

ARQUITECTURA EN FAMILIA DE PRODUCTOS (AFP) PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE MASS CUSTOMIZATION EN LA PRODUCCIÓN DE
BIENES EN AMBIENTES MAKE TO ORDER

ANDRÉS FELIPE GIRALDO ORTÍZ
ANDRÉS MAURICIO PIAMBA PAREDES

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2011

ARQUITECTURA EN FAMILIA DE PRODUCTOS (AFP) PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE MASS CUSTOMIZATION EN LA PRODUCCIÓN DE
BIENES EN AMBIENTES MAKE TO ORDER

ANDRÉS FELIPE GIRALDO ORTÍZ
ANDRÉS MAURICIO PIAMBA PAREDES

Trabajo de Grado para Optar por el título de:
Ingeniero Industrial

Director
Pablo Cesar Manyoma Velásquez, M.Sc.
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado: _____

Jurado: _____

Jurado: _____

Santiago de Cali, 31 de Agosto de 2.011

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme el don de vivir en un mundo y un país maravilloso, pero en especial por ser incondicional y constante aun cuando me olvidaba de él.

A mis padres, Luis Alberto y Nohelva, modelos de vida que prevalecen en el tiempo, por sus enseñanzas y esfuerzos; siempre estuvieron para levantarme, apoyarme y dirigirme, por sus principios y valores, además de su inmenso amor. Mi más sincera admiración.

A mi esposa, Paula Andrea, mi inspiración y motivación en todo momento, por su inquebrantable amor, paciencia y dedicación. Por cruzarse en mi camino para hacer de mi vida un escenario cálido y apacible, por enfrentar conmigo retos y alcanzar metas. Sabes que fuiste, eres y serás mi más grande AMOR...

A mis hermanos, Natalia, Michell y Jorge; por su generosidad, transparencia y excelencia. Seres íntegros e incondicionales a lo largo del tiempo.

A las familias, Giraldo, Ortiz y Álzate, por enseñarme a crecer como persona y brindarme momentos inolvidables a lo largo de la vida.

Andrés Felipe Giraldo Ortíz

Dedico el presente proyecto en primera instancia a Dios, quien guía cada uno de mis pasos y constituye mi mayor fuente de Fe y Esperanza, por las bellas oportunidades que me ha regalado.

A mis padres, María Cristina y Miguel Ángel, a quienes debo todo: mi existencia, mis anhelos y mis ilusiones; por educarme en el amor, por brindarme todo su apoyo y por haberme dado como regalo a mis hermanos Miguel y Juan.

A mi novia, Carolina por acompañarme incondicionalmente en este largo camino y por brindarme todo su amor, fuente de motivación.

A mis suegros, Gerardo y Martha por su apoyo y colaboración de corazón, por su continua preocupación por mi bienestar.

A mi familia, por compartir conmigo cada una de mis tristezas y alegrías.

Andrés Mauricio Piamba Paredes

AGRADECIMIENTOS

A mi universidad, por contar con capital humano de excelencia e infraestructura adecuada para la formación de profesionales íntegros con principios éticos.

A mis profesores, por haber compartido su amplia experiencia y conocimiento en cada una de las áreas, en especial a Pablo Cesar Manyoma por su comprensión y paciencia. A cada uno de ellos Gracias!!!, nada de esto hubiera sido posible sin su ayuda.

A Maderarte Arquitectura en Madera SAS, por su flexibilidad, apoyo y comprensión. Fuente económica en mi formación.

Andrés Felipe Giraldo Ortíz

A la Universidad del Valle Seccional Cali por haberme aceptado en sus aulas, espacios gestores de conocimiento, por haberme brindado las herramientas necesarias para el normal desarrollo de mi carrera profesional y por su apoyo en la continuidad de mis estudios.

A todos y cada uno de mis profesores y equipo humano de la escuela de Ingeniería Industrial y Estadística por haberme compartido el enorme conocimiento que poseen, y por haber aportado a mi formación profesional una serie de valores éticos, morales e intelectuales.

Andrés Mauricio Piamba Paredes

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. ARQUITECTURA DE FAMILIA DE PRODUCTOS Y MASS CUSTOMIZATION	14
1.1 ENFOQUE DE AFP	17
1.1.1 Antecedentes de la Modelación de Familia de Productos	18
1.1.2 Principios de AFP con respecto al desarrollo de familia de productos y Mass Customization.	19
1.1.2.1 Composición.....	20
1.1.2.2 Nivel de Agregación	21
1.1.2.3 Puntos de Vista Múltiples.	22
1.1.2.4 Generación de Variedad.....	23
1.2 ENFOQUE DE MASS CUSTOMIZATION	25
1.3 FACTORES CRÍTICOS QUE CONDUCEN AL ÉXITO DE MASS CUSTOMIZATION	28
1.3.1 Demanda del Cliente por Productos Personalizados	28
1.3.2 Turbulencia del Mercado	29
1.3.3 Preparación de la Cadena de Suministro	29
1.3.4 Organización Basada en el Conocimiento.....	30
1.4 EL PROCESO DE MASS CUSTOMIZATION	31
1.4.1 Subproceso de Desarrollo	31
1.4.2 Subproceso de Interacción.....	32
1.4.3 Subproceso de Compras	33
1.4.4 Subproceso de Producción	33
1.4.5 Subproceso de Logística	34
1.4.6 Subproceso de Información.....	34
1.5 LÍMITES Y OPORTUNIDADES EN EL CAMPO DE LA PERSONALIZACIÓN MASIVA PARA ORGANIZACIONES “MAKE TO ORDER”	35

2.	OBTENCIÓN DE UNA ARQUITECTURA DE FAMILIA DE PRODUCTOS	40
2.1	DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE UNA ARQUITECTURA DE FAMILIA DE PRODUCTOS.....	40
2.1.1	Estructura del producto genérico.....	41
2.1.2	Variedad de parámetros	43
2.1.3	Obtención de Variantes	43
2.2	AFP COMO HERRAMIENTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MASS CUSTOMIZATION	47
2.3	OPTIMIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE FAMILIA DE PRODUCTOS.....	48
2.4	IDENTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AFP EN AMBIENTES MAKE TO ORDER.....	53
3.	CASO ESTUDIO	55
3.1	MARCO DE REFERENCIA	55
3.1.1	Antecedentes de la Carpintería	56
3.1.2	Maderarte Arquitectura en Madera SAS.....	56
3.2	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	57
3.3	CONSTRUCCIÓN DE BASE COMÚN	61
3.4	ESTRUCTURACIÓN DE LA FAMILIA DE PRODUCTOS	63
3.4.1	Vistas Múltiples.....	64
3.4.2	Estructura del Producto Genérico.....	65
3.5	OPTIMIZACIÓN.....	65
3.5.1	Selección de Heurística.....	68
3.5.2	Fase 1: Optimización de Módulos	69
3.5.3	Fase 2: Optimización de Atributos.....	73
3.6	DESARROLLO DE INDICADORES	83
4.	CONCLUSIONES.....	86
5.	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	90

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ilustración de la AFP.....	20
Figura 2. Métodos Básicos de Generación de Variedad.....	24
Figura 3. Proceso general de obtención de la variante.....	40
Figura 4. Realizaciones Variables: Obtención de Variantes a través de Instancias de la EPG.....	42
Figura 5. Ilustración del proceso de obtención de la variante	44
Figura 6. Sistemas, Módulos y Atributos.....	49
Figura 7. Metodología AFP para manufactura make to order.	54
Figura 8. El triángulo de trabajo	58
Figura 9. Distribuciones lógicas de una cocina integral	59
Figura 10. Estándar de Construcción y Configuraciones de perforación	61
Figura 11. Estructura Genérica de la CI.....	66
Figura 12. Algoritmo para la aplicación de la búsqueda tabú.....	79

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Múltiples puntos de vista de los constructores de AFP	23
Tabla 2. Alternativas de selección - Módulos.....	62
Tabla 3. Alternativas de selección - Atributos	63
Tabla 4. Arquitectura de familia de producto para la CI	65
Tabla 5. Variantes asociadas, condiciones de inclusión y métodos de generación de variedad	67
Tabla 6. Parámetros	69
Tabla 7. Condiciones de inclusión	70
Tabla 8. Posibles medidas para un módulo	71
Tabla 9. Resultados obtenidos fase 1.....	73
Tabla 10. Conjunto de atributos.....	74
Tabla 11. Matriz de cruce.....	75
Tabla 12. Resultados obtenidos fase 2.....	81
Tabla 13. Resumen.....	82
Tabla 14. Ejemplo de Portafolio	83
Tabla 15. Resultado Indicadores	85

INTRODUCCIÓN

La satisfacción total del Cliente puede significar hoy en día un reto de gran envergadura para la mayoría de las empresas a nivel mundial. Esto se debe en gran parte al desarrollo casi diario de las tecnologías y a la constante evolución del ser humano en su afán por obtener productos específicamente adaptados a sus necesidades. En este contexto se desarrolla un nuevo concepto de producción el cual se define como Personalización Masiva (de ahora en adelante *Mass Customization*) y que proporciona un nuevo nicho de mercado para aquellas empresas que estén en condiciones de brindar a sus clientes productos con altos grados de personalización, variedad y además, con los mismos e incluso más bajos precios a los cuales están acostumbrados en los mercados tradicionales.

Davis y Pine (1993) han expuesto que *Mass Customization* es un enfoque innovador para el funcionamiento de las empresas, además sostienen que es una nueva frontera competitiva en el mundo de los negocios. Se basan en el postulado de que la tecnología actual permite la personalización en la comercialización de bienes a costos de producción en masa. Por tal motivo, no se trata solo de cambiar la forma en que se produce, lo que se pretende es encontrar nuevas alternativas para enfrentarse a la heterogeneidad de la demanda. Hart (1995) presenta otra definición que sostiene esta hipótesis, quien definió *Mass Customization* desde dos perspectivas diferentes:

- ❖ *Desde una perspectiva visionaria:* «la habilidad de suministrar a los clientes cualquier cosa, en el momento que lo deseen, en el lugar donde lo necesiten y del modo que deseen».
- ❖ *Desde una perspectiva práctica:* «el empleo de una estructura y procesos flexibles, capaces de producir productos y servicios modificables y frecuentemente personalizados de manera individual al costo de uno estandarizado».

De acuerdo a lo anterior, fabricar en masa productos básicos estándar que sean fácil y rápidamente adaptables a las condiciones y gustos específicos de cada cliente es un desafío al cual deben enfrentarse las empresas de la región. Por tal motivo, la estrategia de la Personalización Masiva, los procesos que la harán una realidad y la tecnología que la facilitará, se están convirtiendo en un campo de investigación, dado que puede ser planteada como causa de estudio para el desarrollo de metodologías que incorporen recursos con el fin de brindar posibles soluciones a las empresas en la ejecución de planes de producción más flexibles, de tal forma que satisfagan las expectativas de los clientes.

En esta vía, se ha desarrollado una metodología la cual se conoce como ***Arquitectura en Familia de Productos (AFP)***, consistente en un método que busca generar una estructura genérica para capturar y utilizar diseños base empleando la modularidad de los componentes con el objetivo de normalizar los procesos, posponiendo la personalización del producto hasta las últimas fases de producción.

Fujita e Ishii (1997) señalan una característica importante para distinguir la arquitectura de una familia de productos de la de un solo producto, es decir, el tratamiento simultáneo de múltiples productos. Erens y Verhulst (1997) adoptaron diversos modelos de producto para describir la arquitectura de las familias de productos. Esencialmente, la modelación de la arquitectura de una familia de productos difiere de la modelación de un producto tradicional en que la información del producto ha sido relacionada tanto con la familia de productos como con variantes del mismo dentro de un esquema uniforme. Yu et al. (1999) y Zamirowski y Otto (1999) se acercaron a las arquitecturas de producto desde una perspectiva funcional, es decir, definieron la arquitectura de un portafolio de productos basados en las demandas del cliente.

Tseng y Jiao (1996) reconocieron la razón de ser de una arquitectura de familia de productos (AFP) en cuanto a diseño para la personalización en masa. Señalando en el desarrollo de la AFP, la necesidad de una planificación sistemática de la

modularidad y la uniformidad en términos de bloques de construcción y sus estructuras de configuración a través de tres dominios consecutivos, es decir, el punto de vista funcional (como se ve desde los clientes, ventas y puntos de vista de marketing), el punto de vista del comportamiento (como se ve desde la tecnología del producto o la perspectiva del diseño ingenieril), y el punto de vista estructural (como se ve desde el cumplimiento o la fabricación y punto de vista logístico) (Jiao y Tseng, 2000). Zamirowski y Otto (1999) también perciben la necesidad de desarrollar la arquitectura del producto y una plataforma con la sincronización de múltiples puntos de vista, como las necesidades del cliente, las estructuras funcionales y las arquitecturas físicas. El aprovechamiento de la modularidad y la uniformidad en el desarrollo de AFP también es tema de investigación de Siddique et al. (1998) y Siddique y Rosen (1999).

Considerando estas condiciones, se opta en el siguiente trabajo por el desarrollo de una metodología que permita definir una arquitectura de familia de productos en ambientes *make to order*, teniendo en cuenta restricciones de operación de las empresas y el logro de un alto nivel de satisfacción de los clientes.

La estructura del documento se plantea de la siguiente forma:

- En el capítulo 1 se establece la revisión bibliográfica de la arquitectura de familia de productos y *mass customization*, este se divide en 6 secciones. La primera muestra el enfoque AFP; la segunda, tercera y cuarta detallan el enfoque de *mass customization*; por último en la quinta y sexta sección se presentan las limitaciones, oportunidades y posibles optimizaciones de estas metodologías en ambientes *make to order*.
- En el capítulo 2 se define la metodología para estructurar la arquitectura de familia de productos en ambientes *make to order*, este se divide en 3 secciones. En la primera se muestra la definición y obtención de la arquitectura de familia de productos, en la segunda se presenta una generalización de la optimización de la arquitectura de la familia de productos. En la tercera sección se plantea la metodología definitiva para

estructurar la arquitectura de familia de productos en un ambiente *make to order*

- En el capítulo 3 se presentan el caso estudio.

Los resultados son comentados a la luz de las técnicas de diseño y manufactura tradicionales, realizando la comparación a través de los indicadores establecidos comprobando la funcionalidad de la metodología.

1.ARQUITECTURA DE FAMILIA DE PRODUCTOS YMASS CUSTOMIZATION

En décadas anteriores la producción se caracterizaba porque el comprador o usuario expresaba al artesano cuáles eran sus necesidades específicas y el uso que se pretendía dar al producto. Tal sistema comenzó a evolucionar para dar paso a la división técnica del trabajo desarrollándose niveles de jerarquía en los cuales se identificaba a los administradores y a los artesanos, siendo estos últimos los responsables de elaborar los productos y los primeros los encargados de transmitir las especificaciones de los clientes.

Más tarde, los administradores ven en las máquinas una herramienta de trabajo con las cuales pueden aumentar sus niveles de producción con el objetivo de alcanzar una disminución en los costos y a su vez una mayor demanda por parte de los clientes. Es entonces en este momento, donde el artesano comienza a desvincularse de sus actividades y da paso a la figura del fabricante. Con el correr de los años el fabricante comprendió que lo más importante era que las máquinas mantuvieran su ritmo de trabajo y que sus operarios desarrollaran destrezas de tal forma que se especializaran en tareas concretas con el fin de obtener un alto rendimiento. Fue tal la evolución del sistema que alcanzó proporciones inimaginables dando paso a la producción masiva y con éste a la consolidación de las economías de escala, que de la mano de los avances tecnológicos permiten unos mayores niveles de homogeneidad, mayores volúmenes productivos y menores costos.

Esta visión estratégica basada en economías de escala o de gran volumen y centrada, básicamente, en la optimización y la reducción de costos, que tan buen resultado ha proporcionado a los fabricantes, empieza a sentirse amenazada por diversos factores como:

Una mayor conciencia del cliente y mejor conocimiento de lo que quiere;

- ❖ Una fragmentación de los mercados, llegando al extremo de una personalización de la demanda que no se veía desde los tiempos de la producción artesanal;
- ❖ La irrupción masiva de productos procedentes de países de reciente industrialización o en vías de incorporación a sistemas capitalistas, cuya ventaja competitiva es el precio, teniendo en cuenta sus bajos costos salariales y otros recursos;
- ❖ La apuesta de algunas multinacionales por una nueva visión de entender los negocios y las estrategias competitivas.

A continuación se relacionan algunas de las condiciones y presiones que han puesto en alerta a los empresarios de los países en desarrollo y en especial a las pequeñas y medianas empresas que hoy en día tratan de desarrollar estrategias que les permitan permanecer con crecimiento en mercados globalizados siendo lo suficientemente competitivos¹.

- ❖ *Digitalización*: Los medios digitales se han convertido en dominio de todas las personas hasta tal punto que la mayoría de los negocios o procesos productivos giran en torno a operaciones digitales como Pagos Electrónicos, Internet, Software de producción, Código de Barras, etc., junto con muchas otras tecnologías que obligan a las empresas a entrar en un mundo digitalizado;
- ❖ *Economía Globalizada*: La evolución de los medios de comunicación y las tecnologías han demostrado que las fronteras geográficas dejan de ser un obstáculo, permitiendo así la transición de mercados locales a mercados mundiales;

¹ Disponible en internet: <http://www.ceroaverias.com/centroTPM/articulospublicados/PDF/MASSCUSTOMIZATIO.pdf>

- ❖ *Virtualización:* Los elementos físicos están pasando a convertirse en elementos virtuales, tanto así, que hoy en día muchos negocios son cerrados a través de video-conferencias lo cual permite la optimización de recursos a costos mínimos e inmediatos;
- ❖ *Desintermediación:* El camino hacia el cliente final se acorta permitiendo eliminar la figura del intermediario con el objeto de vender un producto directamente, a un costo menor, más rápido y obteniendo un contacto más estrecho con la demanda;
- ❖ *Economía Pro-Consumidor:* La posibilidad de comparar cada día más entre diversas alternativas de compra, le ha permitido al consumidor ser más exigente, y por ende, al productor más competitivo;
- ❖ *Inmediatez:* La Capacidad de respuesta inmediata es una variable fundamental en el éxito o fracaso de las empresas. Una innovación deja de serlo en un plazo no mayor de tres meses, siendo copiada, superada o sustituida por la competencia;
- ❖ *Baja Fidelidad del Comprador:* La demanda se está dirigiendo hacia aquel productor que ofrezca las mejores condiciones en el instante. Es por eso que las empresas deben mantener un contacto permanente con su comprador y ganar de alguna manera su fidelidad.

En este marco, ganar la guerra basándose en la táctica del precio parece algo más que una utopía. Por tal motivo y en vista de que las pequeñas y medianas empresas que hacen parte de nuestro país y a su vez de la región han sufrido las consecuencias de los cambios anteriormente mencionados, es necesario aplicar metodologías innovadoras que permitan adquirir ventajas competitivas no solo

basadas en el precio, sino también, basadas en nuevos métodos de producción que satisfagan la exigencia diversificada de los clientes.

Las anteriores consideraciones y el estado actual de las organizaciones permiten identificar que existe una ***“Gestión inadecuada de sistemas de producción que impiden responder a la heterogeneidad de la demanda”***.

Como respuesta a esta necesidad que se hace evidente en la gestión de operaciones de las pequeñas y medianas empresas de la economía Colombiana, se ha diseñado el presente proyecto que tiene como objetivo general:

- ❖ Proponer la Arquitectura en familia de Productos como herramienta para desarrollar una metodología que permita introducir la personalización en masa en la producción de bienes en ambientes Make to Order.

El procedimiento a seguir para alcanzar el anterior objetivo, se condensa en tres (3) objetivos específicos que detallan el desarrollo teórico-práctico de la propuesta:

- ❖ Desarrollar un marco teórico de la personalización en masa y la arquitectura en familia de productos como herramienta para su implementación;
- ❖ Identificar las variables y parámetros relevantes en ambientes de producción Make to Order para obtener una arquitectura en familia de productos que mejore el desempeño del sistema de producción; y
- ❖ Formular un modelo caso de estudio para aplicar y evaluar la metodología propuesta.

