de manufactura descritas en la tabla anterior son realizadas por:

- 1) Una máquina embobinadora.
- 2) Una máquina empapeladora.
- 3) Un robot cartesiano de tres grados de libertad, el cual realiza las operaciones de recubrimiento por flux, soldadura por inmersión de estaño y eliminación de excedentes.

Dichas máquinas, con el permiso de la empresa MIDCOM INC, se muestran en la figura 1.2:



a)



b)



c)

Figura 1.2. Fotografías de máquinas (cortesía MIDCOM):

a) Embobinadora, b) empapeladora, c) soldadora

1.5 Algunas consideraciones del modelo de primitivas

En esta sección se discutirán, en forma breve, los alcances y restricciones del modelo de la matriz de primitivas que será desarrollado en este trabajo de tesis.

En primer lugar, el componente es manufacturado, de acuerdo con [7], por 11 operaciones de manufactura. Sin embargo, en esta tesis solo se modelarán 5 operaciones, puesto que las 5 operaciones finales (excepto el modelado), son equivalentes (parecidas) a las 5 primeras. Además, si se consideran 11 operaciones, el modelo de la matriz de primitivas será demasiado extenso.

Por otro lado, el hecho de que el sistema productivo sea serial, permitirá usar el modelo de ecuaciones de forma desarrollado por [], puesto que el modelo de la matriz de primitivas como se verá en los capítulos 3, 4 y 5, depende de los modelos de ecuaciones de forma y de volúmenes modificados y estos, a su vez, de la teoría del dominio de manufactura [3].

En cuanto a la información representada en las primitivas, dicha información es aproximada en el sentido de que, parte de ella se obtuvo de planos de fabricación y otra parte se caracterizó en forma visual ya que, como se mencionó en la sección de restricciones, la información es confidencial. Por tanto, dichos planos no serán presentados en este trabajo de tesis. El modelo base del cual se partirá es la ecuación de forma. Dicho modelo, como ya se mencionó anteriormente, fue desarrollado por [7] y, por tanto, en este trabajo la ecuación de forma se considera conocida y fija, es decir, no se modificará.

Por otro lado, la razón de que las operaciones de manufactura sean representadas una vez finalizadas, es por el hecho de que no es posible considerar fluidos. El recubrimiento por flux, soldadura y eliminación de excedentes se consideran sólidos; es decir, una vez solidificados después de aplicar las operaciones. La tabla siguiente se usará para caracterizar las primitivas en este trabajo de tesis [5,11]:

Nomenclatura y descripción de índices	Nomenclatura de parámetros	Descripción de parámetros
P_{MP} (Índice de materias primas)	G_{PM}	Geometría de las materias primas
	L_{PM}	Dimensiones principales de las materias primas
	M_{MP}	Material de las materias primas
P_{PP} (Índice de las operaciones)	P_{PMi}	i - ésima materia prima
	P_{PMi+1}	i - ésima + 1 materia prima
	Operación i - ésima de preparación	Letrero que identifica la i - ésima operación de preparación
P_{MAE} (Índice de las operaciones)	P_{PTi}	i - ésimo producto terminado
	G_{MAE}	Geometría del material agregado o extraído
	$P \in \partial_{PP}$	Punto localizado en la frontera del producto preparado que caracteriza el inicio de la operación de manufactura
	\underline{e}_i^i	Vector unitario definido en la dirección del movimiento de una herramienta
	{ Información básica de la operación }	Dimensiones, diámetros, longitudes, etc.
	V_{MAE}	Velocidad de operación del sólido agregado o extraído
	T_{MAE}	Lugar geométrico de operación y trazo de perfil de velocidades conocido
	W_{PP}	Velocidad lineal o angular del producto preparado
	W_{MAE}	Velocidad lineal o angular de la herramienta que agrega o extrae material
	H_{MAE}	Letrero que describe la herramienta requerida para la operación
	k_{ij}	Conjunto de parámetros secundarios o complementarios de la operación
P_{SLM} (Índice de las subpartes)	P_{PTi}	Información del producto preparado i - ésimo
	P_{MAE}	Información de la operación
	Operación real de manufactura	Letrero que indica la operación y su naturaleza
P_{PT} (Índice del producto terminado)	M^E	Modelo de entidades de manufactura
	P_{SLMi}	Producto terminado como última subparte
	P_{MP}	Producto terminado como materia prima

Tabla 1.2 Parámetros de las primitivas de manufactura

Capítulo 2

Marco teórico y metodología

Introducción. En este capítulo se presenta un marco teórico y una metodología la cual será utilizada en los capítulos 3 y 4 para generar una ecuación de forma, una ecuación de volúmenes y la matriz de entidades de manufactura. Se dan también, en este capítulo, algunos conceptos de interés relacionados con las primitivas con el propósito de entender en lo general y en lo particular la metodología. Se presenta un breve resumen de la teoría del dominio de manufactura desarrollada por [3], pues dicha teoría es el fundamento de esta tesis.

2.1 Conceptos importantes de la representación por primitivas

Para poder representar y manipular la información geométrica y de manufactura impresa en planos de fabricación, diversas técnicas y herramientas han sido desarrolladas. La más utilizada en la actualidad es la tecnología por primitivas. De acuerdo con [3,12,13], la definición más general de primitiva es la siguiente:

“Una primitiva es una representación computacional que combina información geométrica y no geométrica de una parte o componente o un conjunto de partes. Dicha información se usa para un propósito en específico”.

La definición descrita anteriormente, es muy general, puesto que existen diversos objetos que se pueden describir por primitivas. Es necesario, acotar dicha definición; esto es [3]:

“Una primitiva es de manufactura, si la información no geométrica es de manufactura”.

Nótese que el solo hecho de que la información no geométrica relacionada con la primitiva sea de manufactura implica que la definición inicial sea acotada. Por otro lado, una primitiva puede representar a su vez, un conjunto de primitivas y en el supuesto caso de que en un plano de fabricación exista información geométrica de componentes e información de manufactura, entonces es posible proponer la siguiente hipótesis:

“Un plano de fabricación está compuesto por una colección de entidades geométricas llamadas partes y otra colección de entidades de manufactura. Por tanto, el plano de fabricación es una colección de primitivas de manufactura”.

En realidad, el hecho de que un plano de fabricación sea una primitiva de manufactura (puesto que una primitiva puede representar una colección de primitivas), no implica que dicho plano tenga toda la información necesaria para generar primitivas funcionales. Por tanto,

“Una primitiva es funcional si la información que representa está direccionada hacia un fin específico y dicho fin condiciona la información que debe representar la primitiva”.

Por ejemplo, una primitiva funcional direccionada hacia el análisis de tolerancias no solo debe representar la información respecto a las tolerancias descritas en el plano de fabricación, sino también información de las herramientas. Nótese que la información relativa con las herramientas es información externa al plano de fabricación la cual está relacionada obviamente con la información de dicho plano.

La información externa al plano de fabricación; es decir, a la “primitiva mayor”, puede ser anexada o agregada de acuerdo con las necesidades del fin específico, siempre y cuando dicha información esté relacionada con la manufactura del componente o de los

componentes y sus generalidades tales como, costo de fabricación, impacto al medio ambiente, entre otras.

Las primitivas son “formatos” o representaciones de características geométricas y no geométricas. Por tanto, el solo hecho de que sean formatos implica que la información que representan se puede obtener de:

- 1) Del plano de fabricación
- 2) De tablas de datos de manufactura o de factores económicos.
- 3) De cálculos de variables.
- 4) De interpretación visual.
- 5) De otras fuentes relacionadas con la fabricación de los componentes.

Para el caso de estudio de este trabajo de tesis, la información es obtenida de dos fuentes:

1) planos de fabricación y 2) de interpretación visual, puesto que como ya se menciona en el capítulo 1, la información precisa de la manufactura del componente es confidencial. Además, el fin al que se quiere llegar con la representación por primitivas, es agrupar información cinemática para que dicha información pueda ser utilizada en el análisis de trayectoria, en futuros trabajos de tesis como en el presente.

2.2 Niveles de abstracción de la información y modelos de manufactura

Un modelo es una representación abstracta de un fenómeno o problema de diversa índole. Es una representación abstracta por el hecho de que el modelo es una aproximación a los hechos reales y nunca un modelo podrá representar una realidad, puesto que en la realidad existe un infinito número de propiedades. En un modelo, al ser abstracto, las propiedades representadas son limitadas y, por tanto, “manejables” o, mejor dicho “operables”.

Así, un árbol, al ser representado por nuestra visión, es un modelo, puesto que la visión no es capaz de verificar o mejor dicho considerar todas sus propiedades tales como, el número de hojas, (si son muchas), la forma concreta de las hojas, la extensión de las raíces, el número de células, etc.

El plano de fabricación es, por tanto, un modelo el cual representa la información mínima suficiente para fabricar componentes. Por otro lado, la primitiva de manufactura es también un modelo, puesto que representa un plano de fabricación (en este trabajo de tesis).

El modelo fue concebido para poder analizar, manejar y operar las realidades de un problema o fenómeno en términos de un número limitado de propiedades y/o características. La figura 2.1 muestra un esquema de un modelo:

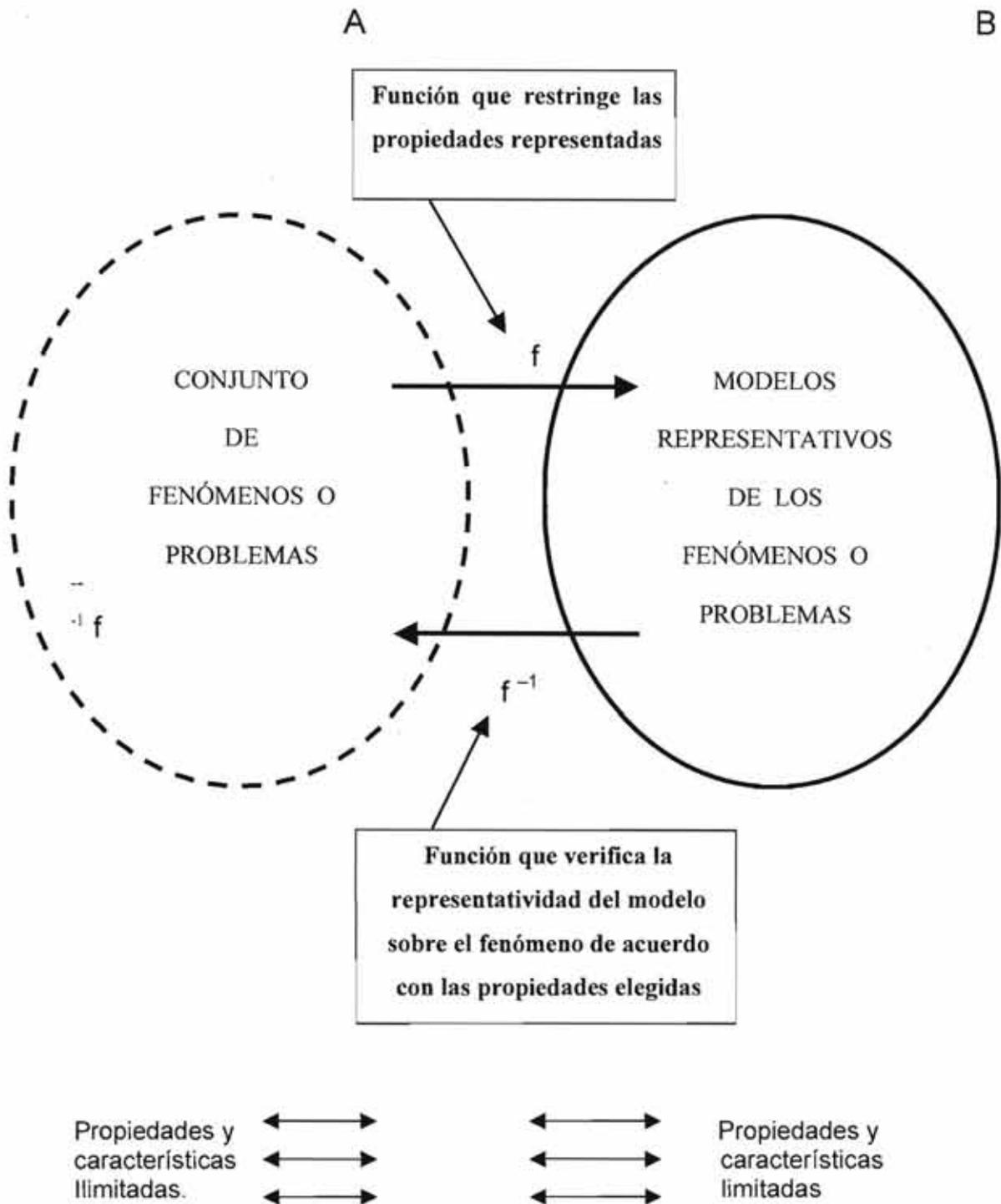


Figura 2.1 Esquema de representatividad entre fenómenos y modelos

De acuerdo con la figura 2.1, el nivel de abstracción A es en realidad un nivel mínimo por no decir, ilimitado. Es mínimo puesto que depende de la capacidad visual de interpretación del fenómeno y de la información que ya existe de él.