1.1 ENFOQUE DE AFP

La integración de la arquitectura en familia de productos, en donde se racionaliza el desarrollo de productos y se desea mantener la eficiencia de la producción en

masa, destinada a ofrecer una variedad creciente de productos que mejor sirva a las necesidades de los clientes, presenta una contrariedad funcional. Sin embargo, recientemente ha recibido gran atención y popularidad en la industria y los círculos académicos por igual, pues es de gran interés lograr equilibrar la producción de alto volumen con un portafolio de productos donde los clientes puedan satisfacer sus necesidades específicas.

El concepto de la perspectiva arquitectónica se origina del significado de la arquitectura en la informática - "La estructura conceptual y sobre todo la organización lógica de un ordenador o un sistema informático desde el punto de vista de su uso o diseño " (Diccionario de Inglés Oxford, 1989). Existen dos puntos o frases esenciales en esta explicación, la "organización lógica" y "desde el punto de vista de su uso". Por consiguiente, la arquitectura de familia de productos (AFP) se puede definir como la organización lógica de una familia de productos vista desde ambos puntos de vista, ingenieril y desde mercadeo. En el contexto de la personalización en masa, debe haber un equilibrio entre lo comunal y lo distintivo dentro de la AFP (Robertson y Ulrich, 1998). En otras palabras, la AFP define tanto lo que es común, como lo que es diferente entre los miembros de la familia, así como los mecanismos con que algunas variantes del producto se pueden derivar.

1.1.1 Antecedentes de la Modelación de Familia de Productos

Como se ha señalado por Fujita y Ishii (1997), uno de los retos del diseño de la familia de productos es la representación de los productos de las familias en los productos individuales. El esfuerzo más significativo hacia la representación de productos con opciones, probablemente es el modelo genérico de producto *bills-of-materials* (GBOM) (Heggey Wortmann, 1991). Construido sobre la estructura de la lista-de-materiales (BOM), que se utiliza comúnmente en la industria.

GBOM define un producto genérico como un conjunto de variantes que pueden ser identificados a través de valores específicos alternativos para un conjunto de

parámetros. Muchos investigadores coinciden frente a la representación de la familia de productos basada en el modelo GBOM. Erens y sus colegas (Erens et al, 1994; Erens y Verhulst, 1997; Erens y Hegge, 1994) desarrollaron un lenguaje de modelización GBOM basada en la variedad de productos. Wortmann y Erens (1995) proponen la modelación genérica de productos (GPM) para representar una familia de productos desde los puntos de vista comercial y de ensamble. Van Veen (1992) investigaron la modelación de la familia de productos basada en GBOM desde la perspectiva de la producción.

Jiao y Tseng (1999) observaron diferentes relaciones de datos subyacentes de la modelación de familia de productos, incluyendo producto-producto, producto-familia y familia-familia, relaciones que implican cuestiones comunes, la creación de instancias y la evolución, respectivamente. También identificaron dos tipos de limitaciones para manejar la asignación de la variedad en los dominios de ventas e ingeniería y la configuración de la variedad dentro de cada dominio. Una estructura de variedad genérica (EVG) que consiste en la estructura de productos comunes, parámetros de variedad y restricciones de configuración, se propone para caracterizar la variedad y sus derivaciones (Jiao et al., 2000).

1.1.2 Principios de AFP con respecto al desarrollo de familia de productos y Mass Customization.

Existen dos aspectos correlacionados, asociados con la Arquitectura de Familia de Productos, llamados aspectos de composición y generativos. La Figura 1, muestra el principio de la AFP con respecto al desarrollo de familia de productos y la personalización masiva.

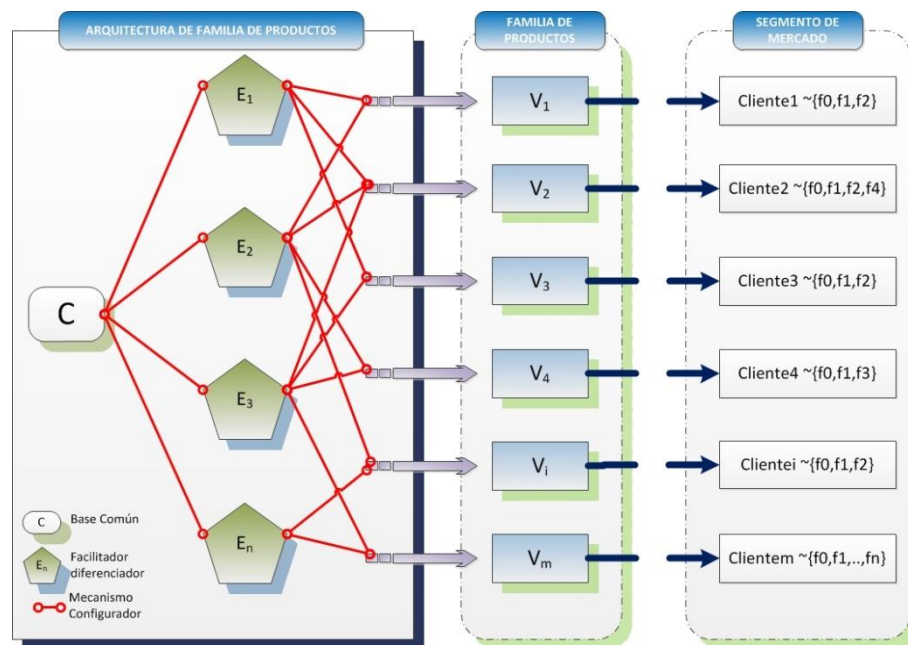
Desde el punto de vista de mercadeo, los clientes están caracterizados por combinaciones de características funcionales $\{f\}$ y valores característicos asociados, $\{f^*\}$, una familia de productos $\{V_1, V_2, V_3, \dots, V_i, \dots, V_m\}$ diseñada para direccionar los requerimientos de un grupo de clientes en un segmento de mercado, $\{\text{Cliente}_1, \text{Cliente}_2, \text{Cliente}_3, \dots, \text{Cliente}_i, \dots, \text{Cliente}_m\}$, en el cual los

clientes comparten ciertos requerimientos comunes, f_0^* , dentro otros requerimientos similares o distintos, $\{f_1^*, f_2^*, f_3^*, \dots, f_n^*\}$. Desde la perspectiva de la ingeniería, las variantes de la familia de productos, $\{V_i\}$, son derivadas de la configuración de las bases comunes, $\{C_i\}$, y los facilitadores de diferenciación, $\{E_i\}$, que son predefinidas por la familia de productos. Lo anterior es un mecanismo de configuración que determina el aspecto generativo de la AFP.

1.1.2.1 Composición.

La AFP consiste en 3 elementos llamados, base común, atributo diferenciador y el mecanismo de configuración, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Ilustración de la AFP



Fuente: Journal of Intelligent Manufacturing. A methodology of developing product family architecture for mass customization.

- (1) Base Común (C): la base común se refiere a ciertos elementos comunes dentro de una familia de productos. Estos elementos compartidos pueden ser características funcionales (desde de la perspectiva del cliente), y desde

la perspectiva de la ingeniería pueden ser características y/o componentes compartidos en la estructura de los productos.

(2) Atributo Diferenciador (E): son los elementos básicos de la fabricación de una familia de productos diferenciando uno de otro. Son la fuente de la variedad de una familia de productos.

(3) Mecanismo de Configuración (MC): define las normas y medios de derivación de la variedad de los productos. Se definen tres tipos de mecanismo de configuración:

- a. Restricciones de selección: especifica las restricciones en las características opcionales, porque ciertas opciones de combinación no están permitidas o no son posibles, o, por el contrario, son obligatorias.
- b. Incluir condiciones: tiene que ver con la creación de instancias de variantes para cada atributo diferenciador. La condición de incluir una variante define las condiciones en las que la variante debe crear una instancia con el fin de obtener las características del producto que se requiere. Puede ser en forma de una función lógica con valores de los parámetros del atributo diferenciador o con los componentes de la base común como variables independientes.
- c. Generación de variedades: se refiere a las distintas formas en que puede ser creado un producto. Se centra en la realización de la ingeniería de los productos de los clientes o en forma de estructuras de productos.

1.1.2.2 Nivel de Agregación

Si bien se comparten bases comunes a través de productos que permiten economías de escala, los atributos de diferenciación facilitan la variabilidad de la

familia. Tal equilibrio de las economías de escala y alcance depende de la identificación apropiada de las bases comunes y los atributos de diferenciación. Estos elementos de la AFP suelen ser seleccionados con base en (a) los clientes actuales y necesidades futuras, (b) elementos comunes en el diseño y la fabricación; (c) la facilidad de configuración, y (d) el nivel apropiado de agregación. Si la construcción se encuentra en un nivel demasiado bajo de agregación, el número de construcciones puede ser demasiado y la configuración se hace difícil. Por otro lado, si la agregación se encuentra en un nivel muy alto, tales como módulos completos o productos, el carácter común puede no ser suficiente.

1.1.2.3 Puntos de Vista Múltiples.

El aumento de variedad tiene una influencia de gran alcance en muchas funciones de la organización, como mercadeo y ventas, ingeniería de producto y producción. Es muy común que los diferentes departamentos funcionales de una empresa interpreten las familias de productos desde diferentes perspectivas y con diferentes propósitos. Por ejemplo, para mercadeo y ventas, debe ser capaz de representar las especificaciones de producto en términos de parámetros funcionales y restricciones, al mismo tiempo ser capaz de describir productos finales, subconjuntos y componentes, junto con componentes estructurales y la información para fines de ingeniería.

Por lo tanto, los elementos que componen la AFP (C, E, y MC) implican diferentes entidades para ventas e ingeniería. Concretamente, la base común para ventas constituye el principio de funcionalidad que responde a la necesidad exacta del consumidor, para ingeniería este aspecto representa la configuración de fabricación del producto, la tecnología a utilizarse en el proceso de transformación y la posibilidad de generación de módulos comunes; los atributos diferenciadores son el valor agregado que ventas ofrece al consumidor con el objetivo de presentar una flexibilidad (restringida) en el proceso de fabricación, en este caso ingeniería debe asumir el reto de crear relaciones estructurales para generar

módulos distintivos; por último, los mecanismos de configuración obedecen estrictamente a las condiciones o restricciones del sistema de producción para la generación de variedad, razón por la cual ventas debe solamente ofrecer las características opcionales posibles de acuerdo a la capacidad del sistema de producción con el que cuenta ingeniería. Lo anterior se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Múltiples puntos de vista de los constructores de AFP

Constructores AFP	Ventas	Ingeniería
Base Común	• Características comunes	• Tecnología del Producto • Estructura del Producto • Módulos Comunes
Atributos diferenciadores	• Características Opcionales • Valores de características seleccionables	• Módulos distintivos • Relaciones estructurales distintivas • Parámetros de diseño medibles
Mecanismos de Configuración	• Restricciones de Selección	• Inclusión de condiciones • Generación de variedad

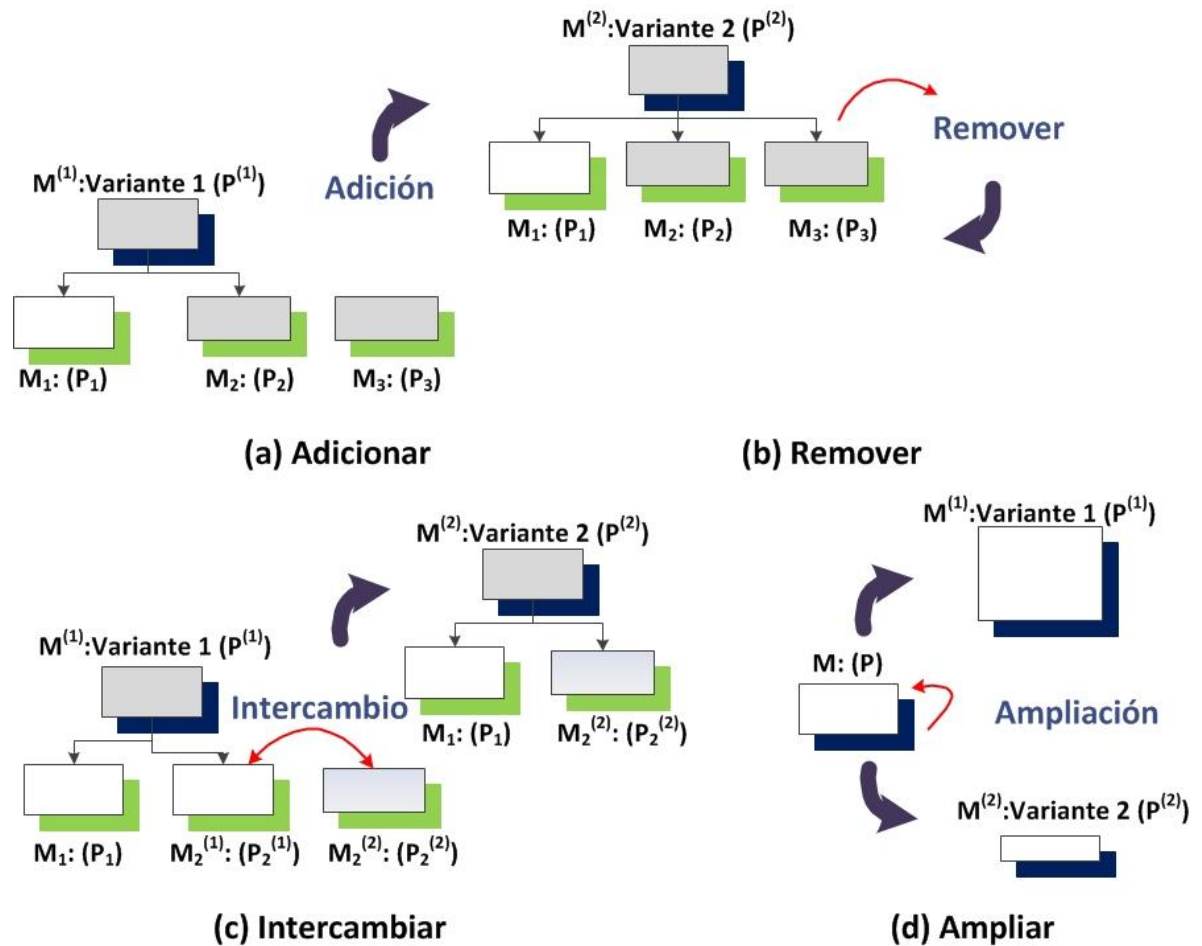
Fuente: Adaptado de Journal of Intelligent Manufacturing. A methodology of developing product family architecture for mass customization.

1.1.2.4 Generación de Variedad

Suponiendo que la arquitectura modular del producto tiene un impacto positivo en el diseño de productos de una familia, tres mecanismos básicos de generación de variedad se pueden distinguir: la colocación, el intercambio, y la ampliación, tal como se muestra en la Figura 2.

Un Módulo, en este contexto puede ser un conjunto de partes físicas o grupo de unidades lógicas que cubre ciertas funciones. La variedad del producto por lo tanto se puede lograr a través de diferentes combinaciones de módulos.

Figura 2. Métodos Básicos de Generación de Variedad



Fuente: Journal of Intelligent Manufacturing. A methodology of developing product family architecture for mass customization.

- (1) Colocación. Como puede verse en la Figura 2 (a), un módulo en particular (M_3) tiene ciertas funciones adicionales (P_3) se puede unir a un producto base ($M^{(1)}$) creando un nuevo producto variante ($M^{(2)}$). Los módulos conectables tienen interfaces adecuados para el producto base.

- (2) Remoción. En la Figura 2 (b), un módulo en particular (M_3) con ciertas funciones adicionales (P_3) puede ser removido de un producto base ($M^{(2)}$), generando un nuevo producto variante ($M^{(*)}$). Los módulos removibles poseen interfaces adecuados para el producto base.
- (3) Intercambio. Intercambio se relaciona principalmente con la variedad, debido a los requisitos de rendimiento diferentes para la misma función. En la Figura 2 (c), ambos módulos $M_2^{(2)}$ y $M_2^{(1)}$ llevan a cabo la misma función (P_2) y cada uno de ellos produce diferentes niveles de rendimiento de P_2 ($P_2^{(2)}$ y $P_2^{(1)}$). Si se usa $M_2^{(2)}$ para sustituir a su contraparte ($M_2^{(1)}$) en el producto base ($M^{(1)}$), una nueva variante $M^{(2)}$ se puede obtener con un rendimiento diferente ($P_2^{(2)}$) frente a ($P_2^{(1)}$) del producto de base original ($M^{(1)}$). Por lo general, los módulos intercambiables ($M_2^{(1)}, M_2^{(2)}$) tienen interfaces comunes con las demás partes del producto.
- (4) Ampliación. Como puede verse en la Figura 2(d), un parámetro operativo determinado (P) del producto o de un módulo se puede cambiar de $P^{(1)}$ a $P^{(2)}$, después de algunos modelos de sistemas o funciones.

En conclusión colocar, remover, intercambiar y ampliar son los mecanismos básicos de generación de variedad. Generar variedades más complicadas puede ser compuesta por la aplicación de estos métodos básicos a la estructura jerárquica de los productos de forma recursiva.

1.2 ENFOQUE DE MASS CUSTOMIZATION

El término “mass customization” fue propuesto por primera vez por el investigador de la Universidad de Boston, Stanley Davis (1987) a finales de los años 80. Aunque existen diferentes interpretaciones del mismo, este puede considerarse como un término que conjuga dos conceptos que a primera vista son opuestos, como son producción en masa (mass production) y producción artesanal (craft

production), la primera logra fabricar productos de bajo costo debido a la estandarización y a las economías de escala, mientras que la producción artesanal, supone un alto nivel de individualización dado que los productos se adaptan a las necesidades específicas de cada cliente.

Las organizaciones persiguen simultáneamente ambos conceptos, para lograr la diferenciación y el liderazgo en costos, sin embargo, la emergencia de la personalización masiva ha roto este paradigma dado que es una estrategia que pretende proporcionar al cliente productos y servicios personalizados con la mayor cercanía posible a la eficiencia de la producción en masa. En este sentido, la personalización en masa permite a las organizaciones lograr una ventaja competitiva para ingresar a nuevos mercados y fortalecer los ya existentes, bajo el hecho de que los clientes ya no buscan bienes y servicios estandarizados, sino productos que sean exactamente correspondientes a sus necesidades.

La personalización masiva es un concepto de manufactura híbrida, que une la eficiencia de las operaciones y la diferenciación para proporcionar un gran valor agregado. El punto de partida hacia esta puede ser la producción en masa o la manufactura OKP (one-of-a-kind), aquella que fabrica productos altamente personalizados de manera individual, convirtiendo los requerimientos del cliente en un producto de éxito bajo el enfoque de las limitaciones de tiempo, costo y calidad.

Teniendo en cuenta que las organizaciones que operan bajo el enfoque de producción en masa utilizan un modelo anticipatorio de producción de bienes estándar para inventario y debido a las presiones del mercado y a la demanda de los clientes por un portafolio de productos más amplio, este tipo de empresas deben decidir si permanecer bajo el sistema tradicional o volcarlo hacia la personalización masiva, dicho cambio se torna con mayor facilidad en aquellas organizaciones de tipo OKP puesto que con las similitudes existentes entre sus productos finales, puede lograrse una expansión de su volumen de producción. En términos económicos, el desempeño financiero de una organización está

fuertemente ligado al nivel de personalización, en donde una organización originariamente con un sistema de producción en masa obtiene mejores resultados financieros al realizar la integración de sus clientes en etapas posteriores al ciclo de producción.

De hecho las organizaciones pueden optar por proporcionar diferentes grados de personalización a sus clientes. Al respecto, se han realizado muchos intentos para clasificar la práctica de la personalización masiva. Estas clasificaciones establecen el nivel de participación del cliente como criterio principal. Básicamente, este sistema se fundamenta en el punto del ciclo de producción en donde el cliente involucra sus especificaciones sobre el producto, siendo este el sitio con mayor nivel de personalización; por lo anterior puede decirse que el punto de interacción del cliente caracteriza el proceso de personalización, puesto que determina la línea push-pull.

De esta manera, Lampel y Mintzberg (1996) utilizaron el nivel de participación del cliente en la cadena de valor, y establecieron cuatro etapas principales: diseño, fabricación, montaje y distribución, en donde el nivel de personalización incrementa inversamente, razón por la cual el punto de la cadena de valor en el que el cliente realiza su intervención para ordenar un producto, se mueve hacia la etapa final del sistema de personalización.

Los autores definen cinco estrategias según el grado de personalización: estandarización pura, estandarización segmentada, estandarización personalizada, personalización a medida y personalización pura. El más bajo nivel de personalización (estandarización pura) ocurre si todas las etapas de la cadena de valor están estandarizadas, así mismo las organizaciones que logran el mayor grado de personalización (personalización pura) lo hacen si se le posibilita al cliente tener algún impacto en el proceso de diseño. Las otras estrategias son formas intermedias, las cuales están entre los extremos de los niveles en mención, cabe notar que la estandarización pura y la personalización pura pueden ser

consideradas como estrategias de personalización masiva si se cumplen algunas condiciones.

Partiendo de la definición de personalización en masa, el proceso entero deberá involucrar ambas partes, producción en masa y personalización, de este modo, un producto que tenga cierta flexibilidad, al ser personalizado por el cliente puede considerarse como un producto en masa personalizado.

1.3 FACTORES CRÍTICOS QUE CONDUCEN AL ÉXITO DE MASS CUSTOMIZATION

Existen algunos factores críticos que conducen la personalización masiva al éxito, estos se refieren a la necesidad de satisfacer algunas condiciones, para que la implementación de esta estrategia tenga oportunidades benéficas para la organización.

1.3.1 Demanda del Cliente por Productos Personalizados

El principal motor para la implementación de la personalización masiva es el cliente, es obvio que si este no busca bienes y servicios personalizados, la estrategia no será exitosa. La satisfacción del cliente y la voz del mismo, permiten que las organizaciones entiendan las necesidades generales de la base de clientes. Pero estos no son los adecuados para ayudar a las organizaciones a decidir si deben volcarse hacia la personalización masiva o no. En este contexto, para evaluar las necesidades actuales de los clientes por productos personalizados, Hart (1995) utilizó el concepto de “sensibilidad del cliente a la personalización”; el cual se fundamenta en dos factores básicos: “las necesidades individuales de los clientes” y “el nivel de sacrificio del mismo”. Las primeras dependen en gran parte del tipo de producto en cuestión. En efecto, para algunos productos, el cliente debe ser indiferente a la amplia variedad ofrecida, y así la personalización no se hace sentir. Por otra parte, el valor de algunos productos

está altamente relacionado al nivel de individualización que estos proveen al cliente. El segundo factor es definido por Pine y Gilmore (2000) como la brecha entre lo que conforma al cliente y lo que quiere exactamente. Así, se evidencia una diferencia entre lo que el cliente aceptaría y lo que realmente necesita, como la magnitud de ambos factores incrementa, la sensibilidad a la personalización también lo hace; en otras palabras, los clientes están más dispuestos a aceptar productos personalizados.

1.3.2 Turbulencia del Mercado

Además de la sensibilidad del cliente a la personalización, la turbulencia del mercado es un factor importante que las organizaciones deben considerar para determinar el momento adecuado para cambiar a personalización masiva. Esta turbulencia se debe probablemente a cuanto más la industria se mueve en dirección a la personalización masiva, más deben hacerlo las organizaciones para continuar siendo competitivas. Es importante recalcar que la razón del éxito de los sistemas de producción en masa es principalmente que se enmarcan dentro de ambientes estables en los cuales el cliente no demanda diferenciación, sin embargo cuando el mercado inicia su proceso de cambio, se dispara el fracaso de la producción en masa.

1.3.3 Preparación de la Cadena de Suministro

Hoy en día las organizaciones cada vez más reducen el nivel de integración vertical para enfocarse en el objeto de su competencia. Por lo tanto, el papel de los proveedores se convierte en el más importante; el cambio a personalización masiva no solo afecta las operaciones internas sino también las relaciones entre la organización y sus socios en la cadena de suministro. En casos en donde los proveedores estratégicos no tengan la habilidad y capacidad necesarias para soportar el proceso de personalización masiva, la estrategia no será capaz de lograr sus objetivos. Además, en este sentido se busca una cadena dinámica, la cual debe configurarse de acuerdo a los requerimientos del cliente para asegurar

una respuesta rápida y positiva. Es decir, el alineamiento de toda la cadena de suministro con los objetivos estratégicos de la personalización masiva es un hecho de gran relevancia.

Con el cambio a personalización masiva, la cadena de suministro es la más afectada puesto que debe dedicar grandes esfuerzos a adaptar y rediseñar las operaciones internas, de este modo es necesario que la capacidad interna de la organización pueda cumplir con dos requerimientos básicos para poder obtener productos personalizados a bajo costo. En primera instancia, debe lograrse un adecuado diseño de los productos (arquitectura de producto) de manera que sean fácilmente personalizables; en segundo lugar, debe alcanzarse un alto nivel de flexibilidad del proceso que permita fabricar productos individualizados a escala masiva.

1.3.4 Organización Basada en el Conocimiento

Para implementar la personalización masiva, la organización debe crear una atmosfera, en la cual el conocimiento pueda ser compartido sin problema, dado que la estrategia tiene como objetivo cumplir con los requerimientos individuales, la información (entrada) de los clientes debe ser manejada eficientemente y traducida en bienes y servicios. Es decir, antes de cambiar a personalización masiva, la organización debe determinar si tiene la capacidad requerida para asegurar la inclusión del conocimiento del cliente en el flujo de información de la misma, pues el único camino para coordinar una estructura que sea altamente flexible es mantener una eficiente comunicación e intercambio de conocimiento entre las partes interesadas. Otro punto importante es que los productos personalizados masivamente son productos con alto valor agregado, los cuales son intrínsecamente intensivos en conocimiento.

1.4 EL PROCESO DE MASS CUSTOMIZATION

El proceso de la personalización masiva puede definirse como un conjunto de actividades interconectadas que son necesarias para capturar los requerimientos individuales, traducirlos en productos físicos, y entregarlos a los clientes luego de ser producidos. En este sentido, el proceso de personalización puede dividirse en muchos subprocesos incluyendo las etapas principales de la cadena de valor. Por lo tanto se han identificado seis subprocesos: desarrollo, interacción, compras, producción, logística e información.

1.4.1 Subproceso de Desarrollo

Como se mencionó anteriormente, la personalización de un producto es un hecho importante para llevar la personalización masiva al éxito. Si el producto no es desarrollado de forma que sea fácilmente adaptable a los requerimientos del cliente a un bajo costo, la estrategia no dará los resultados esperados para cumplir las metas. De esta manera, se ve que el papel de este subproceso consiste en traducir diferentes necesidades de diversos clientes en una arquitectura de productos genéricos de la cual se puedan derivar una gran cantidad de productos variantes. Así, cada producto específico de un cliente puede considerarse como un derivado particular del diseño genérico.

La arquitectura de producto según Ulrich (2003) es “el esquema bajo el cual la función del producto se asigna a los componentes físicos”, bajo el enfoque de la modularidad en donde idealmente se involucra un mapeo pieza a pieza de los elementos de la estructura funcional del producto mediante bloques de construcción. Además, las interfaces entre los módulos están bien definidas y acopladas, por lo que la creación de una variedad de productos ocurre al mezclar y ensamblar los módulos en diferentes configuraciones. En este contexto, cabe anotar que uno de los beneficios de la modularidad es lograr economías de escala y economías de sustitución.

En la personalización masiva, el desarrollo de los productos es realizado principalmente por los ingenieros de diseño quienes definen los grados de libertad en el diseño del producto (es decir, un conjunto de opciones modulares) que los clientes pueden aprovechar con el fin de crear productos individualizados. Sin embargo, se puede alcanzar un mayor nivel de integración si el desarrollo del producto se mueve hacia el cliente quien convierte sus requerimientos en productos de innovación. En otras palabras, el cliente dará la posibilidad de desarrollar nuevos productos por sí mismo o con la ayuda de la organización; para lograr este objetivo, las organizaciones pueden proveer herramientas a sus clientes para estimular la innovación, estas herramientas pueden ser principalmente software que le permitan al cliente vencer las limitaciones al momento de realizar o expresar sus visiones o ideas.

1.4.2 Subproceso de Interacción

Las salidas del subproceso de desarrollo son el supuesto espacio solución que consiste en un conjunto de productos alternativos que pueden ser producidos. Para incrementar la oportunidad de que cada cliente encuentre el producto que exactamente satisface sus requerimientos, la organización tiende a desarrollar una extensa solución con una gran cantidad de variantes de productos. Además, existe la necesidad de conjugar las expectativas del cliente con los productos físicos; de hecho, esto se realiza durante el proceso de interacción en donde se captura e identifican las necesidades de los clientes y se asigna a sus requerimientos el producto final más apropiado.

El subproceso de interacción, tiene como función principal la obtención y cruce de información entre los clientes y la organización, lo que evidencia que en sistemas de personalización masiva, el cliente posee un rol activo puesto que participa fuertemente en el proceso de adición de valor, siendo comúnmente conocidos como los coproductores.

1.4.3 Subproceso de Compras

Debido al creciente nivel de integración vertical, los proveedores pueden considerarse como una fuente relevante de ventaja competitiva y de gran influencia en los procesos de reducción de costos. El equipo de compras en una organización tiene a cargo la difícil tarea de negociar con los proveedores, seleccionar el mejor de ellos de acuerdo a determinados criterios, y realizar contratos a largo plazo que garanticen importantes beneficios para las finanzas corporativas.

En ambientes de personalización masiva, este departamento debe establecer si sus proveedores tienen la responsabilidad y flexibilidad requeridas para proveer la variedad acorde a sus necesidades.

1.4.4 Subproceso de Producción

Para la personalización masiva es de gran importancia tener un sistema de manufactura flexible, que permita producir variedad de manera eficiente, minimizando actividades necesarias tales como cambio de partes, ajustes y programación de equipos de un producto a otro. Técnicamente, la factibilidad del proceso de personalización masiva en la práctica está adscrita principalmente a las ventajas obtenidas en términos de la flexibilidad y la arquitectura del producto. En este contexto, existen dos tipos de sistemas de producción para la personalización masiva de acuerdo a la fuente de flexibilidad. El primer tipo depende de la flexibilidad construida dentro del diseño del producto a través de la modularidad, mientras que el segundo tipo depende de la flexibilidad construida dentro del proceso. Así, es posible que la modularidad del producto facilite la estandarización personalizada aproximándose a un proceso en donde los módulos son ensamblados en base a los requerimientos del cliente y la flexibilidad hace posible una estrategia de personalización a medida, estableciéndose el concepto de “punto de diferenciación” que generalmente es definido como el punto en el proceso de producción en el cual los productos asumen su identidad única.

1.4.5 Subproceso de Logística

Este subproceso involucra por encima la logística con los proveedores y por debajo la logística con los clientes. La primera se ocupa del transporte, consolidación y almacenamiento de materias primas y componentes requeridos para la producción; la segunda asegura el embalaje y envío del producto terminado a los clientes, ambos procesos enfrentan grandes cambios en la personalización masiva.

La logística con los proveedores debe asegurar que los módulos y componentes son entregados a tiempo de acuerdo a la programación de la organización, la logística con el cliente debe entregar cada producto personalizado directamente a los clientes cuando sea solicitado, como en este proceso se atiende a cada cliente de manera individualizada, los costos logísticos incrementan considerablemente, lo que por ende incrementa el costo total del producto. Por este motivo, existe una creciente tendencia de las organizaciones a subcontratar sus operaciones logísticas con proveedores de este tipo de servicios, los cuales crean valor para sus clientes comerciales. Estos poseen cadenas de transporte y pueden lograr economías de escala en el campo logístico debido a la consolidación de pedidos de diferentes clientes institucionales, sin embargo, el servicio ofrecido va más allá e incluye servicios de valor agregado como embalaje personalizado o ensamblaje final de productos.

1.4.6 Subproceso de Información

El subproceso de información interactúa con todos los procesos mencionados anteriormente. Este logra integrar las principales actividades requeridas para la personalización de productos asegurando un flujo continuo de información, en efecto, para un sistema de personalización masiva, debe capturar las necesidades del cliente, desarrollar una lista de requerimientos de producto, determinar las especificaciones de manufactura con respecto a la programación, procesamiento de materias primas, ensamble, etc. Además, debe ofrecer la posibilidad de

configurar el sistema de manufactura, definir el envío del producto, y permitir verificar el estado de las órdenes del mismo.

1.5 LÍMITES Y OPORTUNIDADES EN EL CAMPO DE LA PERSONALIZACIÓN MASIVA PARA ORGANIZACIONES “MAKE TO ORDER”

Actualmente se ha evidenciado la emergencia de un mercado basado en una relación mucho más estrecha entre clientes y productores, pues los productos están siendo adaptados de acuerdo a especificaciones individuales para obtener un mejor desempeño, en donde el estándar que algunos mercados han alcanzado ha sido la personalización.

Este hecho conduce a un cambio en la forma en el diseño, manufactura y venta de los productos, reemplazando en gran parte los sistemas de pasadas generaciones como la producción en masa.

Sin embargo, para obtener un producto adaptado a las especificaciones del cliente, anteriormente, era necesario acudir a una organización dedicada a este tipo de producción (craft production, OKP, etc.), bajo dichas condiciones predominaban altos precios de venta, calidad inconsistente y largos tiempos de entrega, razón por la cual en la mayoría de los casos los clientes preferían organizaciones de producción en masa, como resultado de ello, se generó una fusión de mercados en donde la estricta separación entre ambos sistemas se disolvió.

Este desarrollo se consolida en un reto para aquellas organizaciones pertenecientes al segmento de “Make to Order”, dado que estas perciben la tendencia a la individualización como una oportunidad para producir más productos personalizados, incursionando en el dominio de un mercado en el cual pueden brindar lo que los clientes exactamente necesitan ya que estos tienen la capacidad económica para pagar por ello. Para alcanzar este hecho, cabe notar

que la industrialización en la personalización masiva tiene mayor impacto que la forma de producción de una organización “Make to Order”, la idea es encontrar el mejor balance entre la eficiencia de la producción en masa y la personalización.

De esta manera, la clave para que una organización alcance la flexibilidad, agilidad y eficiencia necesarias para competir en el mercado de productos personalizados, es la industrialización interna del proceso de información. La traducción de una necesidad específica en un producto, es más una transformación de información que una transformación material, cuando se trabaja con productos personalizados, las especificaciones particulares son producidas para cada producto individual; si fuese de manera tradicional, como resultado se obtendría largos tiempos de entrega, baja calidad y alto costo. Por ello, al fabricar productos complejos y personalizados, el centro de la organización debe cambiar del neto procesamiento material a la habilidad de manejar información ligada al producto y su producción.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que al introducir la personalización masiva en un mercado, existen dos amenazas importantes a considerar: una de carácter interno y otra de carácter externo. La amenaza externa proviene del mercado, y consiste en el impulso generado por el ambiente en cuanto a la capacidad de lograr valor similar al de la competencia, y por encima de ello, agregar valor con altos niveles de calidad y bajo costo. La amenaza interna proviene del costo y el tiempo de entrega al producir productos personalizados, dado que estos normalmente pertenecen al segmento de “Make to Order”. Sin embargo, para este tipo de empresas, la eficiencia no es el único problema contra el que se lucha, sino que la calidad es frecuentemente un problema mayor, puesto que tanto el proceso de producción como el proceso de documentación no se encuentran bien estructurados, y por lo tanto, los resultados se traducen en insuficiencia de uniformidad en la calidad, lo cual no es aceptable en el largo plazo.

Bajo este enfoque, es claro que en el futuro, la calidad no será un signo de diferenciación sino una atributo cualificativo. En este sentido, es necesario analizar el contexto global en términos de lograr sostenibilidad en el largo plazo, teniendo en cuenta que los productores internacionales ofrecen productos personalizados con calidad 6σ (tres o cuatro defectos por millón) convirtiéndose este valor en un objetivo que las organizaciones deben alcanzar.

Otro aspecto importante de la producción bajo el sistema “Make to Order” que debe considerarse en la implementación de la personalización masiva, es el nivel de inventario, dado que existe un dilema entre: el costo, que debe ser bajo y el tiempo de entrega, que debe ser corto. Si los inventarios fueran llevados para todas las posibles configuraciones de productos, el costo del inventario crecería proporcionalmente, y se perdería el significado del concepto de personalización masiva.

La implementación de la personalización masiva, se constituye como un hecho que implica una serie de modificaciones al sistema actual que posee la organización, en ese sentido, es necesario tener un carácter polivalente que le permita a la organización manejar diferentes competencias, el problema radica en el hecho de que en la mayoría de los casos las organizaciones del segmento de “Make to Order” tienen un tamaño limitado, y por ello típicamente cada una de estas organizaciones construye su existencia en grandes habilidades dentro de una o dos áreas de competencia, debido a la disponibilidad de recursos para este tipo de industria. Como resultado de esta limitación, el rol de los proveedores crece proporcionalmente puesto que estos se presentan fuertes en un área específica, necesaria para el proceso de producción de la organización cliente, puede entonces decirse que se compran competencias en determinada área, demostrándose así que la relación entre los integrantes de la cadena de suministro no es únicamente un intercambio de componentes sino también de conocimiento.

Para que dicha relación entre los integrantes de la cadena de suministro sea efectiva, todos deben enfocarse hacia la producción de productos personalizados en donde el extra costo debido a la personalización no exceda el valor creado por la diferencia entre los productos estandarizados y los hechos a la medida del cliente. La limitación que presentan las organizaciones de “Make to Order” en este aspecto, corresponde a la falta de desarrollo en el manejo de la información causado por la utilización de métodos obsoletos, como consecuencia, la problemática inicia en el procesamiento de la información con errores en la lista de materiales a raíz de una pobre validación de datos y especificaciones poco claras. Puesto que los proveedores necesitan información precisa para llevar a cabo su función, en sus sistemas de información se debe registrar los componentes adecuados y en la cantidad específica, para lograr tener el material necesario, en el tiempo indicado en el proceso de producción y así evitar ordenes atrasadas u órdenes aceleradas que signifiquen ineficiencia en el proceso y disminución de la rentabilidad.

En el camino hacia la personalización masiva, según Hart (1995) existen cuatro pilares que ayudan a la organización en la preparación para la adopción de esta estrategia. Estos pilares pueden utilizarse para evaluar la plataforma de la personalización masiva, los cuales son: sensibilidad del cliente a la personalización, disponibilidad del proceso, ambiente competitivo, y preparación organizacional. El primer pilar, la “sensibilidad del cliente a la personalización” es una evaluación del balance entre la especificidad de las necesidades del cliente y el sacrificio ligado al proceso de personalización; el segundo pilar, la “disponibilidad del proceso” hace referencia a la disponibilidad de recursos tanto tecnológicos como financieros para el normal desarrollo del proceso de producción; el tercer pilar, el “ambiente competitivo” corresponde a las ventajas que la implementación de la estrategia de personalización masiva logra alcanzar frente a las fuerzas competitivas del mercado, logrando un mejor grado de posicionamiento; y por último, el cuarto pilar, la “preparación organizacional” en el

cual se establece que para obtener éxito en la implementación de la estrategia, la clave es lograr flexibilidad y agilidad a través del conocimiento y el compromiso de todos los integrantes de la organización. Por ello, puede considerarse que la personalización masiva es un esfuerzo multidisciplinar en el que todas las áreas de la organización deben alinear sus intereses para alcanzar un desempeño adecuado que permita un excelente desarrollo de los procesos críticos y a la vez, una eficiente distribución de los recursos.

Por último, cabe resaltar que las organizaciones de carácter “Make to Order” manejan una interpretación ambigua del concepto de variación, en ocasiones este tipo de industrias establecen un muy amplio espectro de variaciones dentro del cual no se encuentran los productos que satisfacen las estrictas especificaciones del cliente, lo que conlleva a concluir que lograr variación no es lo mismo que lograr personalización, pues personalización es responder exactamente a las necesidades de cada cliente, mientras que variación es solamente una herramienta que aplicada correctamente permite llegar a ello.