Por otro lado, el nivel de abstracción B es el que delimita la cantidad de propiedades representadas en un modelo y se supone que dicha cantidad de propiedades debe ser equivalente a un subconjunto de propiedades del nivel de abstracción de A; es decir, las propiedades escogidas para ser representadas. Dentro del nivel de abstracción de B existe una subclasificación de niveles:

- 1) Nivel máximo.
- 2) Nivel mínimo.

El nivel es máximo si el número de propiedades representadas tiende a 0 y es mínimo si el número de propiedades se aleja de 0. En este trabajo de tesis lo que se quiere es representar las transformaciones geométricas y de manufactura de componentes. Por lo tanto, el modelo requerido es de manufactura. Así mismo, se utilizarán los siguientes niveles de abstracción en B:

- 1) Máximo: para construir las ecuaciones de forma.
- 2) Mínimo: para representar las operaciones de manufactura de componentes por medio de primitivas y las matrices de primitivas.

En la siguiente sección se darán los conjuntos de propiedades y características relacionadas con los niveles descritos anteriormente.

2.3 El domino de manufactura

En el trabajo desarrollado por [3], se determinó, de manera sistemática, el dominio de manufactura de componentes. El problema por solucionar en dicho trabajo fue el siguiente:

"Conocido un plano de fabricación (PF) o un conjunto de planos y un área de trabajo (A_T) sobre la cual entran y salen productos, encuentre:

- 1) *El dominio de manufactura en términos de primitivas y sus familias.*
- 2) *La cardinalidad del dominio y sus familias.*

Para determinar el dominio de primitivas se usaron las definiciones nominales y reales siguientes [3]:

Definición 2.1. Una primitiva es una representación computacional que combina información geométrica y no geométrica de una parte o un conjunto de partes. Dicha información se puede utilizar para algún propósito en específico [3].

Definición 2.2. Una primitiva es llamada de manufactura si la información no geométrica que representa es de manufactura [3].

Definición 2.3. Un plano de fabricación es una representación que combina información geométrica y no geométrica (de manufactura) de un componente o un conjunto de componentes.

Definición 2.4. Un sistema de manufactura está compuesto por una colección de materias primas o insumos y de una colección de máquinas tal que dichas máquinas procesan las materias primas y se produce un producto finalizado.

Definición 2.5. Sea C_{MP} la colección de materias primas y PT el producto terminado. Un sistema productivo se representa por: $T [C_{MP}] = PT$, siendo T una relación de proceso.

Definición 2.6. Toda acción $T [C_{MP}] = PT$ se realiza en un área de trabajo A_T .

Definición 2.7. El área A_T es analítica; es decir, $A_T = I_{AT} \cup \partial_{AT}$, siendo I_{AT} el interior y ∂_{AT} la frontera del área.

Definición 2.8. Un producto se dice terminado si $T [C_{MP}] = PT \in \partial_{AT}$.

Definición 2.9. Un producto no está terminado si $PT \in I_{AT}$.

Definición 2.10. Si $T [C_{MP}] = PT$ tal que $PT \in I_{AT}$, entonces PT es llamado última subparte.

Definición 2.11. Todo plano de fabricación tiene asociada información relacionada con la materia prima. Tal información está implícita o explícita en dicho plano.

Por otro lado, la obtención del dominio de manufactura fue consecuencia de la siguiente hipótesis [3]:

“Si existe un plano de fabricación y un área de trabajo relacionada un sistema productivo, entonces existe un dominio de manufactura con el cual $T [C_{MP}] = PT \in \partial_{AT}$ pasando por A_T y concluyendo en ∂_{AT} . Si el plano de fabricación es una colección finita de primitivas de manufactura, entonces existe:

- 1) Un dominio de primitivas de manufactura referencial relacionado con dicho plano.*
- 2) Un dominio de primitivas de completud relacionado con la localización del producto terminado.*
- 3) La suma de dichos dominios es el dominio de manufactura completo.”*

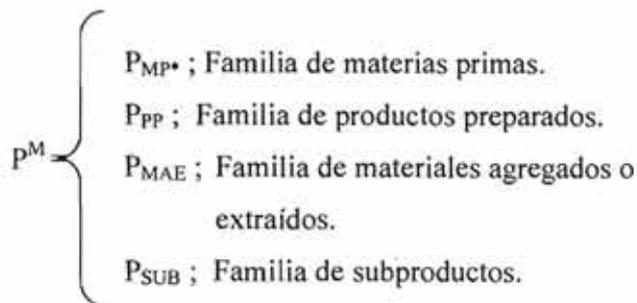
La cardinalidad del dominio completo y sus familias depende del número de operaciones de manufactura impresas en un plano de fabricación o una colección de planos. Los axiomas fueron los siguientes:

- 3.1) El plano de fabricación es una colección finita de primitivas de manufactura.

- 3.2) En todo plano de fabricación existe la terna (C_M, C_{OM}, PT) siendo C_{OM} un conjunto de operaciones de manufactura.
- 3.3) Un producto es terminado si $T [C_{MP}] = PT \in \partial_{AT}$. Un producto es subparte final si $T [C_{MP}] = PT$ tal que $PT \in I_{AT}$.

Los resultados del proceso de sistematización fueron [3]:

- El dominio de manufactura (P^M) se compone de las familias siguientes:



- La cardinalidad del dominio P^M y sus familias satisfacen las relaciones siguientes:

- 1) $\alpha (P^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta (P_{MP\bullet}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta (P_{PP}) = \theta (P_{MAE}) = \theta (P_{SUB}) = n$
- 4) $\theta (P_{PT}) = 1$

Es importante observar que, con solo conocer el número de operaciones principales de manufactura, es posible determinar todo un conjunto de primitivas de manufactura (dominio) y sus familias relacionadas con cualesquier componente sujeto a proceso. La importancia de generar este modelo (el dominio y sus familias) radica en que, por el hecho de ser primitivas, el dominio es independiente de cualesquier dominio operativo de trabajo; es decir, el dominio de manufactura puede representar 1) geometrías, 2) sólidos regularizados y 3) volúmenes entre otros objetos con tal de que lo representado sea homogéneo (objetos con la misma características).

Con estos resultados a continuación se describirán cada uno de los métodos de representación de materias primas en productos terminados.

2.4 Metodología para la representación por primitivas

En esta sección se presentan los pasos de una metodología la cual será utilizada para construir dos modelos: 1) ecuación de forma, 2) representaciones por primitivas y matrices de primitivas.

Dicha metodología será aplicada en los siguientes capítulos para representar las transformaciones geométricas y de manufactura del componente descrito en la sección 1.1 del capítulo 1. Antes de proceder a describir los pasos de la metodología, es necesario definir algunos conceptos de interés.

De acuerdo con [2], una Ecuación de forma:

“Es una representación abstracta de las transformaciones geométricas de componentes en términos de suma y resta de volúmenes relacionados con primitivas de manufactura”. Dicha representación se construye usando una secuencia admisible de operaciones de manufactura”.

La ecuación de volúmenes modificados es en realidad una ecuación de primitivas y según la definición anterior, dicha expresión es construida con los siguientes elementos primitivos:

- 1) Volúmenes de primitivas
- 2) Suma y resta de volúmenes
- 3) Una secuencia de operaciones admisible geoméricamente.

Para obtener los volúmenes de las primitivas, es decir, su número, es necesario generar el dominio P^M de primitivas. Dicho dominio, de acuerdo con [3], se genera usando el número de operaciones de manufactura, esto es:

$$\alpha(P^M) = 2(2n + 1)$$

Aquí, $\alpha (P^M)$ es el número de primitivas y n el número de operaciones. El dominio $\alpha (P^M)$ se caracteriza por familias. Esto es:

$$P^M = \begin{cases} P_{MP} : \text{Familia de materias primas} \\ P_{PP} : \text{Familia de subproductos} \\ P_{MAE} : \text{Familia de materiales agregados o extraídos} \\ P_{SUB} : \text{Familia de subproductos} \\ P_{PT} : \text{Familia de productos terminados} \end{cases}$$

El número de elementos que integran cada familia se obtiene, según [3], de la manera siguiente:

- 1) $\theta (P_{MP}) = 2 + (n - 1)$
- 2) $\theta (P_{PP}) = \theta (P_{MAE}) = \theta (P_{SUB}) = n$
- 3) $\theta (P_{PT}) = 1$

La familia $\theta (P_{MP})$ se compone de:

- 1) La materia prima base.
- 2) El primer material agregado o extraído
- 3) Las $n - 1$ subpartes

Por otro lado, los productos preparados son “entidades matemáticas” derivadas de relaciones de contacto, penetración y disyunción.

Es importante mencionar que, la información asociada con cada primitiva que compone el dominio P^M , se dará en términos de un conjunto de parámetros los cuales fueron descritos en el capítulo 1 de esta tesis.

Es posible, de acuerdo con [3], generar una expresión de primitivas, usando volúmenes. Si se supone que cada geometría de cada primitiva está relacionada con uno y solo un volumen. La idea es generar una representación que permita expresar las primitivas de manufactura, sobre la base de una ecuación que integre volúmenes y operaciones de suma

y resta (de volúmenes). Esto es requerido, puesto que las primitivas contienen diferentes cantidades de información.

Existen dos tipos de ecuaciones de volúmenes o también denominados “ecuaciones de primitivas”:

- 1) La ecuación de productos preparados con la cual se relacionan dos materias primas.
- 2) La ecuación de subproductos con la cual se relacionan las materias primas y la operación de manufactura.

De la última expresión relacionada con el subproducto, se encuentra la ecuación general de volúmenes. Es importante señalar que las operaciones de suma y resta de volúmenes representan operaciones de manufactura de eliminación o anexión de porciones de material a las materias primas. La forma en que dichas operaciones se aplican a los componentes depende de la selección de una secuencia de operaciones admisible geoméricamente. De hecho:

“Una secuencia de operaciones se dice admisible geoméricamente si una vez aplicadas las operaciones sobre un componente, el resultado final proporciona el producto finalizado según marca el plano de fabricación”.

Otro modelo importante se define de la manera siguiente:

“Una ecuación de forma es una representación abstracta de las transformaciones geométricas de materias primas en productos terminados. Los elementos que constituyen una ecuación de forma son sólidos regularizados y operadores booleanos, ambos parametrizados en términos de manufactura. Dicha ecuación se construye por la aplicación de una secuencia, admisible geoméricamente, de operaciones de manufactura”.

La ecuación de forma, al igual que la ecuación de volúmenes, está integrada por tres elementos primitivos:

- 1) Sólidos regularizados que representan componentes.

- 2) La unión e intersección como operaciones representativas de manufactura.
- 3) Una secuencia de operaciones admisible geoméricamente.

Es importante señalar que, la ecuación de forma es también una representación por primitivas, con la diferencia de que la información que representa es mínima. Por otro lado:

" Toda ecuación de volúmenes tiene asociada una y solo una ecuación de forma si y solo si ambas son construidas con la misma secuencia de operaciones ".

Con esta definición es posible generar un dominio de primitivas reducidas (mínima representación de la información), para construir las ecuaciones de forma. Dicho dominio es el siguiente:

$$B^M = \begin{cases} B_{MP} : \text{Familia de sólidos de las materias primas} \\ B_{PP} : \text{Familia de sólidos de los productos preparados} \\ B_{MAE} : \text{Familia de sólidos que representan las porciones de los} \\ \quad \text{materiales agregados o extraídos} \\ B_{SUB} : \text{Familia de sólidos que representan las subpartes} \\ B_{PT} : \text{Familia de sólidos que representan los productos terminados} \end{cases}$$

Así mismo, el número de elementos del dominio B^M y sus familias se obtiene con las siguientes relaciones:

- 1) $\alpha(B^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta(B_{MP}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta(B_{PP}) = \theta(B_{MAE}) = \theta(B_{SUB}) = n$
- 4) $\theta(B_{PT}) = 1$

La ecuación de forma se construye tomando en consideración lo siguiente:

- 1) Generar las expresiones de producto preparado.
- 2) Generar las ecuaciones de subproducto.

Al expandir el último subproducto se encuentra la ecuación de forma. Cabe señalar, finalmente, que las primitivas de manufactura relacionadas con el componente estudiado en este trabajo de tesis, están direccionadas al análisis cinemático del movimiento de las herramientas.

Por otro lado, otro modelo usando para representar las transformaciones de las materias primas en productos terminados es la “Matriz de primitivas” o también llamada matriz de entidades de manufactura [5]. Considere la siguiente definición [14]:

“Una matriz de primitivas es un arreglo ordenado de tripletas llamadas entidades de manufactura formadas por una entidad geométrica (G), una primitiva (P^{PM}) y un volumen de la primitiva (V). El orden de la matriz depende del número de operaciones de manufactura, de una secuencia de operaciones y de la estructura del dominio de manufactura”.

Matemáticamente se tiene la siguiente relación [14]:

$$\left[\begin{array}{c} M \\ PT \end{array} \right]_{N \times M}^E = \left[\begin{array}{c} M \\ PT \end{array} \right]_{3 \times [\alpha(B^M) - 1]}^E$$

Siendo:

$\left[\begin{array}{c} M \\ PT \end{array} \right]^E$: la matriz de entidades de manufactura del producto terminado.

$N=3$: número de filas.

$M = \alpha(B^M) - 1$: es el número de columnas.

De hecho la matriz de primitivas tiene dos representaciones:

- 1) Una como entidad de manufactura de la última subparte.
- 2) Como una descomposición del dominio de manufactura.

Las representaciones anteriores son las siguientes:

$$1) \begin{bmatrix} M_{PT}^E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{PT}^E \end{bmatrix}$$

$$2) \begin{bmatrix} M_{PT}^E \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} M_{MP}^E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} M_{PP}^E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} M_{MAE}^E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} M_{SIB}^E \end{bmatrix} \right\}$$

O, equivalentemente:

$$\begin{bmatrix} M_{PT}^E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{PT}^E \end{bmatrix}^* = \left\{ \begin{bmatrix} M_{MP}^E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} M_{PP}^E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} M_{MAE}^E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} M_{SIB}^E \end{bmatrix} \right\}$$

Las tripletas o entidades de manufactura se describen a continuación:

$$1) \begin{bmatrix} M_{PT}^E \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} G_{PT} \\ P_{PT} \\ V_{PT}^{PM} \end{pmatrix}$$

$$2) \begin{bmatrix} M_{MP}^E \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} G_{MP} \\ P_{MP} \\ V_{MP}^{PM} \end{pmatrix}$$

$$3) \begin{bmatrix} M_{PP}^E \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} G_{PP} \\ P_{PP} \\ V_{PP}^{PM} \end{pmatrix}$$

$$4) \begin{bmatrix} M_{MAE}^E \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} G_{MAE} \\ P_{MAE} \\ V_{MAE}^{PM} \end{pmatrix}$$

$$5) \left[M_{SUB}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{SUB} \\ P_{SUB} \\ V_{SUB}^{PM} \end{pmatrix}$$

O, en forma explícita:

$$\left[M_{II}^E \right] = \left\{ \begin{pmatrix} G_{MP} \\ P_{MP} \\ V_{MP}^{PM} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} G_{PP} \\ P_{PP} \\ V_{PP}^{PM} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} G_{MAE} \\ P_{MAE} \\ V_{MAE}^{PM} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} G_{SUB} \\ P_{SUB} \\ V_{SUB}^{PM} \end{pmatrix} \right\}$$

Note que:

$$1) \left[M_{PP}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{PP} \\ P_{PP} \\ V_{PP}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times 1$$

$$2) \left[M_{MP}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{MP} \\ P_{MP} \\ V_{MP}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times (2 + (n-1))$$

$$3) \left[M_{PP}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{PP} \\ P_{PP} \\ V_{PP}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times n$$

$$4) \left[M_{MAE}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{MAE} \\ P_{MAE} \\ V_{MAE}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times n$$

$$5) \left[M_{SUB}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{SUB} \\ P_{SUB} \\ V_{SUB}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times n$$

Por otro lado, cada uno de los elementos que componen las entidades de manufactura satisfacen:

A) Un dominio de geometría:

- 1) $\alpha (G^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta (G_{MP^*}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta (G_{PP}) = \theta (G_{MAE}) = \theta (G_{SUB}) = n$
- 4) $\theta (G_{PT}) = 1$

B) Un dominio de primitivas:

- 1) $\alpha (P^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta (P_{MP^*}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta (P_{PP}) = \theta (P_{MAE}) = \theta (P_{SUB}) = n$
- 4) $\theta (P_{PT}) = 1$

C) Un dominio de volúmenes:

- 1) $\alpha (V^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta (V_{MP^*}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta (V_{PP}) = \theta (V_{MAE}) = \theta (V_{SUB}) = n$
- 4) $\theta (V_{PT}) = 1$

Finalmente, las tablas 2.1, hasta la 2.12, están asociadas con cada uno de las entidades de manufactura [5]:

1) **Materias primas**

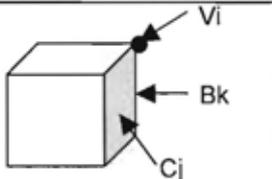
a1,j			
G1,j			
Geometría de la materia prima	Descripción		
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)		
Forma Topológica	Bien Definida		

Tabla 2.1 Información de la geometría de las materias primas.

a2,j	
P2,j	
Geometría	
Dimensiones	
Material	

Tabla 2.2 Información dimensional y de manufactura de las materias primas.

a3,j	
V3,j	
Geometría	
Manufactura	
Volumen	

Tabla 2.3 Información volumétrica de las materias primas.

2) Productos preparados

a1,j+k+l		
Gi+2,j		
Geometría de la operación	Descripción	Representación Gráfica
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

Tabla 2.4 Información geométrica de los productos preparados.

a2,j+k+l	
Vi+2,j	
Primitiva de materia prima	
Primitiva de operación	

Tabla 2.5 Información de primitivas de procedencia.

a3,j+k+l

Geometría	
Manufactura	
Volumen	
Código de proceso	
Operación	
Subparte intermedia	
Subparte final	
Secuencia de operaciones	

Tabla 2.6 Información volumétrica y de seguimiento.

3) Materiales agregados y extraídos (operaciones)

a1,j+k

G1,j+k		
Geometría de la operación	Descripción	Representación gráfica
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

Tabla 2.7 Información geométrica de las operaciones

a2,j+k

Pi+1,j

Descripción de entidad	Parámetros	Valores o códigos
Primitiva de manufactura de la materia prima		Pi+1,j
Geometría de la operación		Gi+1,,j
Coordenadas de "p"	(x,z)	
Punto inicial y final	p	
	x	
Parámetro de Corte	l	
Diámetro	Dia	
Vector unitario	e2'	
Trayectoria	Recta	Perfiles de trayectoria
	P. inicial:	
	P. final:	
	Longitud:	
Vel. Corte	V	
Tiempo	T	
Movimiento	Vel (Herramienta)	
	RPM (Pieza)	
Herramienta	H	

Tabla 2.8. Información dimensional y de manufactura de las operaciones.

a3,j+k

V3,j+k	
Geometría	G
Manufactura	P
Volumen	

Tabla 2.9. Información volumétrica de las operaciones.

4) Subpartes

a1,j+k+l

Gi+2,j		Representación Gráfica
Geometría de la operación	Descripción	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

Tabla 2.10 Información geométrica de las subpartes.

a_{2,j+k+l}	
V_{i+2,j}	
Primitiva de materia prima	
Primitiva de operación	

Tabla 2.11 Información dimensional y de manufactura de las subpartes.

a_{3,j+k+l}	
Geometría	
Manufactura	
Volumen	
Código de proceso	
Operación	
Subparte intermedia	
Subparte final	
Secuencia de operaciones	

Tabla 2.12 Información volumétrica y de proceso de las subpartes.

2.4.1 Pasos de la metodología.

En esta sección se presentan los pasos seguidos para generar las ecuaciones de forma y la ecuación de primitivas, así como la matriz de entidades de manufactura. Dichos pasos serán utilizados en los capítulos 3, 4 y 5 para modelar el componente motivo de estudio en este trabajo de tesis.

2.4.1.1 Las ecuaciones de forma.

En esta sección se darán los pasos por seguir para construir ecuaciones de forma de producto usando el dominio de manufactura. Esto es:

Paso 1) Identificar de un plano de fabricación o de un conjunto de planos o por interpretación el número de operaciones principales de manufactura.

Paso 2) Determinar el número de elementos del dominio B^M usando:

$$\alpha(B^M) = 2(2n + 1)$$

Paso 3) Generar las familias de B^M y determinar sus elementos usando:

$$1) \theta(B_{MP}) = 2 + (n - 1)$$

$$2) \theta(B_{PP}) = \theta(B_{MAE}) = \theta(B_{SUB}) = n$$

$$3) \theta(B_{PT}) = 1$$

Paso 4) Representar los elementos de la familia B_{MAE} en términos de sólidos y asociar una nomenclatura de identificación.

Paso 5) Representar en términos de un sólido el producto terminado y asociar una nomenclatura de identificación.

Paso 6) Representar en términos de sólido la materia prima base y asociar una nomenclatura de identificación.

Paso 7) Representar en término de sólidos la familia B_{PP} y asociar una nomenclatura de identificación.

Paso 8) Representar en términos de sólidos la familia B_{SUB} y asociar una nomenclatura de identificación.

Paso 9) Representar todo el dominio B^M en términos de sólidos.

Paso 10) Asociar con cada operación de manufactura un operador boleano parametrizado en términos de manufactura.

Paso 11) Definir una secuencia de operaciones de manufactura admisible geoméricamente.

Paso 12) Generar las ecuaciones de productos preparados y subproductos.

Paso 13) Expandir la última subparte y encontrar la ecuación de forma.

Paso 14) Representar geoméricamente la ecuación de forma.