2. OBTENCIÓN DE UNA ARQUITECTURA DE FAMILIA DE PRODUCTOS

Cada vez más, muchas empresas están adoptando una arquitectura de familias de productos para mejorar la personalización de bienes y al mismo tiempo, reducir los tiempos de espera y principalmente los costos. La clave para una exitosa arquitectura de familia de productos es la adecuada definición del conjunto de parámetros, características y/o componentes, que permiten formar el amplio conjunto de productos finales. Sin embargo, la selección de la *AFP*, debe estar sujeta a las limitantes operativas y físicas de cada una de las empresas.

2.1 DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE UNA ARQUITECTURA DE FAMILIA DE PRODUCTOS

Bajo el contexto de la *AFP*, el diseño de la familia de productos se manifiesta a través de los procesos de obtención de las variantes de producto basado en las construcciones *AFP*. La Figura 3 muestra el principio de diseño de la familia de productos basado en *AFP*. Los clientes hacen su selección entre los conjuntos de opciones definidas por ciertas características funcionales distintivas.

Figura 3. Proceso general de obtención de la variante



Fuente: Adaptado de Journal of Intelligent Manufacturing. A methodology of developing product family architecture for mass customization.

Estos rasgos distintivos son los facilitadores de la diferenciación de la *AFP* desde el punto de vista de las ventas. Las restricciones de selección se definen para presentar a los clientes sólo las opciones viables, es decir, combinaciones técnica y comercialmente factibles. Un conjunto seleccionado de rasgos distintivos junto con las características comunes comprenden los requisitos de los clientes para un diseño de productos personalizados. Como se muestra en la Figura 4, desde el

punto de vista de mercadeo, los productos personalizados se definen en forma de características funcionales y sus valores (opciones), mientras que desde el punto de vista de ingeniería, el diseño de la familia de productos comienza con las especificaciones del producto en forma de parámetros de variación. Dentro de la AFP, los parámetros de variación corresponden a los rasgos funcionales distintivos y los valores de cada parámetro corresponden a las opciones de cada característica funcional.

2.1.1 Estructura del producto genérico

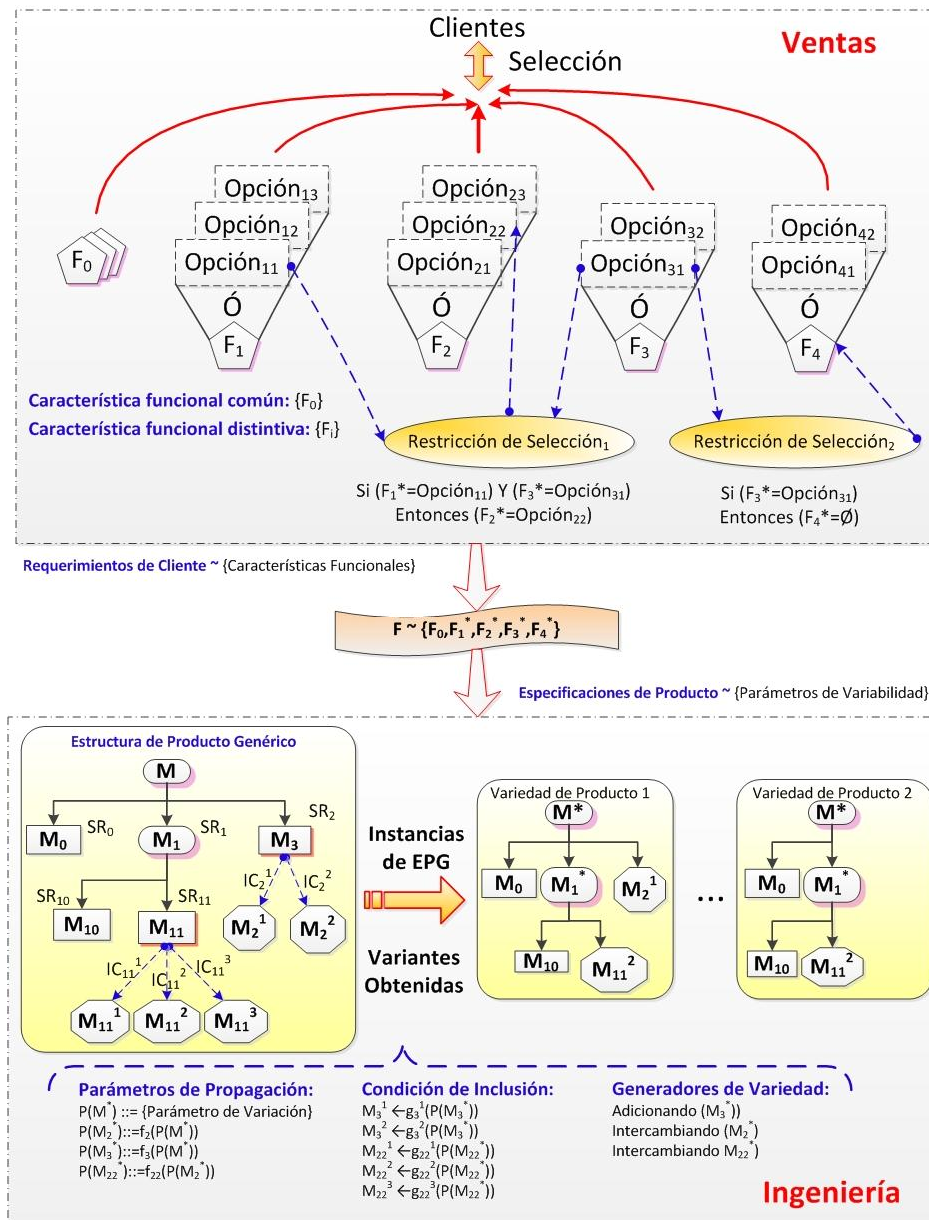
Como se ilustra en la Figura 4, La Estructura del Producto Genérico (EPG), se propone para caracterizar la fuente de variabilidad, basada en la descomposición jerárquica de las estructuras de producto. Dentro de una familia de productos, todas las variantes comparten una estructura común, que puede ser tecnología, módulos, o mecanismos de configuración. La EPG funciona como una estructura genérica de datos para una familia de productos.

La estructura básica es una jerarquía de elementos constitutivos en los diferentes niveles de clasificación, donde los elementos pueden ser entes abstractos o físicos. Se encuentran implicados dos tipos de elementos, módulos, $\{M_i\}$, y relaciones estructurales, $\{SR_i\}$, donde i es el índice de un módulo.

La EPG distingue dos tipos de módulos, módulos primitivos y los módulos compuestos. Un módulo primitivo es el que ya no puede ser descompuesto y posee varias versiones (es decir, instancias del mismo tipo de módulo). Se trata de un nodo de hoja en la estructura de descomposición de una construcción básica. Un módulo compuesto se compone de módulos primitivos y/o otros módulos compuestos.

En la EPG, todas las variantes de los módulos se controlan en los nodos hoja. Es decir, las variantes, $\{M_i^*\}$, de un módulo, M_i , están definidas y relacionadas solamente con módulos primitivos.

Figura 4. Realizaciones Variables: Obtención de Variantes a través de Instancias de la EPG



Fuente: Journal of Intelligent Manufacturing. A methodology of developing product family architecture for mass customization.

Esto se debe a la variedad que un módulo compuesto puede lograr a través de sus módulos primitivos. Por lo tanto, la relación entre las variantes y el módulo

correspondiente puede ser vista como la creación de instancias del módulo de acuerdo con ciertas condiciones de inclusión, $\{IC_i^*\}$.

2.1.2 Variedad de parámetros

La obtención de las variantes del producto se define como la variación de instancias de la *EPG*. Mientras que una *EPG* caracteriza a una familia de productos, cada instancia de la *EPG* corresponde a una variante del producto de la familia. Cada elemento en la *EPG* (ya sea un módulo o una relación estructural) crea una instancia de acuerdo con ciertas condiciones de inclusión que están predefinidas en términos de la variedad de los parámetros. La variedad de los parámetros proviene de las características funcionales especificadas por los clientes y se propagan a lo largo de los niveles de la *EPG*. Métodos de generación de variedades, como la adición, el intercambio y la ampliación, se ejecutan a través de diferentes instancias de los elementos de la *EPG*.

La creación de instancias de la *EPG* está acompañada de la propagación de la variedad de parámetros de nivel superior a los módulos de nivel inferior. En el nivel superior, toda la variedad de parámetros proviene de las características funcionales y las opciones (variedad funcional) son transmitidas al producto final. La asignación de estos diferentes parámetros a los módulos de nivel inferior consiste en las relaciones de la variedad de parámetros y los facilitadores de diferenciación, y por lo tanto se requiere un alto conocimiento del área para asignar los requisitos funcionales a los parámetros de diseño.

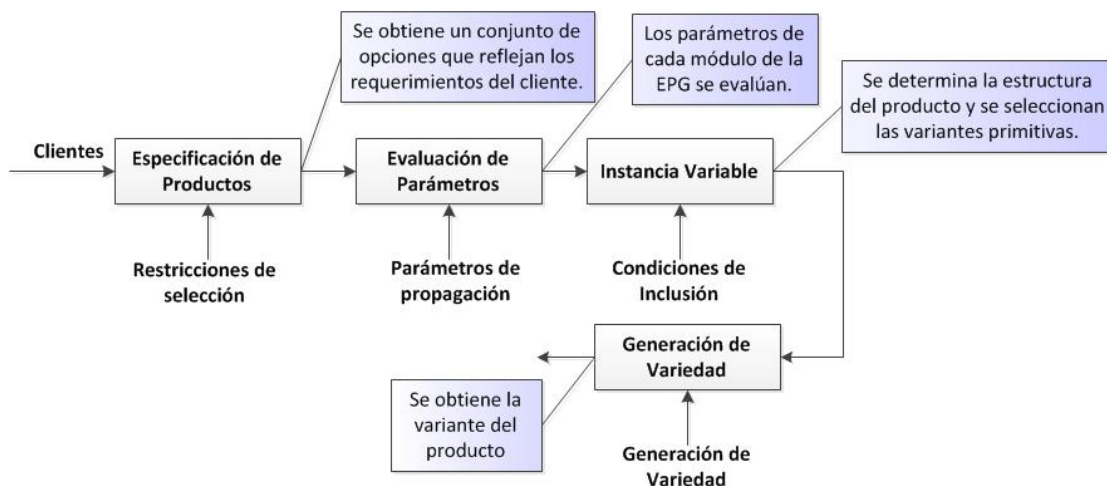
2.1.3 Obtención de Variantes

La generación de variantes del producto ha sido tratado en algunos modelos, incluyendo conceptos tan útiles como la herencia de parámetros (Wortmann y Erens, 1995; Jiao et al, 2000), las restricciones de configuración (Wortmann y Erens, 1995; Jiao y Tseng, 1999; Beldwin y Chung, 1995), y las condiciones de selección (Wortmann y Erens, 1995; Beldwin y Chung, 1995). Sin embargo, la

capacidad de generación de estos modelos es limitada debido a una manipulación poco clara de la estructura que sostiene a las restricciones a través de diferentes puntos de vista.

Para contrarrestar las limitaciones presentadas en la manipulación de la estructura Xuehong Du (et al, 2001) proponen cuatro formas para la generación de variantes; las restricciones de selección, los parámetros de propagación, condiciones de inclusión y generación de variedades. Se deben aplicar bajo las siguientes consideraciones: (a) las restricciones de selección se utilizan para especificar las opciones de combinación correspondientes de las características funcionales, (b) Se modelan los dos tipos de parámetros de propagación, correspondencia y derivación, (c) Las condiciones de inclusión están limitadas a las variantes de los módulos primitivos y a la variación de las relaciones estructurales, y (d) la generación de variedades define la aplicación de la ingeniería para realizar la variedad de productos. Los tres últimos están estrechamente relacionados con la *EPG*. En el proceso de obtención de variantes están involucradas cuatro etapas (Ver Figura 5).

Figura 5. Ilustración del proceso de obtención de la variante



Fuente: Adaptado de Journal of Intelligent Manufacturing. A methodology of developing product family architecture for mass customization.

- (1) En la fase de especificación del producto, los clientes escogen las opciones disponibles de las características funcionales sujetas a algunas restricciones de selección. El resultado es un conjunto de opciones escogidas por los clientes, que reflejan sus necesidades.
- (2) En la segunda etapa, ya seleccionadas las características funcionales se transforman en la variedad de parámetros del producto final y después se propagan por la jerarquía de la *EPG*. A través de este parámetro de propagación, todos los parámetros de los módulos en la *EPG* obtienen valores específicos.
- (3) La tercera etapa, la creación de una instancia variante, está estrechamente relacionada con la segunda etapa (evaluación de parámetros). Con la *EPG*, de hecho, estos dos procesos se pueden ejecutar de forma automática (ver Du et al., 2000a). El proceso de creación de instancias para obtener la variante de un módulo compuesto puede resumirse de la siguiente manera:

Paso 1. Obtener un valor para cada parámetro de su primitivo de acuerdo con una función de propagación propia.

Paso 2. Comprobar si existe alguna relación estructural variable en el primer nivel de la *EPG*. Si no hay relación estructural variable, vaya al paso 4.

Paso 3. Si hay una relación estructural variable, comprobar uno a uno las condiciones de inclusión asociadas a la relación estructural. Eliminar las relaciones estructurales, junto con los módulos relacionados, si sus condiciones de inclusión no se cumplen.

Paso 4. En el caso en el que un módulo hijo sea un módulo primitivo, seleccione (específica) una variante de sus alternativas, si su condición de inclusión se cumple.

Paso 4'. En el caso en el que un módulo hijo es un módulo compuesto, continúe con el Paso 1.

Al final de esta etapa, se puede obtener una estructura del producto, es decir, una estructura de lista de materiales específicos para el producto específico del cliente. Las variantes primitivas adecuadas para obtener la variedad requerida se muestran adelante.

(4) La cuarta etapa es la de generar el producto de la instancia variante, cuando se trate de la generación de variedad. Métodos de generación de variedades se definen para cada módulo compuesto y se puede modelar en la *EPG* de la siguiente forma:

- a. Adición y Remoción: puede ser representado por una relación variable estructural que es de tipo binario.
- b. Intercambio de módulos primitivos se puede incorporar como alternativas de las condiciones de inclusión. El intercambio de módulos compuestos se asemeja a la variación de instancias.
- c. Ampliación es modelada por la propagación de las funciones de los módulos a escala.

De acuerdo con la estructura del producto, las instancias de la *EPG*, el producto puede ser diseñado a partir de un producto base. Los componentes del producto base se comparan con los componentes del mismo tipo en la estructura del producto instancia. Si un componente en el producto base no es el especificado en la estructura del producto instancia, este componente será modificado de acuerdo a los métodos predefinidos de generación de variedad.

2.2 AFP COMO HERRAMIENTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MASS CUSTOMIZATION

La tendencia actual en las actividades de fabricación es la evolución de un sistema de diseño de nivel a un sistema de diseño multinivel. Las actividades de diseño y fabricación están limitadas por diversos aspectos ocultos, como el diseño y evolución de los costos, los efectos de aprendizaje y las cadenas de suministro en la producción, el inventario de producción y servicios, además de otros aspectos directos.

El punto de vista de variedad de productos, extiende el dominio de óptimalidad a los aspectos ocultos más allá de los aspectos tradicionales (Fujita y Ishii, 1997). El desafío de ingeniería para diseñar productos de forma simultánea múltiples está ganando mucha atención, en la comunidad investigadora en los últimos años. Este nuevo campo de investigación se caracteriza por varios términos: variedad de productos, la familia de productos, plataforma de productos, productos modulares, arquitectura de productos, entre otros.

Entre muchas investigaciones, Fujita et al. están estudiando metodologías de cálculo de optimización para el diseño de diversos productos en arquitectura modular. Después de ajustar la estructura del diseño de la variedad de productos, se organizó como una base para los métodos de diseño computacional (Fujita y Ishii, 1997), desarrollaron una formulación y un procedimiento de optimización basada en los atributos de módulos de una serie de productos (Fujita et al., 1998), y desarrolló un nuevo marco de optimización para módulo de combinación a través de una serie de productos a través de la diversificación de módulos (Fujita et al., 1999). Utilizaron un método de programación enumerativa y sucesiva cuadrática, ya que cada subproblema enumerado se define en el espacio continuo, y se utiliza una técnica de *Simulated Annealing* para el segundo ya que el problema es combinatorio. Y a raíz de estas, Fujita (2000) propuso una clasificación de los problemas de optimización de variedad de productos, e indicó la necesidad y la

dificultad de desarrollar la optimización conjunta de los atributos del módulo y la combinación de módulos.

Además, varios otros enfoques basados en la optimización del diseño multiproducto se han desarrollado. Por ejemplo, Nelson et al. (1999) formuló un problema de diseño de multiproducto con optimización multicriterio, que pueden examinar las ventajas y desventajas en común y el rendimiento individual sin ningún tipo de información de costos. Chidambaram y Agogino (1999) discuten la optimización del diseño para la personalización con énfasis a la estimación precisa de los costos. González-Zugasti y Otto (2000) desarrollaron un modelo matemático para optimizar una familia de productos basada en una plataforma modular.

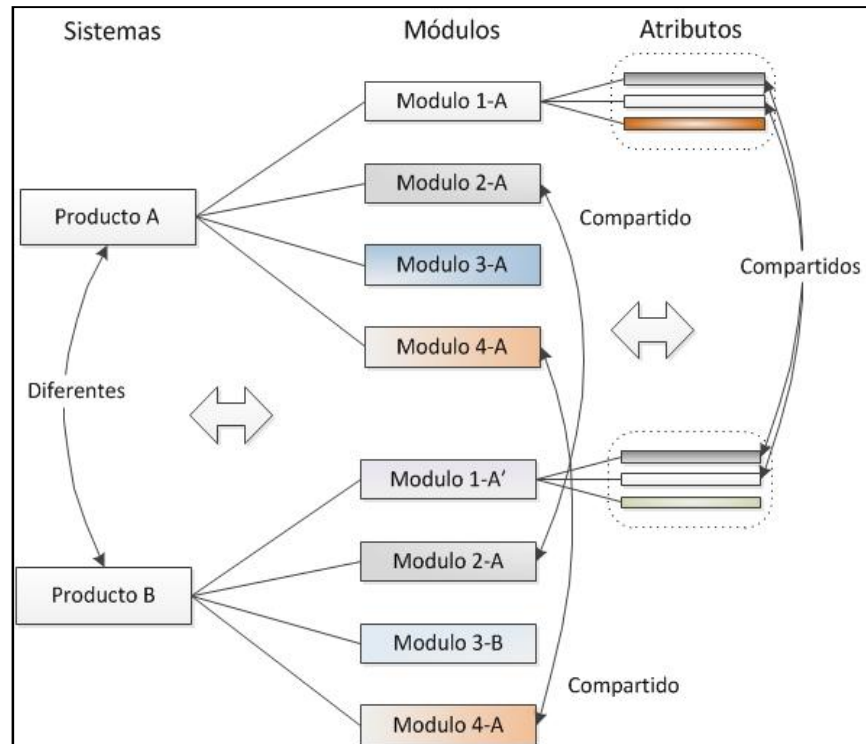
2.3 OPTIMIZACIÓN DE VARIEDADES DE PRODUCTO: OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA COMBINANDO MÓDULOS Y ATRIBUTOS DE LOS MÓDULOS

La selección de una arquitectura de familia de productos encara todos los desafíos presentes en un diseño de productos, al tiempo que añade la complejidad de diseñar múltiples productos en un esfuerzo por maximizar la homogeneidad en el conjunto de los productos sin comprometer indebidamente su desempeño individual y aprovechando al máximo los recursos disponibles en las empresas. La definición de la arquitectura de la familia de productos, es en su mayoría establecida por la experiencia humana, sin embargo, se genera una mejor solución en virtud de la representación en procedimientos matemáticos, pues es posible manipularlos a través de una optimización computacional.