2.4.1.2 Las ecuaciones de volúmenes modificadas.

En esta sección se presentan los pasos relacionados con la construcción de las ecuaciones de volúmenes modificadas. Para tal propósito se usará el domino de manufactura. Esto es:

Paso 15) Determinar el número de elementos del dominio P^M usando:

$$\alpha (B^M) = \alpha (P^M)$$

Paso 16) Determinar las familias de B^M y determinar sus elementos usando:

$$1) \theta (B_{MP^*}) = \theta (P_{MP^*})$$

$$2) \theta (B_{PP}) = \theta (P_{PP})$$

$$3) \theta (B_{MAE}) = \theta (P_{MAE})$$

$$4) \theta (B_{SUB}) = \theta (P_{SUB})$$

$$5) \theta (B_{PT}) = \theta (P_{PT})$$

Paso 17) Representar el dominio P^M y sus familias usando el paso 9) considerando que las representaciones son geoméricas y no sólidas. Identificar cada elemento con una nomenclatura apropiada.

Paso 18) Seleccionar la secuencia de operaciones del paso 11).

Paso 19) Usar la tabla 1.2 para generar las primitivas asociadas con la primera

operación de manufactura. Aquí, solo se representan las primitivas de las materias primas requeridas para la primer operación (según la secuencia), la asociada con el subproducto y con el producto preparado y la primitiva de la operación.

- Paso 20) Usar, como el paso 19), la tabla 1.2 para generar las primitivas de la segunda operación de manufactura (según lo secuencia).
- Paso 21) Aplicar las consideraciones de los pasos 19) y 20) hasta determinar las primitivas de la última operación de manufactura.
- Paso 22) Generar la primitiva del producto preparado sobre la base de la ultima primitiva del subproducto y la información de la tabla 1.2.
- Paso 23) Asociar un volumen con cada primitiva del dominio P^M .
- Paso 24) Generar el dominio volumétrico usando las mismas expresiones de los pasos 15) y 16). Asociar una nomenclatura adecuada.
- Paso 25) Asociar una operación de suma y resta de volúmenes con operaciones que unen materiales o eliminan, según sea el caso.
- Paso 26) Generar, siguiendo la secuencia de operaciones, las ecuaciones de volúmenes de productos preparados y subpartes.
- Paso 27) Expandir la última subparte de volúmenes y encontrar la ecuación de primitivas.
- Paso 28) Representar gráficamente la ecuación de volúmenes.

2.4.1.3 La matriz de primitivas.

En esta parte se presentan los pasos por seguir para construir una matriz de primitivas. Al igual que para los demás modelos, se hará uso del dominio de manufactura.

Paso 29) Obtener la cardinalidad del dominio de las entidades de manufactura (DEM) usando la relación:

$$\Omega (DEM) = 3x [\alpha(B^M) - 1]$$

Paso 30) Obtener los dominios de las entidades e manufactura:

A) *Un dominio de geometría:*

- 1) $\alpha (G^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta (G_{MP^*}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta (G_{PP}) = \theta (G_{MAE}) = \theta (G_{SUB}) = n$
- 4) $\theta (G_{PT}) = 1$

B) *Un dominio de primitivas:*

- 1) $\alpha (P^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta (P_{MP^*}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta (P_{PP}) = \theta (P_{MAE}) = \theta (P_{SUB}) = n$
- 4) $\theta (P_{PT}) = 1$

C) *Un dominio de volúmenes:*

- 1) $\alpha (V^M) = 2(2n + 1)$
- 2) $\theta (V_{MP^*}) = 2 + (n - 1)$
- 3) $\theta (V_{PP}) = \theta (V_{MAE}) = \theta (V_{SUB}) = n$
- 4) $\theta (V_{PT}) = 1$

Paso 31) Obtener la submatriz de entidades del producto terminado visto como materia prima.

$$\left[M_{PT}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{PT} \\ P_{PT} \\ V_{PT}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times 1$$

Paso 32) Obtener la submatriz de entidades de las materias primas.

$$\left[M_{MP}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{MP} \\ P_{MP} \\ V_{MP}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times (2 + (n-1))$$

Paso 33) Obtener la submatriz de entidades de los productos preparados.

$$\left[M_{PP}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{PP} \\ P_{PP} \\ V_{PP}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times n$$

Paso 34) Obtener la submatriz de entidades de los productos agregados o extraídos.

$$\left[M_{MAE}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{MAE} \\ P_{MAE} \\ V_{MAE}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times n$$

Paso 35) Obtener la submatriz de entidades de los subproductos.

$$\left[M_{SUB}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{SUB} \\ P_{SUB} \\ V_{SUB}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times n$$

Paso 36) Obtener la matriz abstracta de entidades de manufactura la matriz de coeficientes:

$$\left[M_{PT}^E \right] = \left[M_{PT}^E \right]^* = \left\{ \left[M_{MP}^E \right], \left[M_{PP}^E \right], \left[M_{MAE}^E \right], \left[M_{SUB}^E \right] \right\}$$

La matriz de coeficientes es:

$$\left[M_{PT}^E \right] = \left[M_{PT}^E \right]^* = \left\{ \left[M_{MP}^E \right]_{a_i}, \left[M_{PP}^E \right]_{a_j}, \left[M_{MAE}^E \right]_{a_k}, \left[M_{SUB}^E \right]_{a_l} \right\}$$

Paso 37) Obtener las tablas de información de cada entidad de manufactura:

Paso 38) La unión de entidades es la matriz de primitivas.

Los 38 pasos descritos anteriormente, se usan para generar el modelo de la matriz de primitivas. Sin embargo, es posible describir el proceso por etapas:

- 1) Etapa 1: Modelo de ecuaciones de forma
- 2) Etapa 2: Modelos de ecuaciones de volúmenes modificadas
- 3) Etapa 3: Modelo de matriz de primitivas.

Capítulo 3

Las ecuaciones de forma

Introducción. En este capítulo se utiliza la metodología descrita en el capítulo 2 de este trabajo de tesis para desarrollar el modelo de ecuaciones de forma (Etapa 1). Cabe recordar que dicho modelo fue generado por [7], y en esta tesis el modelo solo será enmarcado en la metodología. Por otro lado, las ecuaciones de forma desarrolladas en [7] son completas, es decir, se modelan todas las operaciones realizadas en el componente estudiado. En esta tesis solo se analizarán y modelarán las operaciones descritas en el capítulo 1. Cabe recordar, finalmente, que la información geométrica y de manufactura fue interpretada en parte de planos de fabricación y otra parte por observación ya que dicha información es confidencial.

3.1 El dominio de manufactura

En esta sección se aplicarán los pasos del 1) al 9) para construir el dominio de sólidos B^M ; esto es:

Paso 1) Identificar de un plano de fabricación o de un conjunto de planos el número de operaciones de manufactura.

De acuerdo con la tabla 1.1 descrita en el capítulo 1, el número de operaciones de manufactura relacionadas con el componente estudiado es $n=5$. (ver sección 1.2 del capítulo 1)

Paso 2) Determinar el número de elementos del dominio B^M usando:

$$\alpha(B^M) = 2(2n + 1) = 2(2(5)+1) = 22$$

Paso 3) Generar las familias de B^M y determinar sus elementos usando:

- 1) $\theta (B_{MP}) = 2 + (n - 1) = 2 + (5 - 1) = 6$
- 2) $\theta (B_{PP}) = \theta (B_{MAE}) = \theta (B_{SUB}) = n = 5$
- 3) $\theta (B_{PT}) = 1$

Paso 4) Representar los elementos de la familia B_{MAE} en términos de sólidos y asociar una nomenclatura de identificación.

De acuerdo con la tabla 1.1 los elementos de la familia B_{MAE} y sus nomenclaturas asociadas se muestran en la tabla 3.1

Operación	Elemento geométrico de B_{MAE}	Nomenclatura
O_1 (Montaje de bobina 1)		B_1
O_2 (Montaje de empapelado 1)		C_1
O_3 (Recubrimiento de flux 1)		D_1
O_4 (Recubrimiento por soldadura de estaño 1)		S_1
O_5 (Excedente de soldadura 1)		F_1

Tabla 3.1 Descripción de operaciones y sólidos de B_{MAE}

Paso 5) Representar en términos de un sólido el producto terminado y asociar una nomenclatura de identificación.

De acuerdo con la figura 1.1 el producto terminado es el mostrado en la tabla 3.2.

Descripción	Nomenclatura	Sólido
Producto terminado	B_{PT}	

Tabla 3.2 El producto terminado

Paso 6) Representar la materia prima base en términos de un sólido y asociar una nomenclatura apropiada.

De acuerdo con [7], la materia prima base se muestra en la tabla 3.3.

Descripción	Nomenclatura	Sólido
Producto terminado	B_{PT}	

Tabla 3.3. Materia prima base

Paso 7) Representar en términos de sólidos la familia B_{pp} y asociar una nomenclatura de identificación.

De acuerdo con [7], los productos preparados relacionados con el componente estudiado en este trabajo se muestran en la tabla 3.4.

Producto preparado	Nomenclatura	Descripción geométrica
Producto preparado 1	B_{pp1}	
Producto preparado 2	B_{pp2}	
Producto preparado 3	B_{pp3}	
Producto preparado 4	B_{pp4}	
Producto preparado 5	B_{pp5}	

Tabla 3.4 Elementos de la familia B_{pp}

Paso 8) Representar en términos de sólidos la familia B_{SUB} y asociar una nomenclatura de identificación.

Según, [7], los subproductos relacionados con el componente estudiado en esta tesis se muestran en la tabla 3.5.

Descripción	Nomenclatura	Descripción geométrica
Subproducto 1	B_{SUB1}	
Subproducto 2	B_{SUB2}	
Subproducto 3	B_{SUB3}	
Subproducto 4	B_{SUB4}	
Subproducto 5	B_{SUB5}	

Tabla 3.5 Elementos de la familia B_{SUB}

Paso 9) Representar todo el dominio B^M en términos de sólidos.

La tabla 3.6 muestra los elementos que constituyen el dominio B^M .

El dominio de manufactura (B^M)						
Materias primas (B_{MP})						
Productos preparados (B_{PP})						
Materiales agregados y extraídos (B_{MAE})						
Subproductos (B_{SUB})						
Producto terminado (B_{PT})						

Tabla 3.6 El dominio B^M en términos geométricos.

3.2 Las ecuaciones de subparte y producto preparado

Paso 10) Asociar con cada operación de manufactura un operador booleano parametrizado en términos de manufactura.

Operación	Operador booleano	Elemento geométrico de B_{MAE}	Nomenclatura
O_1 (Montaje de bobina 1)	M, B Y Unión de montaje por embobinado		B_1
O_2 (Montaje de empapelado 1)	M, P Y Unión de montaje por empapelado		C_1
O_3 (Recubrimiento de flux 1)	R Y Unión por recubrimiento		D_1
O_4 (Recubrimiento por soldadura de estaño 1)	S Y Unión por soldadura		S_1
O_5 (Excedente de soldadura 1)	E - Diferencia de excedentes		F_1

Tabla 3.7 Operadores booleanos parametrizados

Paso 11) Definir una secuencia de operaciones de manufactura admisible geoméricamente.

$SO^{F_1 O_{2,3,4,5}}$					
Oper Ev.	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5
Ev ₁	1	0	0	0	0
Ev ₂	0	1	0	0	0
Ev ₃	0	0	1	0	0
Ev ₄	0	0	0	1	0
Ev ₅	0	0	0	0	1
Ev Γ	Γ_1^i	Γ_1^{ii}	Γ_1^{iii}	Γ_1^{iv}	Γ_1^v

Tabla 3.8 Secuencia de operaciones

Paso 12) Generar las ecuaciones de productos preparados y subproductos.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3 La ecuación de forma y representación geométrica

Paso 13) Expandir la última subparte y encontrar la ecuación de forma.