Al ver un producto como un sistema, las relaciones entre el sistema y los subsistemas y entre la entidad y los atributos, son el medio adecuado para la representación general. Dado que estos medios son de forma naturalmente recursivos, cualquier nivel de granularidad presente debe ser introducido para evaluar la posibilidad de diseño. Por lo tanto, las similitudes y diferencias entre los diferentes productos se explican cómo se muestra en la figura. 6. Es decir,

productos diferentes pueden compartir los mismos módulos y módulos diferentes pueden compartir parcialmente algunos atributos. La optimización determina qué parte de esta representación debe ser compartida o diferida sin poner en peligro los méritos y deméritos de optimalidad en la variedad de productos.

Figura 6. Sistemas, Módulos y Atributos



Fuente: Elaboración Propia

Con base en esta situación, el nivel de instancias del modelo, que se define en una estructura (Fujita y Ishii, 1997), se divide en dos subniveles: la *cuantificación de atributos* y la *selección combinada*, donde la primera permite la identificación de los módulos y la segunda desarrolla los productos a través de combinaciones prácticas de los módulos disponibles en un espacio de estos potencialmente viables.

Estos dos subniveles son complementarios y no metódicos en su secuencia. Esto significa que la optimización de la variedad de productos incluye dos

subproblemas: optimización de los atributos del módulo y la optimización de la combinación de módulos.

El primer problema se define en el espacio continuo y el segundo se define en el espacio combinatorio. Esta categorización de problemas de optimización es un punto de vista inicial para el desarrollo general del paradigma de la optimización de la diversificación de productos en cualquier ambiente de manufactura.

Bajo el esquema mostrado en la figura anterior, se define la siguiente notación general, representando la optimización de una arquitectura de familia de productos:

- Productos múltiples, $P^1, P^2, \dots, P^{nP}$, son considerados al mismo tiempo. El número total de productos es nP .
- Cada producto P^i se compone de una serie de módulos. Las ubicaciones de los módulos configuradas en el producto, se denotan $M_1, M_2, \dots, M_{nM}$, respectivamente. El número total posibles ubicaciones de los módulos son nM .
- Un módulo que se instala en una ubicación de módulo M_j del producto P^i se denota como m_j^i ($i = 1, 2, \dots, nP; j = 1, 2, \dots, nM$).
- Cada módulo m_j^i se representa con atributos variables, $x_j^i = [x_{j,1}^i, x_{j,2}^i, \dots, x_{j,nA_j}^i]^T$. El número de atributos variables que representa el módulo en el espacio j -ésimo M_j es $n_{A_j}^A$.
- Bajo x_j^i , cada producto P^i se representa con todo un conjunto de atributos variables $z^i = [x_1^{iT}, x_2^{iT}, \dots, x_{nM}^{iT}]^T$.

El conjunto de variables $[z^{1T}, z^{2T}, \dots, z^{nP_T}]^T$ en la definición anterior son las variables de selección en la optimización de productos diversos.

En la estructura del sistema que se presenta en la figura 6, se evidencian módulos y/o atributos comunes y similares entre los diferentes productos. Se clasifican en la siguiente forma (Fujita et al, 1998.):

- Módulo Independiente: Módulos totalmente diferentes que se localizan en una única ubicación del módulo de diferentes productos. Es decir, conjuntos de atributos se determinan de forma independiente.
- Módulo Similar: módulos parcialmente diferentes y parcialmente comunes se utilizan en diferentes productos. Es decir, un subconjunto de los atributos se ve obligado a ser iguales entre sí, y el otro subconjunto de los atributos se determina de forma independiente para forzar el producto original a otro producto.
- Módulo Común: Un único módulo se utiliza para diferentes productos. Es decir, todos los atributos del módulo son iguales a través de diferentes productos.

Los módulos similares normalmente corresponden al "producto elástico", donde se extiende un módulo a partir de otro módulo, junto con una variable de escala o extensión. Cuando una variable de escala se denota como $x_{j,1}^{i1}$, dentro de x_j^i , se supone que las siguientes restricciones deben ser satisfechas en un módulo similar para una ubicación de módulo M_j de P^{i1} a P^{i2} , es decir, el diseño se transforma desde m_j^{i1} a m_j^{i2} .

$$x_{j,1}^{i2} > x_{j,1}^{i1} \quad (1)$$

$$x_{j,k}^{i2} = x_{j,k}^{i1} \quad (k = 2, 3, \dots, n_j^A) \quad (2)$$

En cuanto al módulo común, cuando dos productos P^{i1} y P^{i2} comparten un único módulo en una ubicación de módulo M_j , las siguientes restricciones deben ser satisfechas.

$$x_{j,k}^{i2} = x_{j,k}^{i1} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n_j^A) \quad (3)$$

2.3.1.1 Sistema de Restricciones

Las variables de cada módulo y cada producto se limitan a las restricciones del sistema. Las respectivas condiciones de los productos deben ser diferentes entre sí. Es decir, las variables z^i deben cumplir las siguientes restricciones en cada producto P^i :

$$z^i \in \text{Factible}(s^i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n_P) \quad (4)$$

Dónde, s^i son las condiciones asignadas para un producto de P^i , y factibles en la región factible en z^i bajo s^i .

2.3.1.2. Formulación del problema de optimización

Como resultado del desarrollo de la ecuación anterior, el problema de optimización de la arquitectura de la familia de productos se formula de la siguiente manera:

- Variables: patrones comunes y de similitud, lo que significa que los módulos se combinan utilizando todas las ubicaciones de módulos, entre los productos variantes. Los atributos variables de todos los productos, z^i ($i = 1, 2, \dots, n_P$).
- Restricciones: Sistema de restricciones para los productos respectivos se define con la ecuación (4). Restricciones entre los atributos variables se definen con las ecuaciones. (1), (2) y (3) determinando los patrones de módulos comunes y de similaridad.
- Función Objetivo: La utilidad final esperada de un fabricante a través de todas las unidades de producción $CB(T_P)$.

Este problema de optimización es un problema entero mixto no lineal de optimización restringida, el patrón común y la similitud podrían ser representados con un conjunto de variables de tipo entero. Por lo menos, incluye características combinatorias y no linealidad en subespacios continuos.

Sin embargo, el modelo matemático es una propuesta que debe ser adaptado a las condiciones operacionales de la empresa, es decir, incluir restricciones de capacidad, inventarios y disponibilidad de materiales.

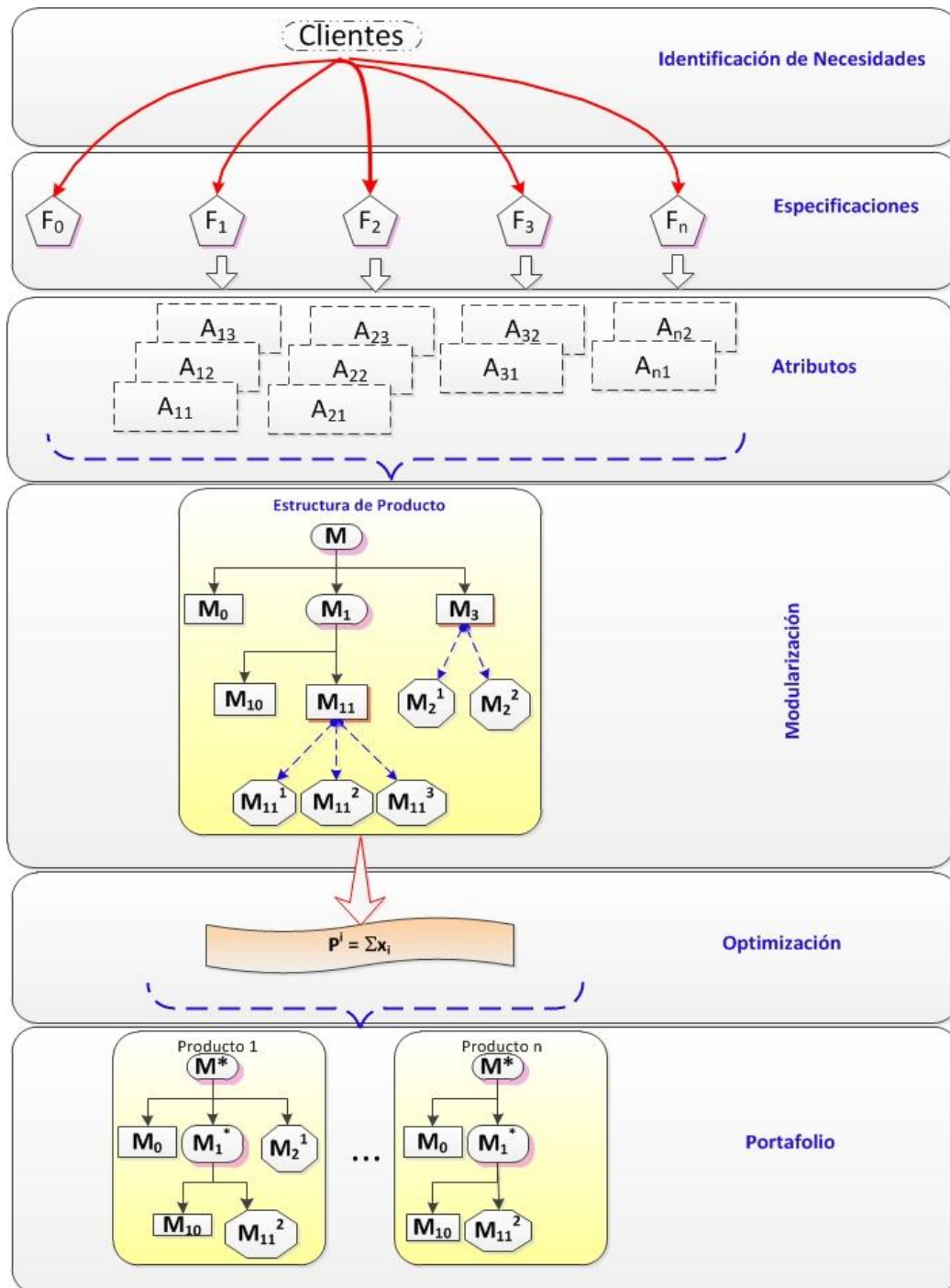
2.4 IDENTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AFP EN AMBIENTES *MAKE TO ORDER*

En ambientes de producción de tipo *make to order*, no se producen dos productos iguales, pueden llegar a ser similares en algunas especificaciones, sin embargo, al final son productos diferentes, pues el objetivo de la manufactura de este tipo de productos es la de satisfacer las necesidades directas de los clientes. Esto se traduce en altos costos y tiempos de espera, por el diseño, construcción y selección de materiales adecuados.

La metodología planteada (Figura 7), transforma un conjunto de necesidades de los clientes en especificaciones de producción, conformando la variedad de productos, los cuales a través de un modelo matemático, ajustado a cada caso en particular, determina las mejores opciones de productos para satisfacer los requerimientos establecidos. Dentro de las necesidades de los clientes se pueden encontrar dos niveles:

- Limitación presupuestal: los clientes adicionalmente a las especificaciones del producto final, presentan la restricción de cuanto desean invertir en el producto. Para este nivel la metodología plantea proponer un portafolio de productos ajustado de acuerdo al presupuesto del consumidor, que es posible realizarlo incluyendo una variable adicional en el modelo matemático.
- Definición de cantidades: cuando se aglomeran las necesidades de varios clientes de productos de la misma familia, es necesario identificar las especificaciones de cada uno y por medio de la metodología establecer el portafolio de productos que cumplen con los requerimientos establecidos.

Figura 7. Metodología AFP para manufactura make to order.



Fuente: Elaboración Propia

3. CASO ESTUDIO

El éxito de la AFP se basa en poder estructurar el sistema de una organización de tal forma que los clientes tengan a su disposición suficientes alternativas de selección, de esta manera, se les permitirá tomar la decisión acertada de acuerdo a sus necesidades particulares. Por tal razón, el presente capítulo ilustra cual es el alcance de esta metodología, asociada a la optimización de un portafolio de productos según los parámetros de entrada identificados desde el punto de vista de ventase ingeniería. Cabe destacar, que la efectividad de AFP no se debe únicamente a su implementación, pues todas las organizaciones al igual que los individuos poseen características particulares que las hacen únicas. En consecuencia, es indispensable realizar un diagnóstico inicial que permita identificar elementos estructurales y funcionales con el objeto de diseñar la AFP para cada caso en particular, de tal forma que se pueda ser lo suficientemente competitivo en un mundo globalizado como el de hoy.

3.1 MARCO DE REFERENCIA

Es claro que todas las personas que se encuentran en la búsqueda de un producto o servicio tienen como objetivo cubrir una necesidad en particular, por tal razón, para que las organizaciones tengan éxito deben desarrollar estrategias que integren a sus clientes en el diseño de los productos, por ello, la AFP parte de una composición estructural básica que a la vista de cualquier cliente puede ser identificada, es decir, que este reconoce cuales son las partes o módulos principales del producto. En consecuencia, y para la aplicación práctica de la metodología se procedió con la identificación de un sector de manufactura bajo ambiente de producción MTO, en este caso Carpintería y de una empresa dentro de dicho sector denominada Maderarte Arquitectura en Madera SAS.

3.1.1 Antecedentes de la Carpintería

La carpintería ha desarrollado su trayectoria a lo largo de todos estos siglos, a través de artesanos que adquirieron diversas técnicas que con el pasar de los años se han perfeccionado, razón por la cual hoy en día se constituye como una verdadera profesión. Se llama carpintería no sólo al oficio sino también al taller o lugar donde se ejecutan las actividades relacionadas con la transformación y procesamiento de todos los productos derivados de la madera. A partir de este oficio, se han producido a modo de especializaciones distintos tipos de carpintería. Existe la Carpintería Industrial tratándose esta de carácter puntualmente técnico, dedicada a emprendimientos industriales en fabricas que implican la conformación adecuada desde el punto de vista físico-mecánico. También, una Carpintería de Tipo Decorativa, especialmente dedica al diseño de muebles y accesorios en madera denominados Mobiliario; se basa en características funcionales y técnicas de construcción de tipo artesanal. Por último, Carpintería de la Construcción, la cual se especializa en el diseño y construcción de carpintería de obra, enfocada en la producción de elementos estructurales indispensables para amoblar unidades de vivienda, se caracteriza por proveer productos personalizados de carácter local según el tipo de proyecto.

3.1.2 Maderarte Arquitectura en Madera SAS

La condición actual de la empresa Maderarte, es consecuencia del arduo trabajo realizado durante varios años por el señor Luis Alberto Giraldo, quien inicia con un pequeño taller denominado Carpintería Lucho; el cual al observar que sus posibilidades de crecimiento en el mercado mejoraban decide arrendar las instalaciones de capacitación para carpintería de la institución educativa Industrial "Luis Madina". Para aquel período, la empresa contaba con cinco (5) personas en capital humano y la infraestructura para la ejecución de las actividades era alquilada. Fue así como en Julio de 2003 en la ciudad de Cali, se constituye la figura de Maderarte Diseño y Arquitectura en Madera razón social impulsada desde la perspectiva comercial. Siete (7) años después de haber estructurado

estrategias organizacionales para mejorar las instalaciones, adquirir maquinaria propia, conseguir nuevos proveedores, inyectar capital humano más calificado y fidelizar a sus clientes nace Maderarte Arquitectura en Madera SAS, sociedad conformada entre la esposa e hijos del señor Giraldo quienes se han convertido en pilar fundamental para la consecución de los objetivos. Actualmente la empresa cuenta con treinta (30) personas en diferentes áreas, más de 1.800 mts² en planta y alrededor de quince (15) obras en las cuales ha desarrollado productos gran calidad. La actividad principal hoy en día está basada en satisfacer las necesidades de los clientes (Constructoras, Empresas, Hogares) a través de productos tales como: Cocinas Integrales, Closet, Vestier, Marcos, Puertas, etc. que dan confort y bienestar a los usuarios.

3.2 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

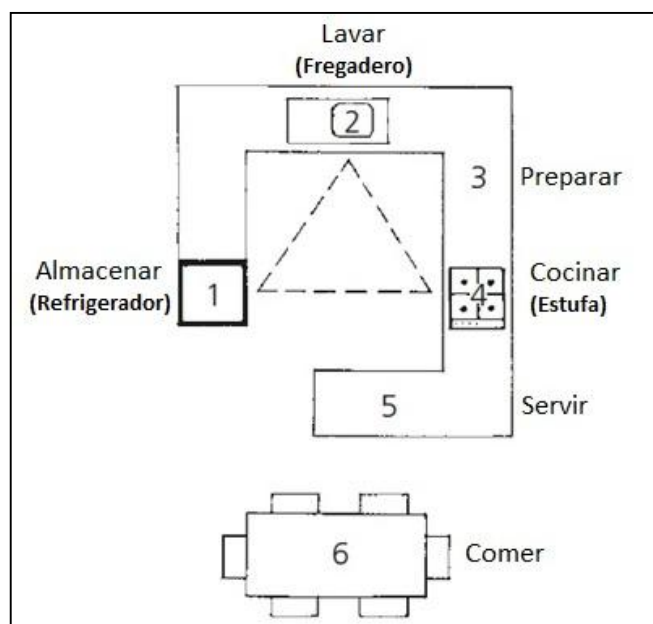
Para la definición de parámetros se contó con la asesoría de expertos de la empresa en mención, en ella se identificó el producto Cocinas Integrales (de ahora en adelante CI) para el desarrollo del caso de estudio. A continuación se destaca el desempeño de la metodología propuesta en capítulos anteriores con un caso práctico diseñado a partir de la información disponible y adquirida de un producto que es altamente personalizado; lo que busca representar una situación real y poner a prueba la aplicabilidad de la AFP.

En esta etapa, se procedió a identificar desde el punto de vista de diseño cuales eran los componentes básicos de las CI con el objeto de definirlos parámetros de entrada para la adaptación de la AFP, sin embargo, se identificó que las características presentadas por diseño no eran exactas y estas no definían un estándar básico de construcción para el producto, es decir, se presentaba una personalización pura sin una base técnica. Los argumentos eran claros "a cada cliente se le definen sus propias especificaciones". Para dar solución a este inconveniente, se conformó un equipo de trabajo con el fin de identificar las partes

fundamentales que toda CI debe contener basándose en normas técnicas internacionales. Tras un proceso de documentación y estudio se identificaron los siguientes criterios:

- a. Secuencia de trabajo: Esta describe el orden de las actividades que comúnmente son realizadas dentro de una CI teniendo en cuenta la relación que existe entre tres aparatos principales (Refrigerador, Fregadero, Estufa). Sin embargo, al no ser tenidas en cuenta en el área de diseño, estas pueden causar múltiples cruces a la hora de cocinar. Para dar solución a lo anterior se identificó un criterio definido como El Triángulo de Trabajo, el cual como se muestra en la Figura 8 representa la secuencia adecuada de circulación para minimizar el cruce entre actividades.

Figura 8. El triángulo de trabajo

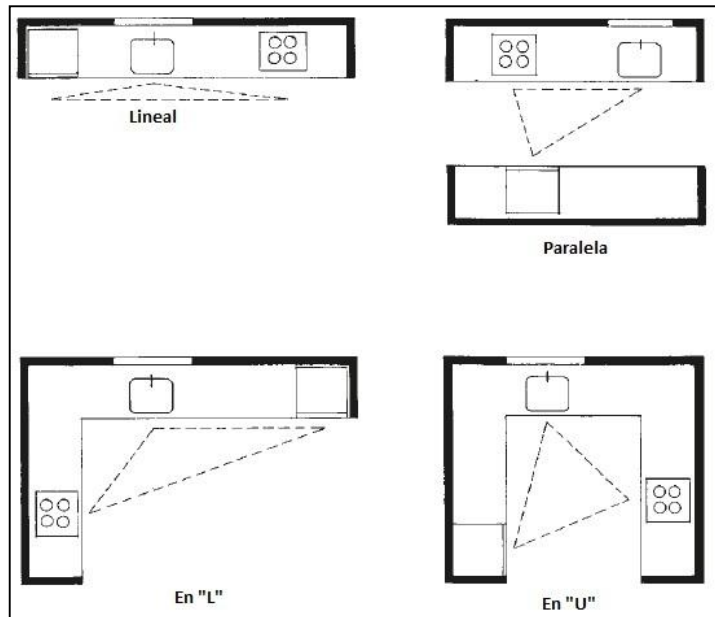


Fuente: Architect's Pocket Book of Kitchen Design

- b. Distribución de las Áreas de Trabajo: En todo proyecto de construcción se presentan gran variedad de diseños y estilos de acuerdo con el estrato social, por tal razón, se debe tener en cuenta que las especificaciones

cambian para cada propósito en particular. Por lo anterior, se identificaron cuatro (4) distribuciones lógicas desde el punto de vista funcional y técnico ligadas a la arquitectura ya la ingeniería civil, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Distribuciones lógicas de una cocina integral



Fuente: Architect's Pocket Book of Kitchen Design

Como se observa, estos diagramas caracterizan las posibles alternativas de CI lo cual contribuye la estandarización de distribuciones en términos técnicos.

- c. Optimización del Área de Trabajo: Hasta este punto se analizó como minimizar el cruce entre actividades al igual que las convenciones estándar de distribución. Sin embargo, la variedad entre las dimensiones de cada espacio adoptadas por los proyectos, sugieren que esta acotación no es suficiente para determinar unos componentes genéricos. Por tal razón, se

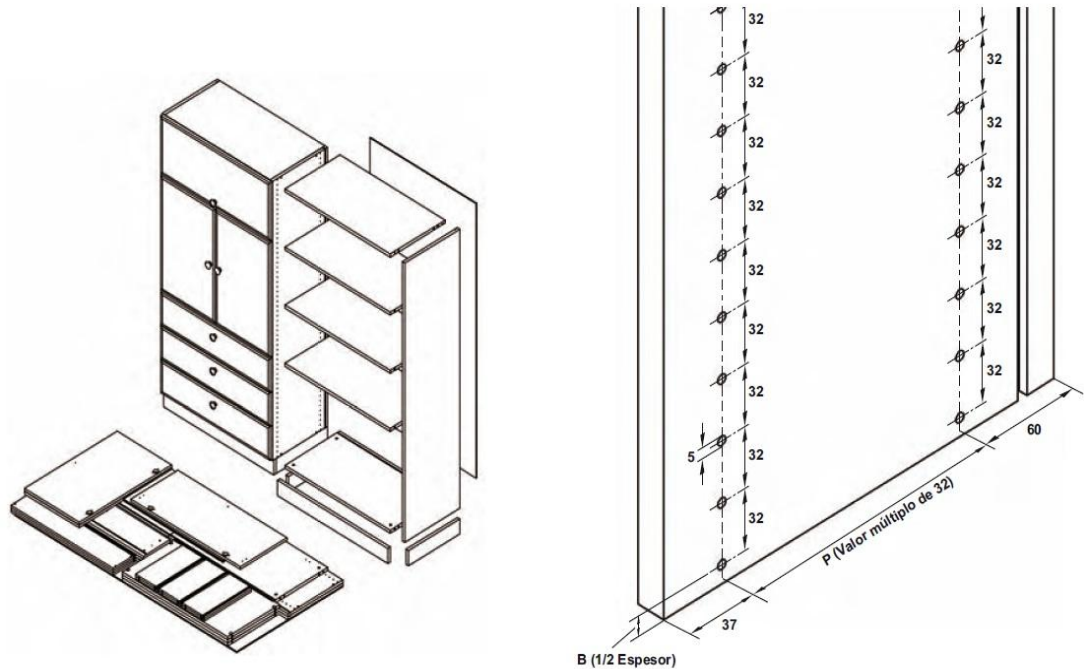
procedió a investigar cuales eran los criterios de fabricación estándar a nivel internacional.

A través de la Asociación de Fabricantes de Gabinetes para Cocina KCMA en los Estados Unidos, se identificaron las empresas más grandes del mundo en este gremio. A continuación, se procedió a estudiar todos los factores técnicos y sistemas de medición con el objeto de adaptar dicha estandarización a nivel local. Como resultado de este proceso se adoptaron los siguientes criterios:

- Estándar del Material: El calibre del tablero para construcción de Módulos se definió en 15 MM. Cabe destacar que este puede variar en términos de su composición, diseño, color, entre otros atributos.
- Estándar de Modulación: Los módulos se definieron como múltiplos de 75 MM. En Estados Unidos al igual que en los países desarrollados emplean una modulación de 150 MM, esto se debe a que los estándares de construcción son una norma inquebrantable, sin embargo y dado nuestro caso, se identificó que nuestro país no cuenta actualmente con la cultura y la suficiente tecnología para mantener dichos estándar; por ello se especificó un múltiplo más flexible. El estándar de profundidad está determinado por el sistema Europeo (300 - 600 MM para Gabinetes y Bases respectivamente)
- Estándar de Construcción y Configuraciones de perforación: Se adoptó el sistema universal 32 MM (Ver Figura 10). Este sistema normalizado utiliza perforaciones espaciadas en incrementos de 32 MM para el ensamble de módulos y montaje de herrajes como Bisagras, Rieles, Manijas, etc. Además, de ser el resultado de la utilización de Centros de Mecanizado CNC. Bajo este sistema, se

crea una cultura al interior de la organización pues el montaje de los componentes de cada modulo o producto se hace estándar al mantener una norma de las unidades métricas.

Figura 10. Estándar de Construcción y Configuraciones de perforación



Fuente: *A Curriculum for Teaching 32mm Cabinet Construction*

3.3 CONSTRUCCIÓN DE BASE COMÚN

Al identificar las partes fundamentales que componen una CI, se define la modulación estándar (Profundidad-Ancho-Alto) inicial de acuerdo con los criterios anteriormente establecidos. En consecuencia, se conformó una estructura básica para permitir al cliente la personalización de su producto tanto en módulos como en atributos particulares (Ver Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Alternativas de selección - Módulos

Alternativas de Selección			Alternativas de Selección		
Módulos			Módulos		
Gabinetes	Convencionales	M-300-300-750	Gabinetes	Microondas	M-300-525-750
		M-300-300-900			M-300-750-675
		M-300-375-750			M-300-750-750
		M-300-375-825			M-300-900-675
		M-300-450-600			M-300-900-750
		M-300-450-675		Sobregriño	M-300-600-600
		M-300-450-750			M-300-600-675
		M-300-525-750			M-300-600-750
		M-300-525-825			M-300-750-600
		M-300-600-825			M-300-750-675
		M-300-600-900		Diagonales	M-300-750-600
		M-300-750-300			M-300-750-675
		M-300-750-450			M-300-900-600
		M-300-750-900			M-300-900-675
		M-300-900-300	Bases	Fregadero	M-580-782,5-750
		M-300-900-450			M-580-782,5-825
	Refrigerador	M-300-900-600		Cajones	M-580-782,5-450
		M-300-900-750			M-580-782,5-525
		M-600-300-750		Diagonal	M-580-782,5-1050
		M-600-300-900			M-580-782,5-1125
		M-600-375-750		Coción	M-580-782,5-600
		M-600-375-900			M-580-782,5-675
		M-600-450-750		Residuos	M-580-782,5-300
		M-600-450-900			M-580-782,5-375
		M-600-525-750		Convencional	M-580-782,5-225
		M-600-525-900			M-580-782,5-900
		M-600-600-750			M-580-782,5-975
		M-600-600-900			

Fuente: Elaboración Propia

Estos Módulos y Atributos son el resultado de identificar las principales preferencias de los clientes conforme a las tendencias del mercado. Cabe destacar que para llegar a esta resultado se realizó un filtro entre más de 180 módulos y 350 atributos disponibles como opciones de selección.

Para este nivel de estructuración, las alternativas presentadas al cliente permiten conformar un conjunto de opciones direccionadas a lo que la organización puede ofrecer en términos de su capacidad.

Tabla 3. Alternativas de selección - Atributos

Alternativas de Selección	Alternativas de Selección
Atributos	Atributos
Tablero Mdpkor 15 mm	Manija Recta Tipo Acer. 192 mm
Tablero Madecor 15 mm	Manija Recta Tipo Acer. 256 mm
Tablero Supercor 15 mm	Manija Cuadrad. Satín 96 mm
Tablero Triplex 15 mm	Manija Cuadrad. Satín 128 mm
Tablero Mdpkor 4 mm	Manija Cuadrad. Satín 192 mm
Tablero Madecor 4 mm	Manija Cuadrad. Satín 256 mm
Tablero Triplex 4 mm	Manija Arco Econom. 96 mm
Tablero Supercor 4 mm	Manija Arco Econom. 128 mm
Δ Tablero Madera	Manija Arco Alum. 160 mm
Δ Tablero Rh	Manija Arco Alum. 190 mm
Canto Plano 19 X 0,45 mm	Manija Arco Alum. 224 mm
Canto Rígido 19 X 2 mm	Bumpons 12 X 3,5 mm
Canto Alum. 19 mm	Bumpons 6,4 X 1,6 mm
Tapa Torn. Plástico Rust.	Mat. De Pintura Acabado: Tipo A
Tapa Torn. Plástico Fino.	Mat. De Pintura Acabado: Tipo B
Riel Simple B-N De 50 cm	Mat. De Pintura Acabado: Tipo C
Riel Zinc. Extensión Liviano De 50 cm	Torn. Drywall 2"
Riel Zinc. Extensión Pesado De 50 cm	Torn. Drywall 1" 1/4
Riel Negro Extensión De 50 cm	Torn. Manija T.Arandela 1" 1/2
Bis. Parche 35 mm Nacional	Torn. Manija T.Arandela 3/4"
Bis. Parche 35 mm Importada	Torn. Lamina 1/2 "
Bis. Parche 35 mm Cierre Automat.	Puntilla Con Cabeza De 1"
Bis. Parche 35 mm Hidráulica	M.O.D Diseño
Soporte Plástico Colores 1/4"	M.O.D Fabricación
Soporte Plástico Transp. 1/4"	M.O.D Pintura
Soporte Niquel Sencillo 1/4"	M.O.D Pre-Detallado
Soporte Buje M-H 1/4"	M.O.D Embalaje
Manija Recta Tipo Acer. 96 mm	M.O.D Ensamble-Instalación
Manija Recta Tipo Acer. 128 mm	M.O.D Detallado

Fuente: Elaboración Propia

3.4 ESTRUCTURACIÓN DE LA FAMILIA DE PRODUCTOS

A simple vista el caso estudio representa un producto relativamente sencillo, sin embargo, este se encuentra compuesto por diferentes módulos que a su vez

constituyen la agregación de múltiples piezas individuales con elementos de sujeción. Una CI típica consiste en dos grupos particulares llamados *Gabinets de Pared* y *Gabinets de Piso*. Los Gabinetes de Pared están compuestos por cinco (5) módulos a saber - Convencionales, Refrigerador, Microondas, Sobregrifo y Diagonales; a su vez, los Gabinetes de Piso están conformados por cinco (5) módulos – Convencional, Fregadero, Cajones, Cocción y Residuos respectivamente. Los clientes tienen la posibilidad de escoger cuales de estas opciones son las que cumplen con sus necesidades a la vez que definen sus preferencias en términos de Distribución, Almacenamiento, Tamaño Físico de la Cocina, Ergonomía, etc.

3.4.1 Vistas Múltiples

La arquitectura de familia de producto para la CI se describe en la Tabla 4. Desde el punto de vista de las ventas, las variables de esta familia coinciden en que todas deben garantizar la Calidad, Durabilidad y Garantía como características comunes e implícitas dentro del producto. Además se establece una variedad en diferentes combinaciones de opciones de F_4 a F_{10} , en las cuales se evalúan características opcionales como distribución *Lineal*, *Paralela*, “*L*”, “*U*”, estatura cocinero *Alto ó Promedio*, importancia en la ergonomía *Si ó No*, entre otros.

Los Gabinetes de Pared y Piso Convencionales, Refrigerador, Microondas, Sobregrifo, Diagonales, Fregadero, Cajones, Cocción y Residuos respectivamente, representan módulos distintivos que permitirán al cliente identificarse con sus necesidades. Las variantes asociadas, las condiciones de Inclusión y los métodos de generación de variedad son listados en la Tabla 5.

La variedad de aplicación en “*L*” o “*U*” es incorporada como una relación estructural distintiva entre gabinetes diagonales y gabinetes de pared, al igual que base diagonal y gabinetes de piso.

Tabla 4. Arquitectura de familia de producto para la CI

Elemento AFP	Característica Funcional	Opciones
Base Común - Características Comunes	F ₁ : Calidad	Opción ₁ : Si
	F ₂ : Durabilidad	Opción ₂ : Si
	F ₃ : Garantía	Opción ₃ : Si
Facilitador de Diferenciación - Características Opcionales	F ₄ : Distribución	Opción ₄ ∈ { Lineal, Paralela, L, U }
	F ₅ : Estatura Cocinero	Opción ₅ ∈ { Alto, Promedio }
	F ₆ : Almacenamiento	Opción ₆ ∈ { Máximo, Normal }
	F ₇ : Tamaño Cocina	Opción ₇ ∈ { Grande, Pequeña }
	F ₈ : Electrodoméstico	Opción ₈ ∈ { Multiple, Convencional }
	F ₉ : Grupo Familiar	Opción ₈ ∈ { Grande, Pequeño }
	F ₁₀ : Ergonomía	Opción ₉ ∈ { Si, No }
Mecanismo de Configuración - Restriciones de Selección	Si EstaturaCocinero=Promedio, entonces Almacenamiento=Normal	
	Si Almacenamiento=Máximo, entonces Distribución=Paralela, L, U	
	Si Tamaño Cocina=Grande, entonces Grupo Familiar=Grande	
	Si Almacenamiento=Máximo, entonces Ergonomía=Si	
	Si Estatura Cocinero=Promedio, entonces Electrodoméstico=Convencional	

Fuente: Elaboración Propia

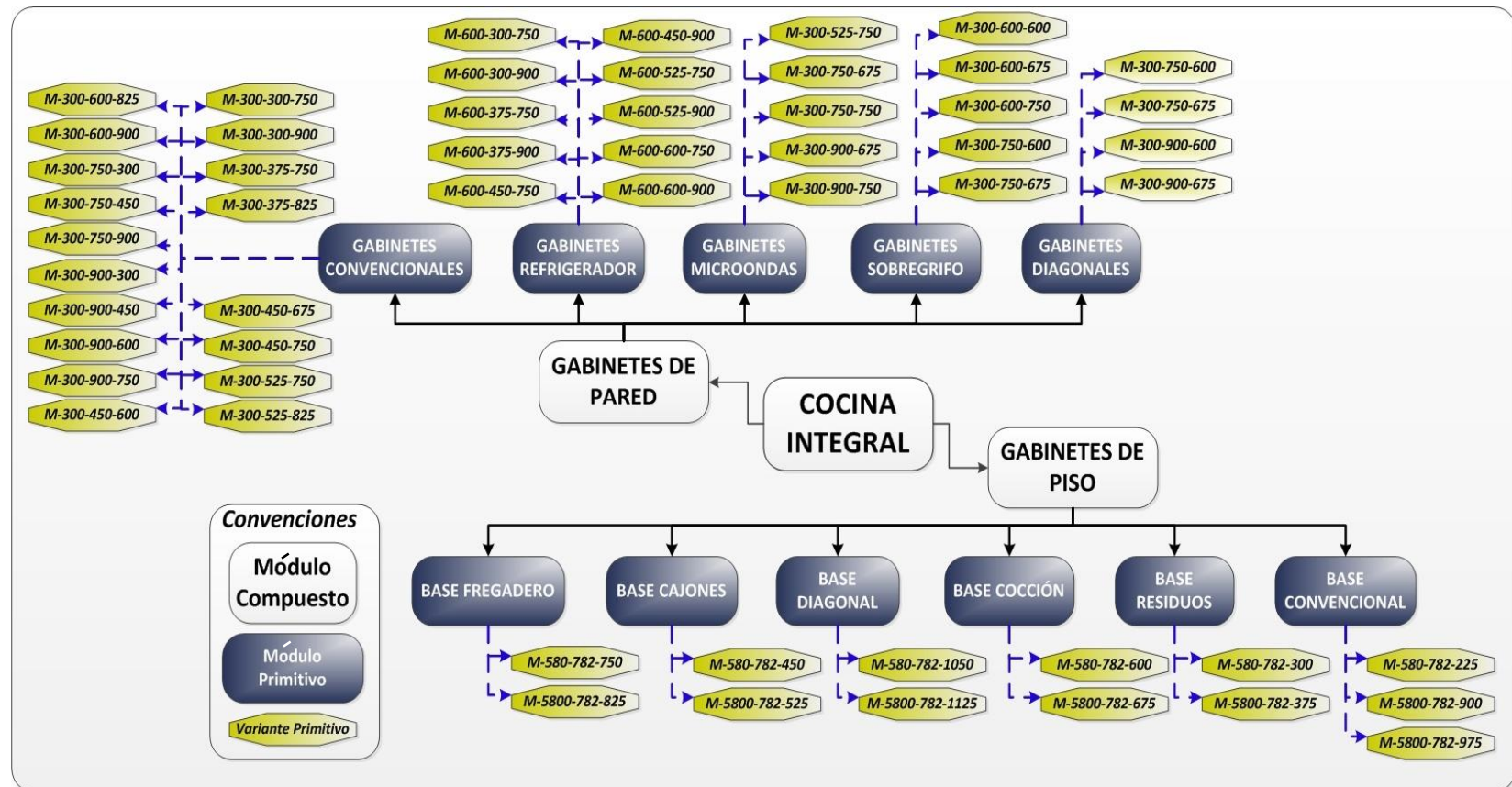
3.4.2 Estructura del Producto Genérico

Como se muestra en la Figura 11, la *EPG* representa la familia de productos de las CI la cual constituye una estructura de datos genérica. Por razones prácticas, se representaron solo las variantes primitivas de los módulos distintivos esto con el objeto de simplificar el caso de estudio. Las relaciones estructurales distintivas se asocian única y exclusivamente con la utilización de los variantes diagonales para gabinetes de pared y piso respectivamente.

3.5 OPTIMIZACIÓN

Bajo las condiciones definidas en la *EPG* en el aparte anterior, se adapta el modelo presentado en el punto 2.3.1, permitiendo definir un modelo para desarrollar en dos fases. En la primera se determina la configuración de los módulos, definiendo la estructura física de la CI, para ello se utilizó AMPL Studio

Figura 11. Estructura Genérica de la CI



Fuente: Elaboración Propia

Versión 1.6.J. En la segunda fase se usa una metaheurística para presentar un portafolio de atributos variables de materiales en los módulos, con el objetivo de generar una reducción en los costos.