La expansión de la última subparte es:

$$PT \approx B_{SUB5} = (((((((((((A \overset{Pr}{Y} B_1) \overset{M,B}{Y} B_1) \overset{Pr}{Y} C_1) \overset{M,P}{Y} C_1) \overset{Pr}{Y} D_1) \overset{R}{Y} D_1) \overset{Pr}{Y} S_1) \overset{S}{Y} S_1) \overset{Pr}{Y} F_1) \overset{E}{-} F_1)$$

El dominio de manufactura (P^M)						
Materias primas (P_{MP})	P_{MP} 	P_{B1} 	P_{SUB1} 	P_{SUB2} 	P_{SUB3} 	P_{SUB4} 
Productos preparados (P_{PP})	P_{PP1} 	P_{PP12} 	P_{PP13} 	P_{PP14} 	P_{PP15} 	
Materiales agregados y extraídos (P_{MAE})	P_{B1} 	P_{C1} 	P_{D1} 	P_{S1} 	P_{F1} 	
Subproductos (P_{SUB})	P_{SUB1} 	P_{SUB12} 	P_{SUB13} 	P_{SUB14} 	P_{SUB15} 	
Producto terminado (P_{PT})	P_{PT} 					

Tabla 4.1 El dominio (P^M) en términos geométricos.

Paso 18) Seleccionar la secuencia de operaciones del paso 11).

SO ^{F102,3,4,5}					
Oper Ev.	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅
Ev ₁	1	0	0	0	0
Ev ₂	0	1	0	0	0
Ev ₃	0	0	1	0	0
Ev ₄	0	0	0	1	0
Ev ₅	0	0	0	0	1
Ev G	G ₁ ⁱ	G ₁ ⁱⁱ	G ₁ ⁱⁱⁱ	G ₁ ^{iv}	G ₁ ^v

Tabla 4.2 Secuencia de operaciones

4.2 Desarrollo de las primitivas de manufactura operación por operación.

En esta sección se aplican los pasos de metodología para generar las primitivas de manufactura relacionadas con el producto motivo de estudio. Esto es:

Paso 19) Usar la tabla 1.2 para generar las primitivas asociadas con la primera operación de manufactura. Aquí, solo se representan las primitivas de las materias primas requeridas para la primer operación (según la secuencia), la asociada con el subproducto y con el producto preparado y la primitiva de la operación.

Nomenclatura	Descripción	Descripción de geometría	Dimensiones principales	Material	Forma geométrica
P_{MP}	Primitiva extendida de la materia prima base	Especial	$l_1 =$ $l_2 =$ $l_3 =$ t	Plástico y terminales	
P_{BI'}	Primitiva extendida de la materia prima (material agregado)	Especial	$\varphi_E =$ $l_E =$	Alambre magneto	

Tabla 4.3 Elementos de la materia prima

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de la materia prima base	Primitiva de los materiales extraídos o agregados (vistas como materias primas)	Operación	Forma geométrica
P_{PP1}	Primitiva extendida del producto preparado 1	P_{MP}	P_{BI}'	De preparación	

Tabla 4.4 Primer producto preparado

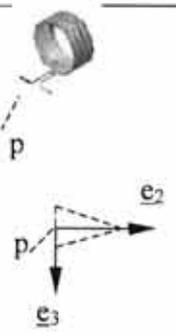
Nomenclatura	Descripción	Primitiva del producto preparado	Geometría	Parámetros base	Parámetros cinemáticos	Herramientas y k_{ij}	Forma geométrica
P_{BI}	Primitiva de la operación de montaje	P_{PP1}	G_{BI} Cono	$(x_p, y_p, z_p) =$ $\underline{e}_2 = (0, 1, 0)$ $\phi_E =$ $l_E =$	$V =$ $\tau =$ $W_{PP1} =$ $W_{BI} =$	$H_1,$ Sujetado r $K_{ij} = \{1\}$	

Tabla 4.5 Primitiva de la operación

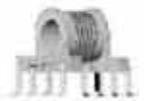
Nomenclatura	Descripción	Primitiva de origen	Primitiva de operación	Operación	Forma geométrica
P_{SUB1}	Primitiva extendida del primer subproducto	P_{PP1}	P_{BI}	Montaje	

Tabla 4.6 Primitiva de la primera suboperación

Capítulo 4

La ecuación de volúmenes modificada y representación por primitivas

Introducción. En este capítulo se utiliza la metodología descrita en el capítulo 2 de este trabajo de tesis para desarrollar el modelo de ecuaciones de volúmenes y de representación por primitivas (Etapa 2). Cabe señalar que el modelo de ecuaciones de volúmenes modificadas es la base central para desarrollar el modelo de las matrices de primitivas o también llamada “de entidades de manufactura”.

4.1 Aplicación del dominio de manufactura

Con los pasos del 1) al 14) se construyó la ecuación de forma. Los siguientes pasos están relacionados con las primitivas de manufactura:

Paso 15) Determinar el número de elementos del dominio P^M usando:

$$\alpha(B^M) = 2(2n + 1) - 2((2)(5) + 1) = 22$$

Paso 16) Generar las familias de P^M y determinar sus elementos usando:

$$1) \theta(B_{MP}) = 2 + (n - 1) = 2 + (5 - 1) = 6$$

$$2) \theta(B_{PP}) = \theta(B_{MAE}) = \theta(B_{SUB}) = n - 5$$

$$3) \theta(B_{PT}) = 1$$

Paso 17) Representar el dominio P^M y sus familias usando el paso 9) considerando que las representaciones son geométricas y no sólidos. Identificar cada elemento con una nomenclatura apropiada.

Paso 14) Representar geoméricamente la ecuación de forma.

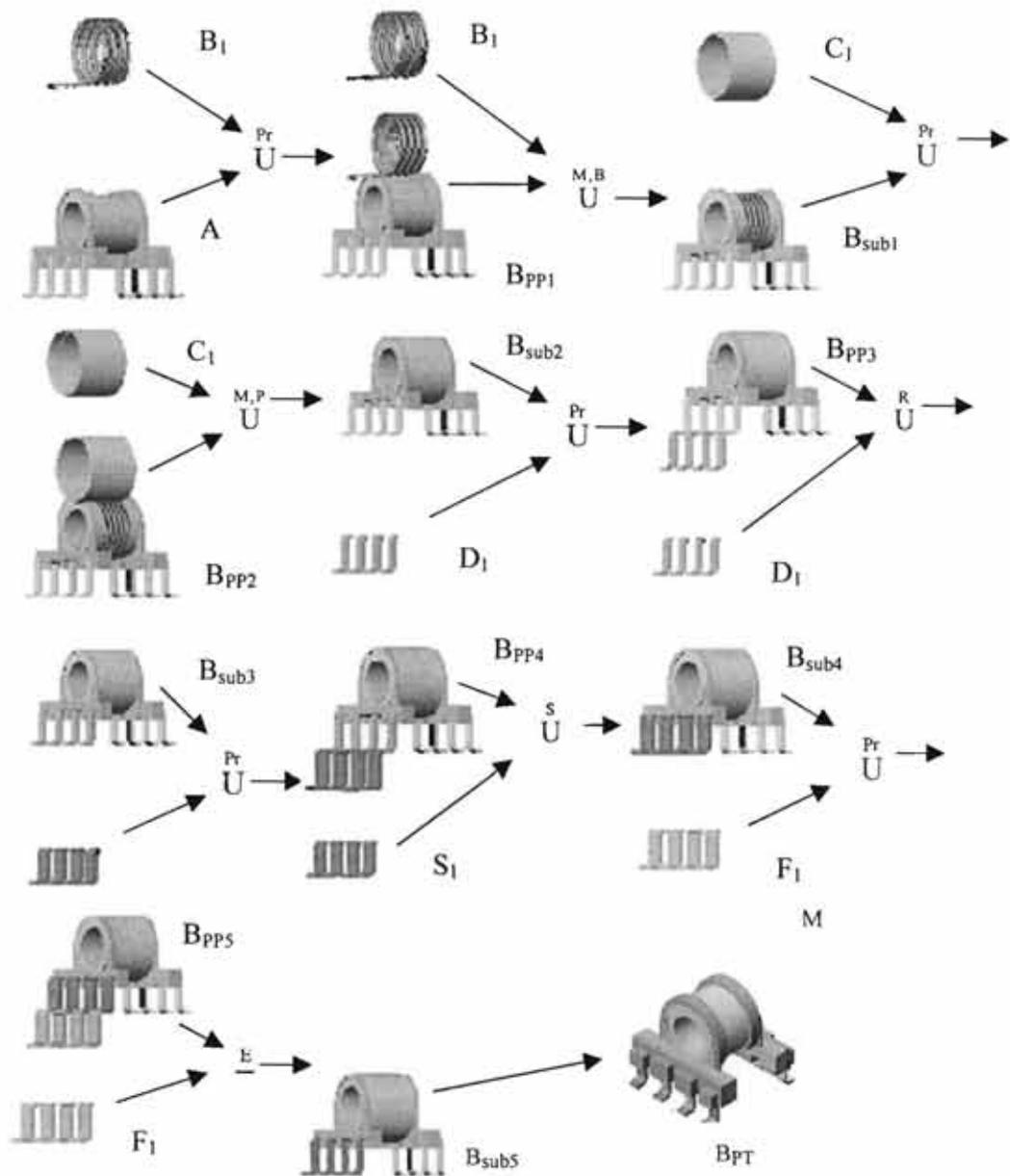


Figura 3.1 Representación geométrica de la ecuación de forma

Paso 20) Usar como el paso 19) la tabla 1.2 para generar las primitivas de la segunda operación de manufactura (según la secuencia).

Nomenclatura	Descripción	Descripción de geometría	Dimensiones principales	Material	Forma geométrica
P_{SUB1}	Primitiva extendida de la materia prima base	Especial	$l_1 =$ $l_2 =$ $l_3 =$ t	Plástico, terminales y alambre magneto	
P_{C1}	Primitiva extendida de la materia prima (material agregado)	Especial	$\varphi_E =$ $l_E =$	Tira de papel	

Tabla 4.7 Primitivas de las materias primas de la segunda operación

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de la materia prima base	Primitiva de los materiales extraídos o agregados (vistas como materias primas)	Operación	Forma geométrica
P_{PP2}	Primitiva extendida del producto preparado 2	P_{SUB1}	P_{C1}	De preparación	

Tabla 4.8 Primitiva del producto preparado

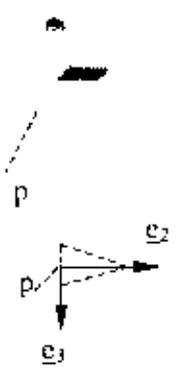
Nomenclatura	Descripción	Primitiva del producto preparado	Geometría	Parámetros base	Parámetros cinemáticos	Herramientas y k_{ij}	Forma geométrica
P_{C1}	Primitiva de la operación de montaje	P_{PP2}	G_{B1} Cono	$(x_p, y_p, z_p) =$ $e_2 (0, 1, 0)$ $\phi_p =$ 1_E	$V =$ $\tau =$ $W_{PP1} =$ W_{H1}	H_{11} Sujetado τ $K_{1,2} = \begin{Bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{Bmatrix}$	

Tabla 4.9 Primitiva de la segunda operación

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de origen	Primitiva de operación	Operación	Forma geométrica
P_{SU02}	Primitiva extendida del segundo subproducto	P_{PP2}	P_{C1}	Empapelado	

Tabla 4.10 Primitiva de la segunda subparte

Paso 21) Aplicar las consideraciones de los pasos 19) y 20) hasta determinar las primitivas de la última operación de manufactura.