Tabla 5. Variantes asociadas, condiciones de inclusión y métodos de generación de variedad

Falicitador de Diferenciación		Parametros de Variedad	Variante	Condiciones de Inclusión	Generación de Variedad	
Módulos Distintivos	Gabinete	Convencional	Estatura	M-300-300-750	Estatura Cocinero=Alto	Intercambiar
			Estatura	M-300-300-900	Estatura Cocinero=Alto	Intercambiar
			Almacenamiento	M-300-375-750	Almacenamiento=Normal	Intercambiar
			Estatura	M-300-375-825	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar
			Almacenamiento	M-300-450-675	Almacenamiento=Normal	Intercambiar
			Distribución	M-300-450-750	Distribución=Lineal	Intercambiar
			Distribución	M-300-525-750	Distribución=U	Intercambiar
			Estatura	M-300-525-825	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar
			Almacenamiento	M-300-600-825	Almacenamiento=Máximo	Escalar
			Estatura	M-300-600-900	Estatura Cocinero=Promedio	Escalar
			Distribución	M-300-750-300	Distribución=Lineal,Paralela	Intercambiar
			Estatura	M-300-750-450	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar
			Estatura	M-300-750-900	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar
			Ergonomía	M-300-900-300	Ergonomía=Si	Intercambiar
			Ergonomía	M-300-900-450	Ergonomía=Si	Intercambiar
			Almacenamiento	M-300-900-600	Almacenamiento=Máximo	Intercambiar
			Almacenamiento	M-300-900-750	Almacenamiento=Máximo	Intercambiar
			Almacenamiento	M-300-450-600	Almacenamiento=Máximo	Intercambiar
		Refrigerador	Tamaño Cocina	M-600-300-750	Tamaño Cocina=Pequeño	Intercambiar
			Electrodoméstico	M-600-300-900	Electrodoméstico=Multiple	Intercambiar
			Tamaño Cocina	M-600-375-750	Tamaño Cocina=Pequeño	Intercambiar
			Electrodoméstico	M-600-375-900	Electrodoméstico=Multiple	Intercambiar
			Tamaño Cocina	M-600-450-750	Tamaño Cocina=Pequeño	Intercambiar
			Electrodoméstico	M-600-450-900	Electrodoméstico=Multiple	Intercambiar
			Tamaño Cocina	M-600-525-750	Tamaño Cocina=Pequeño	Intercambiar
			Electrodoméstico	M-600-525-900	Electrodoméstico=Multiple	Intercambiar
		Microondas	Tamaño Cocina	M-600-600-750	Tamaño Cocina=Grande	Intercambiar
			Electrodoméstico	M-600-600-900	Electrodoméstico=Multiple	Intercambiar
			Estatura	M-300-525-750	Estatura Cocinero=Alto	Intercambiar
			Electrodoméstico	M-300-750-675	Electrodoméstico=Convencional	Intercambiar
			Electrodoméstico	M-300-750-750	Electrodoméstico=Multiple	Intercambiar
		Sobregriño	Estatura	M-300-900-675	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar
			Estatura	M-300-900-750	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar
			Grupo Familiar	M-300-600-600	Grupo Familiar=Pequeño	Intercambiar
			Ergonomía	M-300-600-675	Ergonomía=No	Intercambiar
			Estatura	M-300-600-750	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar
Base	Convencional	Grupo Familiar	M-300-750-600	Grupo Familiar=Grande	Intercambiar	
		Ergonomía	M-300-750-675	Ergonomía=Si	Intercambiar	
		Estatura	M-300-750-675	Estatura Cocinero=Promedio	Intercambiar	
		Distribución	M-580-782,5-225	Distribución=Lineal,Paralela,L,U	Escalar	
		Distribución	M-580-782,5-900	Distribución=Lineal,Paralela,L,U	Escalar	
	Fregadero	Tamaño Cocina	M-580-782,5-975	Tamaño Cocina=Grande	Intercambiar	
		Distribución	M-580-782,5-750	Distribución=Lineal,Paralela,L,U	Intercambiar	
	Cajones	Distribución	M-580-782,5-825	Distribución=Lineal,Paralela,L,U	Intercambiar	
		Ergonomía	M-580-782,5-450	Ergonomía=Si	Intercambiar	
	Cocción	Ergonomía	M-580-782,5-525	Ergonomía=Si	Intercambiar	
		Distribución	M-580-782,5-600	Distribución=Lineal,Paralela,L,U	Intercambiar	
	Residuos	Electrodoméstico	M-580-782,5-675	Electrodoméstico=Multiple	Intercambiar	
		Tamaño Cocina	M-580-782,5-300	Tamaño Cocina=Pequeño	Intercambiar	
		Tamaño Cocina	M-580-782,5-375	Tamaño Cocina=Grande	Intercambiar	
Relación Estructural Distintiva	Gabinete	SR Diagonal	Nulo	M-300-750-600	Distibución= L ó U	Adjuntar
			Nulo	M-300-750-675	Distibución= L ó U	Adjuntar
			Nulo	M-300-900-600	Distibución= L ó U	Adjuntar
			Nulo	M-300-900-675	Distibución= L ó U	Adjuntar
	Base	SR Diagonal	Nulo	M-580-782,5-1050	Distibución= L ó U	Adjuntar
			Nulo	M-580-782,5-1125	Distibución= L ó U	Adjuntar

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1 Selección de Heurística

En la segunda fase se presenta un modelo cuadrático, constituido a través del cruce de los atributos con los módulos. Este tipo de modelos registran más de una sola solución que cumple con las restricciones establecidas, por ello es necesario la implementación de las metaheurísticas, permitiendo seleccionar el estado óptimo del conjunto de soluciones.

Para búsquedas en espacios de soluciones completas, donde se parte de una solución inicial, se han desarrollado dos tipos de heurísticas, de Búsqueda Local y Evolutivos. Los de búsqueda, parten de una solución y dentro de sus “vecinos” por medio de reglas establecidas, seleccionan al mejor si cumple los criterios de aceptación. Los evolutivos, someten a un conjunto de soluciones a un proceso de evolución simulada, donde siguiendo diferentes caminos logra llegar a la solución óptima.

Para el caso del modelo planteado es necesario un algoritmo donde sea irrelevante el camino, solo es necesario cumplir el objetivo planteado. Para este caso los algoritmos de búsqueda local son los indicados. Los metaheurísticos de búsqueda local son principalmente para resolver problemas de optimización puros, en los que no existe un estado objetivo, sino que se trata de encontrar el mejor estado según una función objetivo.

Adicionalmente dentro de las ventajas de este tipo de algoritmos usan menos memoria ya que no necesitan mantener los caminos hasta la solución, en su mayoría encuentran soluciones razonables en espacios soluciones muy grandes en los que los algoritmos sistemáticos son inadecuados. Dentro de estas metaheurísticas se encuentran principalmente Haz Local (Beam Search), Temple Simulado (Simulated Annealing), Escalada (Hill – Climbing) y Búsqueda Tabú (Tabu Search).

Dentro de las técnicas mencionadas, Haz Local y la Escalada caen fácilmente en óptimos locales, el temple simulado es usado principalmente en problemas de distribución VLSI y de optimización a gran escala, requiriendo mayor consumo de memoria y la búsqueda tabú registra complicaciones si la función objetivo no se encuentra bien definida. De acuerdo a lo anterior, se decidió usar la búsqueda tabú por su sencilla implementación y amplia aplicación.

Para ejemplificar el uso de la metodología con las Cocinas Integrales, se presentan los parámetros de 3 tipos de productos en la Tabla 6:

Tabla 6. Parámetros

Parámetros de Ingreso		Producto 1	Producto 2	Producto 3
Parámetros de Ingreso	Distribución	L	Lineal	U
	Altur.Cocinero	Alto	Promedio	Alto
	Almacenamiento	Normal	Máximo	Máximo
	Tamaño Cocina	Pequeña	Grande	Grande
	Electrodoméstico	Convencional	Multiple	Multiple
	Grupo Familiar	Pequeño	Pequeño	Grande
Parámetros Medidas	Ergonomía	Si	No	Si
	Medida 1 (cm)	300	420	420
	Medida 2 (cm)	150	0	200
	Medida 3 (cm)	0	0	250

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Fase 1: Optimización de Módulos

En esta fase se define la configuración de los módulos, de acuerdo con las dimensiones que se establecieron en los parámetros de ingreso, por lo tanto la función objetivo minimiza la diferencia entre los módulos asignados a los módulos compuestos Gabinetes de Piso y de Pared y sus respectivas dimensiones (Ver ecuación 3.1)

$$F.O. \min Dif = YS + YI \quad (3.1)$$

En cuanto a las restricciones, están asociadas a las características funcionales, es decir cada módulo compuesto se configura de acuerdo con las condiciones de inclusión que presenta cada una de las variantes primitivas, para ello se han

establecido subgrupos directamente relacionados con las características funcionales como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Condiciones de inclusión

Condiciones de Inclusión	Módulo	Condiciones de Inclusión	Módulo
Almacenamiento =Máximo (3.5)	M-300-600-825	Ergonomía= No (3.5)	M-300-600-675
	M-300-900-600	Ergonomía =Si (3.5)	M-300-900-300
	M-300-900-750		M-300-900-450
	M-300-450-600		M-300-750-675
Almacenamiento =Normal (3.5)	M-300-375-750		M-580-782,5-450
	M-300-450-675		M-580-782,5-525
Distribución= L ó U (3.4)	M-300-750-600	Estatura Cocinero =Alto (3.5)	M-300-300-750
	M-300-750-675		M-300-300-900
	M-300-900-600		M-300-525-750
	M-300-900-675	Estatura Cocinero =Promedio (3.5)	M-300-375-825
	M-580-782,5-1050		M-300-525-825
Distribución=Linea l (3.4)	M-580-782,5-1125		M-300-600-900
	M-300-450-750		M-300-750-450
Distribución=Linea l,Paralela (3.4)	M-300-750-300		M-300-750-900
Distribución=Linea l,Paralela,L,U (3.4)	M-580-782,5-225		M-300-900-675
	M-580-782,5-900		M-300-900-750
	M-580-782,5-750		M-300-600-750
	M-580-782,5-825	Grupo Familiar =Grande (3.5)	M-300-750-600
Distribución =U (3.4)	M-580-782,5-600	Grupo Familiar =Pequeño (3.5)	M-300-600-600
	M-300-525-750	Tamaño Cocina =Grande (3.5)	M-600-600-750
Electrodoméstico =Convencional (3.5)	M-300-750-675		M-580-782,5-975
Electrodoméstico= Multiple (3.5)	M-600-300-900		M-580-782,5-375
	M-600-375-900	Tamaño Cocina =Pequeño (3.5)	M-600-300-750
	M-600-450-900		M-600-375-750
	M-600-525-900		M-600-450-750
	M-600-600-900		M-600-525-750
	M-300-750-750		M-580-782,5-300
	M-580-782,5-675		

Fuente: Elaboración Propia

Después de conformados los grupos de acuerdo con las condiciones de inclusión, se define:

Índices:

- i : el índice que identifica los módulos variantes primitivos que no son escalables, para este caso corresponde a 51 módulos.
- j : el índice que identifica los módulos variantes primitivos que son escalables, es decir su tamaño es variable, para el caso corresponde a 4 módulos (2 para el gabinete de pared y 2 para el gabinete de piso).
- k : identifica las posibles dimensiones que puede tomar los anchos de los módulos escalables, se establecen en la tabla 8.

Variables:

- m_j : es una variable binaria, que toma el valor de 1 cuando el módulo j se asigna al producto.
- me_{jk} : es una variable binaria que identifica si el módulo j tiene la medida k
- YI y YS : son las diferencias entre las medidas y los módulos asignados a cada módulo compuesto, Gabinetes de Pared y de Piso.

Parámetros:

- W_j : medida del ancho en cm del módulo j .
- WE_k : posibles k medidas que puede tomar un módulo escalable, se establecen en la tabla 8.

Tabla 8. Posibles medidas para un módulo escalable

Nivel	1	2	3	4	5	6	7	8
Medida (cm)	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0	67,5	75,0
Nivel	9	10	11	12	13	14	15	
Medida (cm)	82,5	90,0	97,5	105,0	112,5	120,0	127,5	

Fuente: Elaboración Propia

- WMS y WMI: son los parámetros de entrada de las medidas de los módulos superior e inferior (Gabinets de pared y piso)

De acuerdo con las definiciones anteriores, se establecen las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^I m_i = 1 \forall \{m_i \in GSgrif, Bfreg, Bcoci\} \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^I m_i = \begin{cases} 2 \text{ Si Tipo } U \\ 1 \text{ Si Tipo } L \\ 0 \text{ Si Tipo } I \text{ ó } II \end{cases} \forall \{m_i \in ModDiag\} \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^I m_i + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K me_{jk} \leq CM \forall \{CM, m_i, m_j \in DI, DII, DL, DU\} \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^I m_i \leq ME \forall \{m_i, ME \in c/uCaracteristicasFuncionales\} \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^I m_i W_i + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K me_{jk} WE_k \leq WMS \forall \{m_i, m_j \in Gabinete Superior\} \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=1}^I m_i W_i + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K me_{jk} WE_k \leq WMI \forall \{m_i, m_j \in Gabinete de Piso\} \quad (3.7)$$

$$YS = WMS - \sum_{i=1}^I m_i W_i - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K me_{jk} WE_k \forall \{m_i, m_j \in Gabinete Superior\} \quad (3.8)$$

$$YI = WMI - \sum_{i=1}^I m_i W_i - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K me_{jk} WE_k \forall \{m_i, m_j \in Gabinete de Piso\} \quad (3.9)$$

El modelo se resuelve por medio de AMPL Studio Ver 1.6.J, usando el Solver *FortMp*, en un Computador Clon, con sistema Operativo Windows 7Ultimate, con un procesador AMD Phenom(tm) IIX4 925 y 4GB de memoria RAM, cada solución tomó un tiempo en promedio de 30 seg. Los resultados obtenidos en esta fase, consistente con los datos identificados en el punto 3.4 se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados obtenidos fase 1

Producto 1		Producto 2		Producto 3	
Módulo	Variantes	Módulo	Variantes	Módulo	Variantes
GC	M-300-300-750	GC	M-300-300-750	GC	M-300-300-750
GC	M-300-300-900	GC	M-300-375-825	GC	M-300-300-900
GC	M-300-375-750	GC	M-300-450-675	GC	M-300-375-750
GC	M-300-600-225	GC	M-300-600-225	GC	M-300-375-825
GS	M-300-600-600	GC	M-300-600-525	GC	M-300-450-750
GD	M-300-900-600	GC	M-300-750-450	GC	M-300-600-225
BF	M-580-782,5-825	GS	M-300-600-750	GC	M-300-600-225
BD	M-580-782,5-1050	BF	M-580-782,5-825	GC	M-300-750-300
BC	M-580-782,5-600	BC	M-580-782,5-450	GR	M-600-600-750
BR	M-580-782,5-300	BC	M-580-782,5-675	GS	M-300-600-600
BC	M-580-782,5-375	BR	M-580-782,5-300	GD	M-300-750-675
BC	M-580-782,5-225	BC	M-580-782,5-375	GD	M-300-900-675
		BC	M-580-782,5-225	BF	M-580-782,5-825
		BC	M-580-782,5-225	BC	M-580-782,5-450
		BC	M-580-782,5-975	BC	M-580-782,5-525
				BD	M-580-782,5-1050
				BD	M-580-782,5-1125
				BC	M-580-782,5-675
				BR	M-580-782,5-1275
				BC	M-580-782,5-225
				BC	M-580-782,5-225

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 Fase 2: Optimización de Atributos

En esta fase se definen los atributos (materiales) que componen los módulos, se presentan principalmente 11 grupos de materiales e insumos, además de 13 costos adicionales que no presentan opciones.

El estudio técnico mencionado en puntos anteriores, permitió reconocer los atributos conforme a las preferencias de los clientes y las tendencias del mercado. Se destaca la identificación de 350 atributos disponibles, los cuales fueron filtrados, ajustados y agrupados como se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Conjunto de atributos

Grupo	Atributo	Grupo	Atributo
1	TABLERO MDPKOR15 MM	9	MANIJA RECTA TIPO ACER. 192 MM
	TABLERO MADECOR15 MM		MANIJA RECTA TIPO ACER. 256 MM
	TABLERO SUPERCOR15 MM		MANIJA CUADRAD. SATÍN 96 MM
	TABLERO TRIPLEX15 MM		MANIJA CUADRAD. SATÍN 128 MM
2	TABLERO MDPKOR 4 MM		MANIJA CUADRAD. SATÍN 192 MM
	TABLERO MADECOR 4 MM		MANIJA CUADRAD. SATÍN 256 MM
	TABLERO TRIPLEX 4 MM		MANIJA ARCO ECONOM. 96 MM
	TABLERO SUPERCOR 4 MM		MANIJA ARCO ECONOM. 128 MM
3	Δ TABLERO MADERA		MANIJA ARCO ALUM.160 MM
	Δ TABLERO RH		MANIJA ARCO ALUM.190 MM
4	CANTO PLANO 19 X 0,45 MM	10	MANIJA ARCO ALUM.224 MM
	CANTO RÍGIDO19 X 2 MM		BUMPONS 12 X 3,5 MM
	CANTO ALUM.19 MM	11	BUMPONS 6,4 X 1,6 MM
5	TAPA TORN. PLÁSTICORUST.		MAT. DE PINTURA ACABADO: TIPO A
	TAPA TORN. PLÁSTICOFINO.		MAT. DE PINTURA ACABADO: TIPO B
6	RIEL SIMPLE B-N DE 50 CM		MAT. DE PINTURA ACABADO: TIPO C
	RIEL ZINC. EXTENSIÓN LIVIANODE 50 CM	12	TORN. DRYWALL 2"
	RIEL ZINC. EXTENSIÓN PESADODE 50 CM	13	TORN. DRYWALL 1" 1/4
	RIEL NEGRO EXTENSIÓNDE 50 CM	14	TORN. MANIJA T.ARANDELA 1" 1/2
7	BIS. PARCHE 35 MM NACIONAL	15	TORN. MANIJA T.ARANDELA 3/4"
	BIS. PARCHE 35 MM IMPORTADA	16	TORN. LAMINA 1/2 "
	BIS. PARCHE 35 MM CIERRE AUTOMAT.	17	PUNTILLA CON CABEZA DE 1"
	BIS. PARCHE 35 MM HIDRÁULICA	18	M.O.D DISEÑO
8	SOPORTE PLÁSTICO COLORES 1/4"	19	M.O.D FABRICACIÓN
	SOPORTE PLÁSTICO TRANSP. 1/4"	20	M.O.D PINTURA
	SOPORTENIQUEL SENCILLO 1/4"	21	M.O.D PRE-DETALLADO
	SOPORTE BUJE M-H 1/4"	22	M.O.D EMBALAJE
9	MANIJA RECTA TIPO ACER. 96 MM	23	M.O.D ENSAMBLE-INSTALACIÓN
	MANIJA RECTA TIPO ACER. 128 MM	24	M.O.D DETALLADO

Fuente: Elaboración Propia

Al lograr identificar los módulos y los atributos, se construye una matriz de cruce, en Excel 2.007, la cual facilita el cálculo de los consumos y los costos, por cada

uno de los componentes de cada uno de los módulos, se presenta una vista parcial de la matriz en la tabla 11.

En la tabla 11 se registra en las filas los componentes de los módulos que fueron establecidos y en las columnas los atributos, conforme a los estándares técnicos del sistema internacional 32 MM, las preferencias de los clientes y las tendencias del mercado. Al cruzar el componente de cada módulo con el tipo de material, manteniendo las medidas estándar establecidas, es posible determinar el costo de cada uno de estos.

Tabla 11. Matriz de cruce

		GRUPO				1				2			
						VARIANTE				TABLERO MDPKOR 15 MM	TABLERO MADECOR 15 MM	TABLERO SUPERCOR 15 MM	TABLERO TRIPLEX 15 MM
		PRESENTACIÓN	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA	LÁMINA
		COSTO / PRESENTACIÓN	\$ 173.711	\$ 108.650	\$ 157.600	\$ 116.700	\$ 89.450	\$ 61.200	\$ 49.800	\$ 73.450			
		UNID DE MEDIDA	M ²	M ²	M ²	M ²	M ²	M ²	M ²	M ²			
		CANTIDAD	5,246	3,7332	4,4652	2,9768	5,246	3,7332	2,9768	4,4652			
		COSTO / UNID	\$ 33.113	\$ 29.104	\$ 35.295	\$ 39.203	\$ 17.051	\$ 16.393	\$ 16.729	\$ 16.449			
		DESPERDICIO	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%			
UTILIZACIÓN DEL MÓDULO GENÉRICO	APLICACIÓN DEL COSTO					0	1	0	0	0	1	0	0
REFERENCIA	PARTE	CANT/ MOD	LARGO (mm)	ANCHO (mm)									
MOD-D-H-W													
M-300-300-750	1	LATERAL	2	300	300	0	5.763	0	0				
		BASE/TAPA	2	720	300	0	13.830	0	0				
		FONDO	1	735	285				0	3.777	0		
		ESTRUCTURA SOPORTE	1	720	70	0	1.614	0	0				
		ESTRUCTURA A MURO	1	720	70	0	1.614	0	0				
M-300-300-900	1	PUERTA	2	298	372.5	0	7.107	0	0				
		LATERAL	2	300	300	0	5.763	0	0				
		BASE/TAPA	2	870	300	0	16.711	0	0				
		FONDO	1	885	285				0	4.548	0		
		ESTRUCTURA SOPORTE	1	870	70	0	1.950	0	0				
		ESTRUCTURA A MURO	1	870	70	0	1.950	0	0				
		PUERTA	2	298	447.5	0	8.538	0	0				

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3.2 Modelo Fase 2

Con apoyo de la información anterior, es posible establecer el siguiente modelo, donde la función objetivo busca minimizar el costo total del producto, el cual se constituye a través del cruce de los atributos con los módulos como se muestra en la tabla 11. La restricción establecida limita que solo se seleccionará una opción del grupo de atributos disponibles para cada uno de los módulos.

$$F.O. \min Costo = \sum_{j=1}^J m_j \left(\sum_{p=1}^P C_{pj} + \sum_{r=1}^R \sum_{s(r)=1}^{S(r)} C_{sr}^j x_{sr}^j \right)$$

$$\sum_{s(r)=1}^{S(r)} x_{sr}^j = m_j \forall r, j$$

Dónde:

Índices:

- j: es el índice que identifica los módulos escogidos en la fase 1.
- p: índice identificador de los costos asociados a los atributos que no presentan opciones.
- r: es el índice identificador de los costos asociados a los atributos que presentan diferentes opciones de selección.
- s: representa las diferentes opciones que presenta cada uno de los grupos de atributos, por lo tanto $s = s(r)$

Parámetros:

- m_j : variable binaria que toma el valor de 1 cuando se asigna el módulo j al producto.
- C_{pj} : Costo p asociado al módulo j.
- C_{sr}^j : Costo de la opción s del grupo de atributos r asociado al módulo j.