Nomenclatura	Descripción	Descripción de geometría	Dimensiones principales	Material	Forma geométrica
P_{Su12}	Primitiva extendida de la materia prima base	Especial	$l_1 =$ $l_2 =$ $l_3 =$ t	Plástico, terminales, alambre magneto y papel	
P_{D1}	Primitiva extendida de la materia prima (material agregado)	Especial	$\varphi_E =$ $l_E =$	Pasta de flux	

Tabla 4.11 Primitivas de las materias primas para la tercera operación

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de la materia prima base	Primitiva de los materiales extraídos o agregados (vistas como materias primas)	Operación	Forma geométrica
P_{PP3}	Primitiva extendida del producto preparado 3	P_{Su12}	P_{D1}	De preparación	

Tabla 4.12 Primitiva del tercer producto preparado

Nomenclatura	Descripción	Primitiva del producto preparado	Geometría	Parámetros base	Parámetros cinemáticos	Herramientas y k_{ij}	Forma geométrica
P_{D1}	Primitiva de la operación de montaje	P_{PP1}	G_{B1} Cono	$(x_p, y_p, z_p) =$ $\underline{e}_2 = (0, 1, 0)$ $\phi_E =$ $l_E =$	$V =$ $\tau =$ $W_{PP1} =$ $W_{H1} =$	$H_1,$ Pinza $K_{ij} = \{1\}$	

Tabla 4.13 Primitiva de la tercera operación

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de origen	Primitiva de operación	Operación	Forma geométrica
P_{SUB3}	Primitiva extendida del tercer subproducto	P_{PP3}	P_{D1}	Recubrimiento por flux	

Tabla 4.14 Primitiva del tercer subproducto

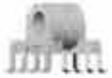
Nomenclatura	Descripción	Descripción de geometría	Dimensiones principales	Material	Forma geométrica
P_{SUB3}	Primitiva extendida de la materia prima base	Especial	$l_1 =$ $l_2 =$ $l_3 =$ t	Plástico, terminales, alambre magneto, papel y pasta de flux	
P_{S1}	Primitiva extendida de la materia prima (material agregado)	Especial	$\varphi_E =$ $l_E =$	Soldadura de estaño	

Tabla 4.15 Primitiva de las materias primas de la cuarta operación

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de la materia prima base	Primitiva de los materiales extraídos o agregados (vistas como materias primas)	Operación	Forma geométrica
P_{PP4}	Primitiva extendida del producto preparado 1	P_{SUB3}	P_{S1}	De preparación	

Tabla 4.16 Primitiva del cuarto producto preparado

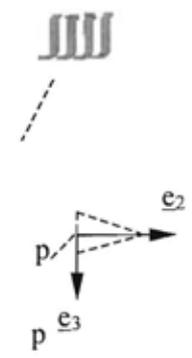
Nomenclatura	Descripción	Primitiva del producto preparado	Geometría	Parámetros base	Parámetros cinemáticos	Herramientas y k_{ij}	Forma geométrica
P_{S1}	Primitiva de la operación de montaje	P_{PP4}	G_{B1} Cono	$(x_p, y_p, z_p) =$ $\underline{e}_2 = (0, 1, 0)$ $\phi_E =$ $l_E =$	$V =$ $\tau =$ $W_{PP1} =$ $W_{H1} =$	$H_1,$ Pinza $K_{ij} = \{1\}$	

Tabla 4.17 Primitiva de la cuarta operación de manufactura

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de origen	Primitiva de operación	Operación	Forma geométrica
P_{SUB4}	Primitiva extendida del cuarto subproducto	P_{PP4}	P_{S1}	Recubrimiento por soldadura de estaño	

Tabla 4.18 Primitiva del cuarto subproducto

Nomenclatura	Descripción	Descripción de geometría	Dimensiones principales	Material	Forma geométrica
P_{S004}	Primitiva extendida de la materia prima base	Especial	$l_1 =$ $l_2 =$ $l_3 =$ t	Plástico, terminales, alambre magneto, papel, pasta de flux y recubrimiento de soldadura	
P_{F1}	Primitiva extendida de la materia prima (material agregado)	Especial	$\varphi_E =$ $l_E =$	Excedente de la soldadura	

Tabla 4.19 Primitiva de las materias primas de la quinta operación

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de la materia prima base	Primitiva de los materiales extraídos o agregados (vistas como materias primas)	Operación	Forma geométrica
P_{P25}	Primitiva extendida del producto preparado 1	P_{S004}	P_{F1}	De preparación	

Tabla 4.20 Primitiva del quinto producto preparado

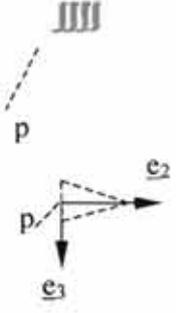
Nomenclatura	Descripción	Primitiva del producto preparado	Geometría	Parámetros base	Parámetros cinemáticos	Herramientas y k_{ij}	Forma geométrica
P_{F1}	Primitiva de la operación de montaje	P_{PP5}	G_{B1} Cono	$(x_p, y_p, z_p) =$ $\underline{e}_2 = (0, 1, 0)$ $\phi_E =$ $l_E =$	$V =$ $\tau =$ $W_{PP1} =$ $W_{H1} =$	$H_{1,}$ Pinza $K_{ij} = \{1\}$	

Tabla 4.21 Primitiva de la quinta operación de manufactura

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de origen	Primitiva de operación	Operación	Forma geométrica
P_{SUB5}	Primitiva extendida del quinto subproducto	P_{PP1}	P_{B1}	Montaje	

Tabla 4.22 Primitiva del quinto subproducto

4.3 Desarrollo de la ecuación de volúmenes modificada

En esta sección se aplican los pasos de metodología para generar la ecuación de volúmenes modificada. Esto es:

Paso 22) Generar la primitiva del producto terminado sobre la base de la última primitiva del subproducto y la información de la tabla 1.2.

Nomenclatura	Descripción	Primitiva de origen	Primitiva de operación	Operación	Forma geométrica
P_{SUB5}	Primitiva extendida del primer subproducto	P_{PP1}	P_{B1}	Montaje	

Tabla 4.22. Primitiva del quinto subproducto

Paso 23) Asociar un volumen con cada primitiva del dominio P^M .

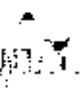
El dominio de manufactura (V^M)						
Materias primas (P_{MP})	V_{MP} 	V_{B1} 	V_{SUB1} 	V_{SUB2} 	V_{SUB3} 	V_{SUB4} 
Productos preparados (P_{PP})	V_{PP1} 	V_{PP12} 	V_{PP13} 	V_{PP14} 	V_{PP15} 	
Materiales agregados y extraídos (P_{MAE})	V_{B1} 	V_{C1} 	V_{D1} 	V_{S1} 	V_{F1} 	
Subproductos (P_{SUB})	V_{SUB1} 	V_{SUB12} 	V_{SUB13} 	V_{SUB14} 	V_{SUB15} 	
Producto terminado (P_{PT})	V_{PT} 					

Tabla 4.23 El dominio (V^M) en términos geométricos

Paso 24) Generar el dominio volumétrico usando las mismas expresiones de los pasos 15) y 16). Asociar una nomenclatura adecuada.

$$\alpha (V^M) = 2(2n + 1) = 2((2)(5) + 1) = 22$$

$$1) \theta (V_{MP^*}) = 2 + (n - 1) = 2 + (5 - 1) = 6$$

$$2) \theta (V_{PP}) = \theta (V_{MAE}) = \theta (V_{SUB}) = n = 5$$

$$3) \theta (V_{PT}) = 1$$

Paso 25) Asociar una operación de suma y resta de volúmenes con operaciones que unen materiales o eliminan, según sea el caso.

Operación	Operador volumétrico	Elemento geométrico de B_{MAE}	Nomenclatura
O ₁ (Montaje de bobina 1)	⊕		V _{B1}
O ₂ (Montaje de empapelado 1)	⊕		V _{C1}
O ₃ (Recubrimiento de flux 1)	⊕		V _{D1}
O ₄ (Recubrimiento por soldadura de estaño 1)	⊕		V _{S1}
O ₅ (Excedente de soldadura 1)	⊗		V _{F1}

Tabla 4.24 Operadores booleanos parametrizados

Paso 26) Generar, siguiendo la secuencia de operaciones, las ecuaciones de volúmenes de productos preparados y subpartes.

$$11) V_{PP1} = V_A \oplus V_{B_1}$$

$$12) V_{SUB1} = V_{PP1} \oplus V_{B_1}$$

$$13) V_{PP2} = V_{SUB1} \oplus V_{C_1}$$

$$14) V_{SUB2} = V_{PP2} \oplus V_{C_1}$$

$$15) V_{PP3} = V_{SUB2} \oplus V_{D_1}$$

$$16) V_{SUB3} = V_{PP3} \oplus V_{D_1}$$

$$17) V_{PP4} = V_{SUB3} \oplus V_{S_1}$$

$$18) V_{SUB4} = V_{PP4} \oplus V_{S_1}$$

$$19) V_{PP5} = V_{SUB4} \oplus V_{F_1}$$

$$20) V_{SUB5} = V_{PP5} \otimes V_I$$

Paso 27) Expandir la última subparte de volúmenes y encontrar la ecuación de primitivas.

$$V_{PT} \approx V_{SUB5} = (((((((((((V_A \oplus V_{B1}) \oplus V_{B1}) \oplus V_{C1}) \oplus V_{C1}) \oplus V_{D1}) \oplus V_{D1}) \oplus V_{S1}) \oplus V_{S1}) \oplus V_{F1}) \otimes V_{F1})$$

Paso 28) Representar gráficamente la ecuación de volúmenes.

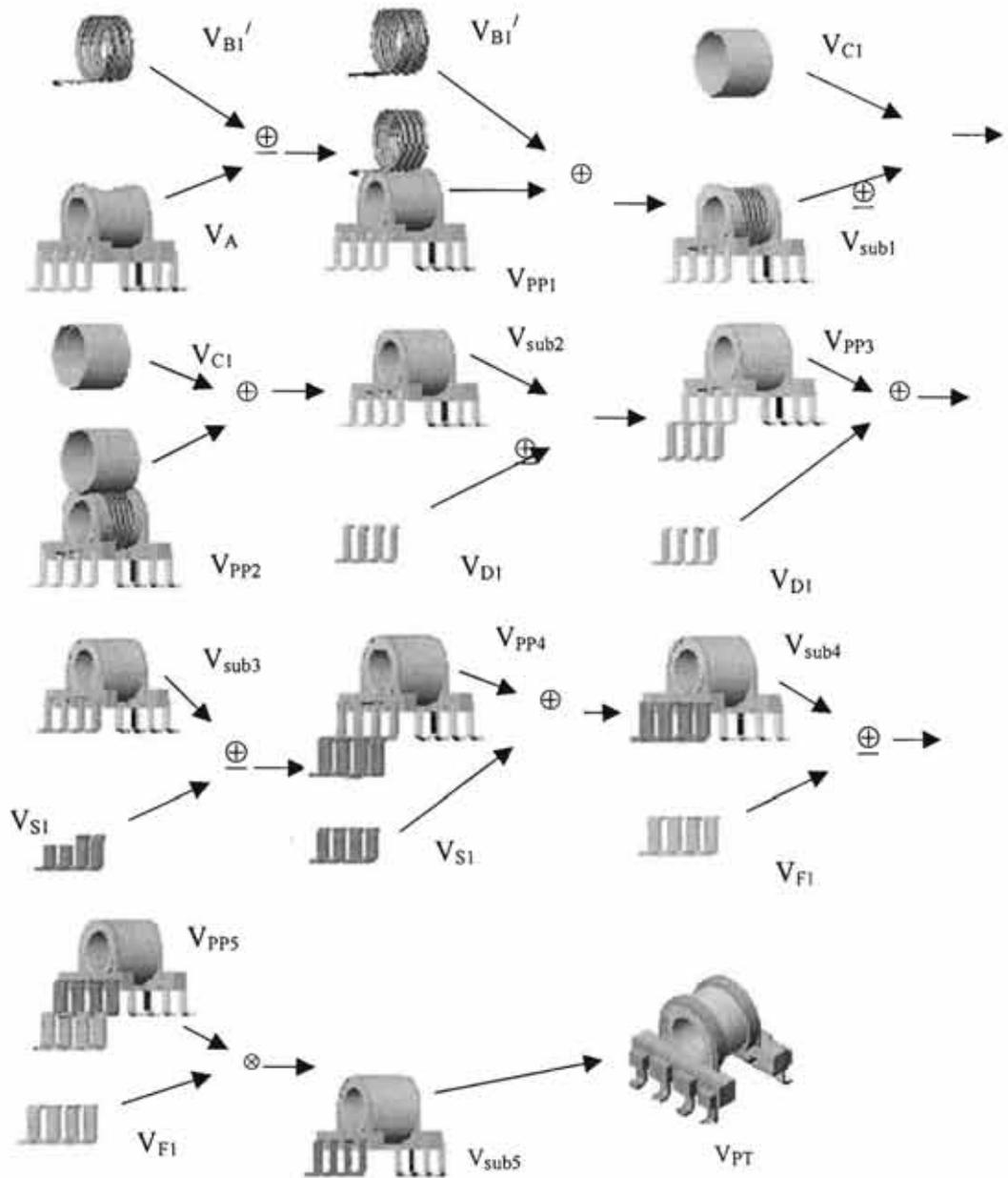


Figura 4.1 Representación gráfica de la ecuación de volúmenes

Capítulo 5

La matriz de primitivas

Introducción. En este capítulo se utiliza la metodología descrita en el capítulo 2 de este trabajo de tesis para desarrollar el modelo de la matriz de primitivas. Al igual que en los capítulos 3 y 4, se hará uso del dominio de manufactura para desarrollar el modelo del componente electrónico motivo de estudio en este trabajo de tesis.

5.1 Elementos de la matriz de primitivas

Paso 29) Obtener la cardinalidad del dominio de las entidades de manufactura (DEM) usando la relación:

$$\Omega(\text{DEM}) = 3x [\alpha(B^M) - 1]$$

Si $n=5$ y $\alpha(B^M) = 22$, entonces $3x [\alpha(B^M) - 1] = 3 \times 21 = 63$

Paso 30) Obtener los dominios de las entidades de manufactura:

A) Un dominio de geometría:

- 1) $\alpha(G^M) = 2(2n + 1) = 2((2)(5) + 1) = 22$
- 2) $\theta(G_{MP^*}) = 2 + (n - 1) = 2 + (5 - 1) = 6$
- 3) $\theta(G_{PP}) = \theta(G_{MAE}) = \theta(G_{SUB}) = n = 5$
- 4) $\theta(G_{PT}) = 1$

El dominio de manufactura (P^M)						
Materias primas (P_{MP})	G_{MP} 	G_{B1} 	G_{SUB1} 	G_{SUB2} 	G_{SUB3} 	G_{SUB4}
Productos preparados (P_{PP})	G_{PP1} 	G_{PP12} 	G_{PP13} 	G_{PP14} 	G_{PP15} 	
Materiales agregados y extraídos (P_{MAE})	G_{B1} 	G_{C1} 	G_{D1} 	G_{S1} 	G_{F1} 	
Subproductos (P_{SUB})	G_{SUB1} 	G_{SUB12} 	G_{SUB13} 	G_{SUB14} 	G_{SUB15} 	
Producto terminado (P_{PT})	G_{PT} 					

Tabla 5.1 El dominio (G^M) en términos geométricos.

B) *Un dominio de primitivas:*

$$1) \alpha (P^M) = 2(2n + 1) = 2((2)(5) + 1) = 22$$

$$2) \theta (P_{MP^*}) = 2 + (n - 1) = 2 + (5 - 1) = 6$$

$$3) \theta (P_{PP}) = \theta (P_{MAE}) = \theta (P_{SUB}) = n = 5$$

$$4) \theta (P_{PT}) = 1$$

C) *Un dominio de volúmenes:*

$$1) \alpha (V^M) = 2(2n + 1) = 2((2)(5) + 1) = 22$$

$$2) \theta (V_{MP^*}) = 2 + (n - 1) = 2 + (5 - 1) = 6$$

$$3) \theta (V_{PP}) = \theta (V_{MAE}) = \theta (V_{SUB}) = n = 5$$

$$4) \theta (V_{PT}) = 1$$

5.2 Desarrollo de la matriz de primitivas

Paso 31) Obtener la submatriz de entidades del producto terminado visto como materia prima.

$$\left[M_{PT}^E \right]^* = \begin{pmatrix} G_{PT} \\ P_{PT} \\ V_{PT}^{PM} \end{pmatrix} ; \quad M \times N = 3 \times 1$$

Paso 32) Obtener la submatriz de entidades de las materias primas.

Si $M = 3$ y $n = 5$, entonces $M \times N = 3 \times (2 + (n - 1)) = 18$

$$\left[M_{MP}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{MP^1} & G_{BY^1} & G_{SUB1^1} & G_{SUB2^1} & G_{SUB3^1} & G_{SUB4^1} \\ P_{MP^1} & P_{BY^1} & P_{SUB1^1} & P_{SUB2^1} & P_{SUB3^1} & P_{SUB4^1} \\ V_{MP^1} & V_{BY^1} & V_{SUB1^1} & V_{SUB2^1} & V_{SUB3^1} & V_{SUB4^1} \end{pmatrix}$$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Paso 33) Obtener la submatriz de entidades de los productos preparados.

Si $M = 3$ y $n = 5$, entonces $M \times N = 15$

$$\left[M_{PP}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{PP1} & G_{PP12} & G_{PP13} & G_{PP14} & G_{PP15} \\ P_{PP1} & P_{PP12} & P_{PP13} & P_{PP14} & P_{PP15} \\ V_{PP1} & V_{PP12} & V_{PP13} & V_{PP14} & V_{PP15} \end{pmatrix}$$

Paso 34) Obtener la submatriz de entidades de los productos agregados o extraídos.

Si $M = 3$ y $n = 5$, entonces $M \times N = 15$

$$\left[M_{MAE}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{B1} & G_{C1} & G_{D1} & G_{S1} & G_{F1} \\ P_{B1} & P_{C1} & P_{D1} & P_{S1} & P_{F1} \\ V_{B1} & V_{C1} & V_{D1} & V_{S1} & V_{F1} \end{pmatrix}$$

Paso 35) Obtener la submatriz de entidades de los subproductos.

Si $M = 3$ y $n = 5$, entonces $M \times N = 15$

$$\left[M_{SUB}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{SUB1} & G_{SUB12} & G_{SUB13} & G_{SUB14} & G_{SUB15} \\ P_{SUB1} & P_{SUB12} & P_{D1} & P_{SUB14} & P_{SUB15} \\ V_{SUB1} & V_{SUB12} & V_{D1} & V_{SUB14} & V_{SUB15} \end{pmatrix}$$

Paso 36) Obtener la matriz abstracta de entidades de manufactura y la matriz de coeficientes

$$\left[M_{PT}^E \right] = \begin{pmatrix} G_{PT} \\ P_{PT} \\ V_{PT}^{PM} \end{pmatrix} = \left\{ \begin{pmatrix} G_{MP'} & G_{B1'} & G_{SUB1'} & G_{SUB2'} & G_{SUB3'} & G_{SUB4'} \\ P_{MP'} & P_{B1'} & P_{SUB1'} & P_{SUB2'} & P_{SUB3'} & P_{SUB4'} \\ V_{MP'} & V_{B1'} & V_{SUB1'} & V_{SUB2'} & V_{SUB3'} & V_{SUB4'} \end{pmatrix} \right\},$$

5.3.1 Matriz de las materias primas

a11		
G11		
Geometría de la materia prima	Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a21	
P21	
Geometría	G11
Dimensiones	DiaA = IA=
Material	Plástico

a31	
V31	
Geometría	G11
Manufactura	P21
Volumen	cm3

Tabla 5.2 Información de la columna 1.

a12		
G11		
Geometría de la materia prima	Espiral	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a22	
P21	
Geometría	G11
Dimensiones	DiaA = IA=
Material	ambre magneto

a32	
V31	
Geometría	G11
Manufactura	P21
Volumen	cm3

Tabla 5.3 Información de la columna 2.

a13		
G11		
Geometría de la materia prima	Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a23	
P21	
Geometría	G11
Dimensiones	DiaA = IA=
Material	Combinado

a33	
V31	
Geometría	G11
Manufactura	P21
Volumen	cm3

Tabla 5.4 Información de la columna 3.

a15		
G11		
Geometría de la materia prima	Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a14		
G11		
Geometría de la materia prima	Compuesta	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a24	
P21	
Geometría	G11
Dimensiones	DiaA = IA=
Material	Combinado

a34	
V31	
Geometría	G11
Manufactura	P21
Volumen	cm3

Tabla 5.5 Información de la columna 4.

a25	
P21	
Geometría	G11
Dimensiones	DiaA = IA=
Material	Combinado

a35	
V31	
Geometría	G11
Manufactura	P21
Volumen	cm3

Tabla 5.6 Información de la columna 5.

a16		
G11		
Geometría de la materia prima	Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a26	
P21	
Geometría	G11
Dimensiones	DiaA = IA=48
Material	Especial

a36	
V31	
Geometría	G11
Manufactura	P21
Volumen	cm3

Tabla 5.7 Información de la columna 6.

5.3.2 Matriz de los productos preparados

a17		
G113		
Geometría de la operación	Sin forma	
Información Topológica	Sin forma	
Forma Topológica	Sin forma	

$$\begin{pmatrix} G_{PP1} & G_{PP12} & G_{PP13} & G_{PP14} & G_{PP15} \\ P_{PP1} & P_{PP12} & P_{PP13} & P_{PP14} & P_{PP15} \\ V_{PP1} & V_{PP12} & V_{PP13} & V_{PP14} & V_{PP15} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} G_{B1} & G_{C1} & G_{D1} & G_{S1} & G_{F1} \\ P_{B1} & P_{C1} & P_{D1} & P_{S1} & P_{F1} \\ V_{B1} & V_{C1} & V_{D1} & V_{S1} & V_{F1} \end{pmatrix},$$

$$\left. \begin{pmatrix} G_{SUB1} & G_{SUB12} & G_{SUB13} & G_{SUB14} & G_{SUB15} \\ P_{SUB1} & P_{SUB12} & P_{D1} & P_{SUB14} & P_{SUB15} \\ V_{SUB1} & V_{SUB12} & V_{D1} & V_{SUB14} & V_{SUB15} \end{pmatrix} \right\}$$

Matriz de coeficientes:

$$\left[M_{PT}^E \right] = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \end{pmatrix}$$

$$a_{17} \quad a_{18} \quad a_{19} \quad a_{110} \quad a_{111}$$

$$a_{27} \quad a_{28} \quad a_{29} \quad a_{210} \quad a_{211}$$

$$a_{37} \quad a_{38} \quad a_{39} \quad a_{310} \quad a_{311}$$

$$a_{112} \quad a_{113} \quad a_{114} \quad a_{115} \quad a_{116}$$

$$a_{212} \quad a_{213} \quad a_{214} \quad a_{215} \quad a_{216}$$

$$a_{312} \quad a_{313} \quad a_{314} \quad a_{315} \quad a_{316}$$

$$a_{117} \quad a_{118} \quad a_{119} \quad a_{120} \quad a_{121}$$

$$a_{217} \quad a_{218} \quad a_{219} \quad a_{220} \quad a_{221}$$

$$a_{317} \quad a_{318} \quad a_{319} \quad a_{320} \quad a_{321}$$

5.3 Desglose de la matriz de primitivas

Paso 37) Obtener las tablas de información de cada entidad de manufactura:

En las tablas 5.2 a 5.22 se muestra la matriz de primitivas.

Paso 38) La unión de entidades es la matriz de primitivas.

a27

P213	
Código de primitiva de materia	
Código de primitiva de operación	

a37

V313	
Geometría	
Manufactura	
Volumen	
Código de proceso	
Operación	
Producto preparado	

Tabla 5.8 Información de la columna 7.

a18

G113		
Geometría de la operación	Sin forma	
Información Topológica	Sin forma	
Forma Topológica	Sin forma	

a28

P213	
Código de primitiva de materia	
Código de primitiva de operación	

a38

V313	
Geometría	
Manufactura	
Volumen	
Código de proceso	
Operación	
Producto preparado	

Tabla 5.9. Información de la columna 8.

a19

G113		
Geometría de la operación	Sin forma	
Información Topológica	Sin forma	
Forma Topológica	Sin forma	

a29	
P213	
Código de primitiva de materia	
Código de primitiva de operación	

a39	
V313	
Geometría	
Manufactura	
Volumen	
Código de proceso	
Operación	
Producto preparado	

Tabla 5.10 Información de la columna 9.

a110		
G113		
Geometría de la operación	Sin forma	
Información Topológica	Sin forma	
Forma Topológica	Sin forma	

a210	
P213	
Código de primitiva de materia	
Código de primitiva de operación	

a310	
V313	
Geometría	
Manufactura	
Volumen	
Código de proceso	
Operación	
Producto preparado	

Tabla 5.11 Información de la columna 10.

a111		
G113		
Geometría de la operación	Sin forma	
Información Topológica	Sin forma	
Forma Topológica	Sin forma	

a211	
P213	
Código de primitiva de materia	
Código de primitiva de operación	

a311	
V313	
Geometría	
Manufactura	
Volumen	
Código de proceso	
Operación	
Producto preparado	

Tabla 5.12 Información de la columna 11.

5.3.3 Matriz de los materiales agregados y extraídos

a112		
G12		
Geometría de la operación	Espiral	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a212		
P22		
Primitiva de manufactura de la materia prima		P21
Geometría de la operación		G12
Coordenadas de "p"	(x,z)	
Punto inicial y final	p	
	q	
Longitud de Corte	IB	
Diámetro	DiaB	
Vector unitario	e_3'	
Trayectoria	Recta	Perfiles de trayectoria
	P. inicial: p	
	P. final: q	
	Longitud:	
Vel. Corte	VB	
Tiempo	TB	
Movimiento	WH1	Traslación
	WA	Rot.
Herramienta	H1	

a312	
V32	
Geometría	G12
Manufactura	P22
Volumen	cm3

Tabla 5.13 Información de la columna 12.

a113		
G13		
Geometría de la operación	Cilindro Hueco Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a213

P23		
Primitiva de manufactura de la materia prima		P27
Geometría de la operación		G13
Coordenadas de "p/"	(x,z)	
Punto inicial y final	p/	
	r	
Longitud de Corte	IC	
Diámetro	DiaC	
Vector unitario	e_3''	
Trayectoria	Recta	Perfiles de trayectoria
	P. inicial: p/	
	P. final: r	
	Longitud:	
Vel. Corte	VC	
Tiempo	TC	
Movimiento	WH1	Traslación
	WA	Rot.
Herramienta	H1	

a313

V33	
Geometría	G13
Manufactura	P23
Volumen	5.621 cm ³

Tabla 5.14 Información de la columna 13.

a114

G24		
Geometría de la operación	Patas de flux	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a214		
P24		
Primitiva de manufactura de la materia prima		P28
Geometría de la operación		G14
Coordenadas de "p//"	(x,z)	
Punto inicial y final	p//	
	s	
Longitud de Corte	ID	
Diámetro	DiaD	
Vector unitario	e3'''	
Trayectoria	Especial	Perfiles de trayectoria
	P. inicial: p//	
	P. final: s	
	Longitud:	
Vel. Corte	VD	
Tiempo	TD	
Movimiento	WH1	Traslación
	WH1	Rot.
Herramienta	H1	

a314	
V34	
Geometría	G14
Manufactura	P24
Volumen	1.186 cm3

Tabla 5.15 Información de la columna 14.

a115		
G15		
Geometría de la operación	Patatas de soldadura	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a215		
P25		
Primitiva de manufactura de la materia prima		P29
Geometría de la operación		G15
Coordenadas de "p///" ^(x)	.z)	
Punto inicial y final	p///	
	t	
Longitud de Corte	IE	
Diámetro	DiaE	
Vector unitario	e3IV	
Trayectoria	Especial	Perfiles de trayectoria
	P. inicial: p///	
	P. final: t	
	Longitud:	
Vel. Corte	VE	
Tiempo	TE	
Movimiento	WH1	Traslación
	WA	Rot.
Herramienta	H1	

a315	
V35	
Geometría	G15
Manufactura	P25
Volumen	cm3

Tabla 5.16 Información de la columna 15.

a116		
G16		
Geometría de la operación	Exedentes de la soldadura	III
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a216		
P26		
Primitiva de manufactura de la materia prima		P210
Geometría de la operación		G16
Coordenadas de "piv"	(x,z)	
Punto inicial y final	piv	
	u	
Longitud de Corte	IF	
Diámetro	DiaF	
Vector unitario	e3v	
Trayectoria	Especial	Perfiles de trayectoria
	P. inicial: piv	
	P. final: u	
	Longitud: 4	
Vel. Corte	VF	
Tiempo	TF	
Movimiento	WH1	Traslación
	WA	Rot.
Herramienta	H1	

a316	
V36	
Geometría	G16
Manufactura	P26
Volumen	cm3

Tabla 5.17 Información de la columna 16.

5.3.4 Matriz de los subproductos

a117		
G18		
Geometría de la operación	Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a217	
P28	
Código de primitiva de materia prima o subparte	P21
Código de primitiva de operación	P22

a317	
V38	
Geometría	G18
Manufactura	P22
Volumen	
Código de proceso	V31,V32
Operación	O1
Subparte Intermedia	1
Subparte final	
Secuencia de operaciones	O12345

Tabla 5.18 Información de la columna 17.

a18			
G18			
Geometría de la operación	Especial		
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)		
Forma Topológica	Bien Definida		

a218	
P28	
Código de primitiva de materia prima o subparte	P21
Código de primitiva de operación	P22

a318	
V38	
Geometría	G18
Manufactura	P22
Volumen	
Código de proceso	V31,V32
Operación	O1
Subparte Intermedia	1
Subparte final	
Secuencia de operaciones	O12345

Tabla 5.19 Información de la columna 18.

a119		
G110		
Geometría de la operación	Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a219	
P210	
Código de primitiva de materia prima o subparte	P29
Código de primitiva de operación	P24

a319	
V310	
Geometría	G20
Manufactura	P24
Volumen	
Código de proceso	V39, V34
Operación	O3
Subparte Intermedia	3
Subparte final	
Secuencia de operaciones	O12345

Tabla 5.20 Información de la columna 19.

a120		
G111		
Geometría de la operación	Especial	
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)	
Forma Topológica	Bien Definida	

a220	
P211	
Código de primitiva de materia prima o subparte	P210
Código de primitiva de operación	P25

a320	
V311	
Geometría	G111
Manufactura	P25
Volumen	
Código de proceso	V310, V35
Operación	O4
Subparte Intermedia	4
Subparte final	
Secuencia de operaciones	O12345

Tabla 5.21 Información de la columna 20.

a121				
G111				
Geometría de la operación	Especial			
Información Topológica	(Vi, Cj, Bk)			
Forma Topológica	Bien Definida			

a221	
P211	
Código de primitiva de materia prima o subparte	P210
Código de primitiva de operación	P25

a321	
V311	
Geometría	G111
Manufactura	P25
Volumen	
Código de proceso	V310, V35
Operación	O4
Subparte Intermedia	4
Subparte final	
Secuencia de operaciones	O12345

Tabla 5.22 Información de la columna 21.

Conclusiones

A través de este trabajo de tesis fueron cumplidos los objetivos siguientes:

- Se utilizó un método paso a paso para construir una matriz de primitivas relacionados con el producto de la Empresa MIDCOM INC.
- Se utilizó la teoría del dominio de manufactura para generar el modelo de la matriz de primitivas.

En este trabajo de tesis se analizaron y modelaron las primitivas de un componente electrónico usado en la industria de las telecomunicaciones usando una matriz de primitivas. Los resultados obtenidos se resumen en los puntos siguientes:

- 1) Se usaron 38 pasos para generar el modelo de la matriz de primitivas. De hecho, puede ser también dividido por etapas: 1) Etapa 1: modelo de ecuaciones de forma, 2) Etapa 2: modelo de ecuaciones de volúmenes modificadas y 3) Etapa 3: modelo de matriz de primitivas. Es necesario reducir los pasos y la terminología para hacer más entendible y aplicable el modelo.
 - 2) La familia de productos preparados no tiene una aplicabilidad, pues es una consecuencia matemática derivada de la teoría. Sin embargo, es necesario considerarla por el hecho de que forma parte de la teoría.
 - 3) El modelo fue aplicado para representar y ordenar la información geométrica y de manufactura de un proceso real. El modelo todavía no es útil para fines prácticos, pues se requiere un objetivo concreto de aplicabilidad (industrial) que haga que la información tenga un fin concreto. En esta tesis el fin era desarrollar el modelo de matrices de primitivas usando información real de la industria.
 - 4) Con la información ordenada en la matriz de primitivas es posible tener un banco de información en donde sea posible utilizarlo para diversas aplicaciones, como por ejemplo, en el auxilio del diseño de trayectorias continuas rectilíneas o no rectilíneas (puesto que la matriz tiene información cinemática: puntos, direcciones del movimiento, velocidades, lugares geométricos). Es importante mencionar que
-

se requiere buscar un método o manera que permita que la información de la matriz sea más manejable y eliminar la que se repita.

Futuros trabajos por desarrollar relacionados con este trabajo de tesis son:

- Generación de un software para la matriz de entidades de manufactura.
 - Aplicaciones en otros procesos de manufactura.
 - Análisis de trayectoria de herramientas usando primitivas de manufactura.
-

Referencias

- [1] 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.
 - [2] L. Marín. Las Ecuaciones de Volúmenes Modificadas. 2000 (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
 - [3] Jiménez, E., Reyes. "Determinación del dominio de manufactura de un plano de fabricación". Informe interno de investigación (2004). Universidad La Salle Noroeste. ISBN 968-5844-02-X
 - [4] Jiménez, E., Reyes, L., Marín, L., Villar, G., Lucero, B., Luna, F. "Caracterización de operaciones de manufactura usando el álgebra de Boole en el conjunto binario". Informe interno de investigación DEPMI - SME - MME-DMEC- MAV- 01- 2002. UNAM -ITESCA ISBN 968-36-9839-5
 - [5] Jiménez, E., Reyes, L., Marín, L., Villar, G. Corona, J., Álvarez, J. Representación de un proceso de maquinado usando una matriz de primitivas. *SOMIM*. 2001 Celaya Gto. México
 - [6] Rojas L. Algunas consideraciones sobre la planeación táctica y operacional. México. 2000 (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
 - [7] Murillo I. Representación abstracta de las transformaciones geométricas de un transformador eléctrico usado en telecomunicaciones. (2004). (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
 - [8] Hito O. Sincronización local usando el método del vórtice, de la línea MIDCOM INC. (Por presentarse). (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica) UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
-

- [9] Soto A. Caracterización de operaciones de manufactura de un componente metal mecánico usando álgebra de Boole y "ecuaciones de forma". 2004. (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
- [10] Baldomero L. Modelado de una pieza mecánica usando primitivas de manufactura. 2004. (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
- [11] Cohen M., Nagel E. Introducción a la lógica y al método científico: Lógica aplicada y método científico II. (1961). Harcour, Brace World Inc., Argentina.
- [12] Jiménez, E., Reyes, L., Elías S, Lucero B., Construcción de modelos del producto usando un dominio de manufactura. SOMIM. 2004. México
- [13] . D. C. Anderson. Hybrid Feature Extraction for Machining Applications. *Advances in Design Automation*. (1993). Volume 2. P.p. 254-271.
- [14] Reyes., Burgos T., García A. "Aplicaciones del dominio de manufactura a la matriz de primitivas: Una aplicación industrial". Folleto interno de divulgación (2005). Universidad La Salle Noroeste. ISBN 968-5844-19-4