Variables:

- x_{sr}^j : es la variable binaria, que al tomar el valor de 1 se selecciona la opción s del grupo de atributos r asociado al módulo j y de lo contrario es cero (0).

En la fase 2 se presenta un modelo cuadrático, el cual se propone la heurística de Búsqueda Tabú, la cual se desarrolla en el siguiente aparte.

3.5.3.3 Búsqueda Tabú

La búsqueda tabú es un metaheurística que partiendo de una solución inicial, permite moverse a otra solución, aunque no sea tan buena como la actual, de modo que se pueda escapar de óptimos locales y continuar estratégicamente la búsqueda de soluciones aún mejores.

Los conceptos básicos requeridos para la aplicación de la técnica son:

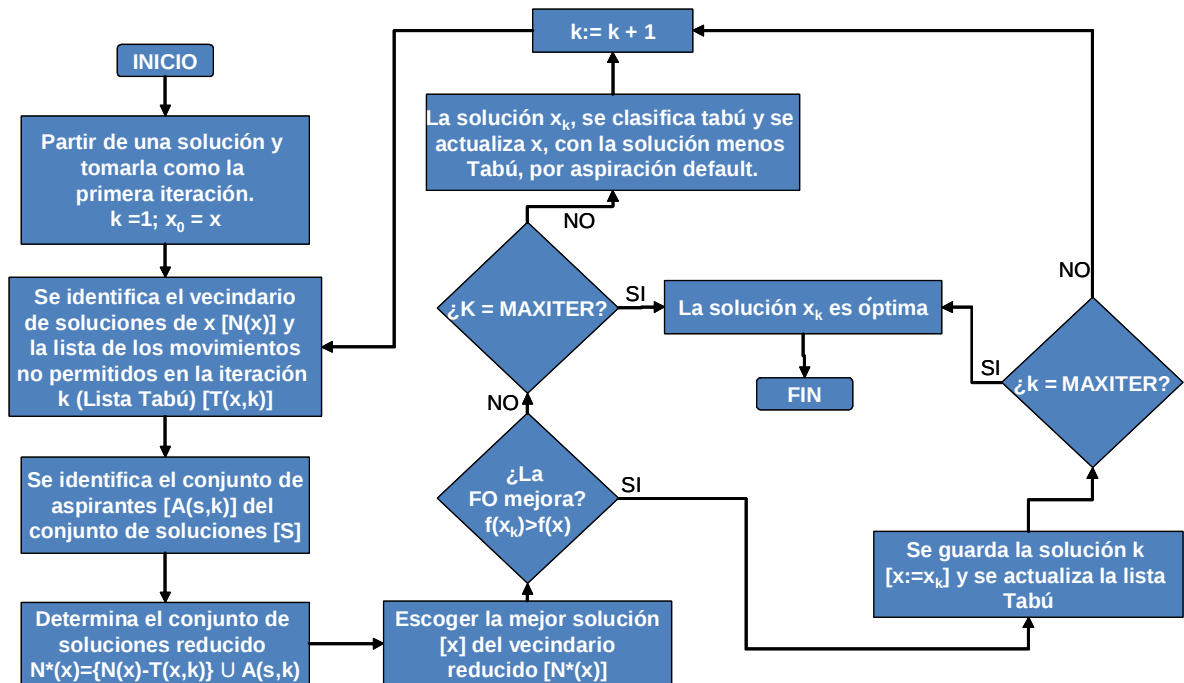
- **$f(x)$** : Función Objetivo
- **X_0** : Solución actual
- **$N(x)$** : Vecindario de x . Conjunto de Posibles soluciones
- **Movimiento (*Move*)**: Proceso por el cual se pueden obtener cada una de las posibles soluciones asociadas a x (vecindario)
- **Conj. Elite**: Conjunto de soluciones con mejores valores para la función objetivo ($f(x)$)
- **Lista Tabú**: Lista donde se registran soluciones o atributos de soluciones que no deben ser elegidas. Los elementos de esta lista están penalizados temporalmente
- **Tabú Tenure**: Tamaño de una lista tabú
- **Criterio de Aspiración**: “Olvido estratégico”.
- **Memoria explícita**: Almacena soluciones de elite
- **Memoria de atributos**: Guía la búsqueda.

La búsqueda tabú puede ser aplicada directamente a expresiones verbales o simbólicas, sin necesidad de transformarlas a expresiones matemáticas, el requerimiento $x \in S$ (x es una solución factible) puede, por ejemplo, especificar condiciones lógicas o interconexiones que pueden ser difíciles de expresar matemáticamente por lo tanto será mejor dejarlas como expresiones verbales y codificarlas como reglas. Una solución pertenece al conjunto de elite dependiendo de su puntaje, (*threshold*) el cual está relacionado con la función objetivo de la mejor solución encontrada durante la búsqueda, un óptimo local pertenece al conjunto de elite.

El tamaño de la lista tabú (tabú Tenure) es el tiempo o número de iteraciones que un elemento (movimiento o atributo) permanece en la lista tabú. Si todos los elementos tienen la misma Tenure, ésta estará identificada por la longitud de la lista tabú, si es variable, es decir, todos los elementos de la lista tabú no tienen la misma Tenure, un elemento que entró a la lista tabú antes que otro puede salir mucho después.

Al igual que las costumbres sociales pueden cambiar con el tiempo las soluciones tabú pueden dejar de serlo sobre la base de una memoria cambiante, debe haber una forma de “olvido estratégico”, es decir que una solución o atributo pueda salir de la lista tabú antes de que se cumpla su plazo. El algoritmo para la aplicación de la búsqueda tabú se presenta en la figura 12.

Figura 12. Algoritmo para la aplicación de la búsqueda tabú



Fuente: SISBIB. Búsqueda Tabú: Conceptos, algoritmo y aplicación.

3.5.3.4 Aplicación de Búsqueda Tabú al Caso Estudio

Para aplicar la metaheurística es necesario identificar los conceptos básicos, los cuales se presentan como:

- Función Objetivo $f(x)$: Se define como el mínimo costo del producto que arroja los atributos seleccionados.
- Solución actual x_0 : Se estableció un procedimiento variable en *Visual Basic For Applications*, el cual genera una solución diferente en cada iteración de la heurística.
- Vecindario de x $N(x)$: El conjunto de posibles soluciones esta dado por todos los posibles movimientos (*Move's*) que se pueden hacer con las

opciones disponibles en cada uno de los grupos de atributos. El vecindario de cada solución tiene 34 posibles combinaciones.

- **Movimiento (Move):** Se definió como el cambio selección de una opción dentro de cada grupo de atributos. Se tienen en cuenta 11 grupos de atributos y cada uno de ellos presenta diferentes opciones, como se muestra: (Grupo (Opciones)) 1(4), 2(4), 3(2), 4(3), 5(2), 6(4), 7(4), 8(4), 9(13), 10(2) y 11(3).
- **Candidatos:** De $N(x)$ se seleccionan las 5 mejores configuraciones, de acuerdo al costo obtenido.
- **Conjunto Elite:** Se crea internamente dentro del algoritmo desarrollado y guarda todas las soluciones escogidas en cada iteración, y al final de la ejecución de este muestra el portafolio con las 5 mejores soluciones obtenidas.
- **Lista Tabú:** Todos los movimientos seleccionados como solución en cada iteración y de acuerdo al Tenure establecido se puede volver a seleccionar.
- **Tabú Tenure:** Se definió como la cantidad de iteraciones siguientes que penaliza un movimiento realizado, se le asignó un valor de 3 para este caso.
- **Olvido estratégico:** Se definió como la cantidad de iteraciones siguientes en el que deja de ser tabú un movimiento por parte de las repeticiones del movimiento.

En Excel 2007 se evalúa la Función Objetivo y el vecindario, la lista tabú, el olvido, son generados desde *Visual Basic For Applications* de Excel², los resultados

²Ver archivo en Excel adjunto, se recomienda ejecutarlo en Office 2007, pues se utilizaron funciones que no se encuentran disponibles en versiones anteriores. Características del computador utilizado: Computador Clon, con sistema Operativo Windows 7 Ultimate, con un procesador AMD Phenom(tm) IIX4 925 y 4GB de memoria RAM

obtenidos para 50 iteraciones y los tres productos planteados se muestran en la Tabla 12.

La Tabla 12 muestra dos posibles instancias del mismo producto, es decir solo con variar la opción del grupo de atributos, se genera un producto diferente. Por ejemplo la CI Lineal de 420 cm, presenta una variación en el grupo de atributos no. 8, la primera instancia utiliza soporte plástico de 1/4" y en la segunda instancia se configura con soporte buje M-H 1/4".

Tabla 12. Resultados obtenidos fase 2

Paámetros	Producto 1		Producto 2		Producto 3	
Grupo de Atributos	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2
1	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	4	2	2
3	2	1	1	1	1	2
4	1	1	1	1	1	2
5	1	1	1	2	1	2
6	3	1	1	1	1	1
7	1	1	1	2	1	1
8	2	2	1	4	1	3
9	2	9	9	9	9	9
10	2	2	2	2	2	2
11	3	3	2	3	2	3
<i>Costo Total</i>	1.617.266	1.516.404	1.776.217	1.786.837	2.835.762	3.029.099

Fuente: Elaboración Propia

En resumen, la metodología fue probada con tres productos diferentes, con diferentes parámetros, se ejecutó la metodología y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Resumen

Parámetros		Producto 1		Producto 2		Producto 3	
Parámetros de Ingreso	Distribución	L		Lineal		U	
	Altur.Cocinero	Alto		Promedio		Alto	
	Almacenamiento	Normal		Máximo		Máximo	
	Tamaño Cocina	Pequeña		Grande		Grande	
	Electrodoméstico	Convencional		Múltiple		Múltiple	
	Grupo Familiar	Pequeño		Pequeño		Grande	
	Ergonomía	Sí		No		Sí	
Parámetros Medidas	Medida 1 (cm)	300		420		420	
	Medida 2 (cm)	150		0		200	
	Medida 3 (cm)	0		0		250	
		Módulo	Variantes	Módulo	Variantes	Módulo	Variantes
Fase 1		GC	M-300-300-750	GC	M-300-300-750	GC	M-300-300-750
		GC	M-300-300-900	GC	M-300-375-825	GC	M-300-300-900
		GC	M-300-375-750	GC	M-300-450-675	GC	M-300-375-750
		GC	M-300-600-225	GC	M-300-600-225	GC	M-300-375-825
		GS	M-300-600-600	GC	M-300-600-525	GC	M-300-450-750
		GD	M-300-900-600	GC	M-300-750-450	GC	M-300-600-225
		BF	M-580-782,5-825	GS	M-300-600-750	GC	M-300-600-225
		BD	M-580-782,5-1050	BF	M-580-782,5-825	GC	M-300-750-300
		BC	M-580-782,5-600	BC	M-580-782,5-450	GR	M-600-600-750
		BR	M-580-782,5-300	BC	M-580-782,5-675	GS	M-300-600-600
		BC	M-580-782,5-375	BR	M-580-782,5-300	GD	M-300-750-675
		BC	M-580-782,5-225	BC	M-580-782,5-375	GD	M-300-900-675
				BC	M-580-782,5-225	BF	M-580-782,5-825
				BC	M-580-782,5-225	BC	M-580-782,5-450
				BC	M-580-782,5-975	BC	M-580-782,5-525
						BD	M-580-782,5-1050
						BD	M-580-782,5-1125
						BC	M-580-782,5-675
						BR	M-580-782,5-1275
						BC	M-580-782,5-225
						BC	M-580-782,5-225
Fase 2	Grupo de Atributos	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2	Opción 1	Opción 2
	1	2	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	4	2	2
	3	2	1	1	1	1	2
	4	1	1	1	1	1	2
	5	1	1	1	2	1	2
	6	3	1	1	1	1	1
	7	1	1	1	2	1	1
	8	2	2	1	4	1	3
	9	2	9	9	9	9	9
	10	2	2	2	2	2	2
	11	3	3	2	3	2	3
Costo Total		1.617.266	1.516.404	1.776.217	1.786.837	2.835.762	3.029.099

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3.5 Portafolio de Instancias de Producto

Al finalizar la heurística el conjunto elite arroja 5 soluciones que sumado a la configuración de los módulos de la fase 1, generan 5 diferentes estancias del

producto. Por ejemplo en la Tabla 14, se muestra el portafolio para una CI de tipo "L" de 450 cm. En la parte izquierda de la Tabla se identifica el ancho de los módulos configurados en la cocina integral y en la parte derecha muestra en cada uno de los grupos de materiales, las opciones de 5 instancias conformado así un portafolio de 5 posibles opciones para una cocina integral.

Tabla 14. Ejemplo de Portafolio

<i>Módulos</i>	<i>Variante</i>	<i>Medida (Cm)</i>	Instancias de Atributos					
			Grupo	Instancia 1	Instancia 2	Instancia 3	Instancia 4	Instancia 5
Gabinets Convencionales	M-300-300-750	75	1	2	2	2	2	2
Gabinets Convencionales	M-300-300-900	90	2	2	2	2	2	2
Gabinets Convencionales	M-300-450-675	67,5	3	1	1	1	2	2
Gabinets Convencionales	M-300-900-300	30	4	1	1	1	1	3
Gabinets Sobregriño	M-300-600-600	60	5	1	1	1	1	1
Gabinets Diagonales	M-300-900-675	67,5	6	1	2	2	2	2
Base Fregadero	M-580-782,5-825	82,5	7	1	1	1	1	1
Base Cajones	M-580-782,5-450	45	8	1	1	1	1	1
Base Diagonal	M-580-782,5-1050	105	9	9	9	4	4	4
Base Coción	M-580-782,5-600	60	10	2	2	2	2	2
Base Residuos	M-580-782,5-300	30	11	1	1	1	1	1
Base Convencional	M-580-782,5-225	22,5						

Fuente: Elaboración Propia

3.6 DESARROLLO DE INDICADORES

La metodología AFP puede ser desarrollada para cualquier ambiente de producción, de acuerdo con la complejidad y herramientas disponibles en la empresa, el sector y la economía en general, siendo necesario comprobar la viabilidad de su aplicación y la efectividad de la propuesta. Dando solución a la problemática anterior, se evidencia la necesidad de magnitudes asociadas a características de servicio al cliente, estructura organizacional y operación, que permitan a través de su medición y comparación, validar la ejecución de la AFP en cualquier ambiente de producción.

De acuerdo con lo anterior se desarrollaron los siguientes indicadores:

- Asistencia al Cliente

Se define como el porcentaje del costo por representación comercial y visitas técnicas al cliente respecto al costo total de una cotización.

- Tiempo de Negociación

Es el tiempo utilizado por el personal comercial y técnico en la elaboración de la propuesta hasta concretar la negociación.

- Número de Visitas por Negociación

Cantidad de entrevistas realizadas al cliente hasta concretar la negociación.

- Personas / Negociación

Consiste en la cantidad de personas de la organización que intervienen en la negociación.

- Días proceso Compras

Es el tiempo empleado desde el cierre de la negociación hasta la recepción del material en fábrica.

- Cobertura

Representa la cantidad de propuestas realizadas por jornada laboral.

- Número de Propuestas / Cotización

Alternativas del producto presentados al cliente por cotización.

- Errores / Orden de Pn

Define la cantidad de errores presentados en la generación de la orden de producción.

Después de definir los indicadores se procede a validarlos con opinión de expertos³ en el sector del caso estudio y de acuerdo a lo estimado se propone un estándar de cada uno de los indicadores establecidos. Los resultados obtenidos y esperados se plantean en la tabla 15.

Tabla 15. Resultado Indicadores

Indicador		Situación Actual	Estandar Esperado
Asistencia al Cliente	%	7%	1.5%
Tiempo de Negociación	Días	6	3
Número de Visitas por Negociación	Cant.	4	2
Personas / Negociación	Cant.	4	2
Días proceso Compras	Días	5	2
Cobertura	Cant. /día	1	4
Número de Propuestas / Cotización	Cant.	1	3
Errores / Orden de Pn	Cant.	3	0

Fuente: Elaboración propia

³ Se refiere a los trabajadores involucrados en el proceso de diseño y gestión comercial de la empresa Maderarte Arquitectura en Madera.

4. CONCLUSIONES

- La implementación de Mass Customization a través de la AFP permite asociar de manera eficiente la capacidad de las organizaciones con las necesidades de los clientes, estas que en su mayoría son variables, constituyen un factor determinante en el desarrollo de los productos. En función de lo anterior, la adaptación de la AFP permite definir en el cliente un producto estándar por medio de la modularidad, una estructuración personalizada a través de las características funcionales y un servicio personalizado en función de sus expectativas. Con la integración de estos criterios se logra la conformación de la estructura genérica del producto determinada por la asociación de un conjunto de módulos y atributos particulares que cumplen con los requerimientos específicos del cliente. Como resultado de estas afirmaciones se logra integrar la eficiencia de la AFP y la eficacia de Mass Customization alcanzando el objetivo de unificar las ventas, marketing, diseño y fabricación de tal forma que se obtenga la estandarización de procesos de gestión comercial.
- En la estandarización de la estructura genérica del producto se establecen normas para garantizar el acoplamiento de los elementos contruidos independientemente, esto garantiza la calidad de los productos al igual que la seguridad en su funcionamiento a través de reglas básicas. Para ello se desarrolla una parametrización general de módulos y atributos en términos de normas internacionales respecto a unidades de medida, incrementos de modulación y mecanismos de construcción los cuales permiten integrar de forma eficiente y ágil las variables suministradas por los clientes. El resultado de esta normalización representa el intercambio entre componentes y materiales sin afectación de la estructura genérica del

producto. Esto se traduce en la disminución considerable de costos, tiempos de espera por diseño, construcción y selección de materiales adecuados, es decir, realizamos una combinación óptima entre ambientes de producción en masa y Make to Order.

- Al definir la estructura de la AFP, es posible configurar un producto a través de la agregación de módulos y variar estos asignando una opción de cada uno de los grupos de atributos; estas condiciones permiten obtener un amplio número de opciones, las cuales se encuentran limitadas por las condiciones definidas por los clientes. Por ello para conocer la adecuada configuración se plantea un modelo de optimización de dos fases. En la primera se propone un modelo de programación lineal entera mixta, donde se configura la CI a través del ancho de los módulos bajo las restricciones establecidas en las condiciones de inclusión. Este se resuelve en AMPL Studio por presentar mayor agilidad en la generación de la solución. Para la segunda fase, se busca minimizar los costos de los atributos de los módulos configurados, para ello se usó la metaheurística Búsqueda Tabú donde a partir de una solución inicial generada de forma aleatoria, busca en su vecindad las asignaciones óptimas que satisfacen la función objetivo. Esta técnica se estableció en Visual Basic for Applications de Excel 2.007, permitiendo que fuese general para cualquier tipo de producto. Los ejemplos establecidos mostraron la validez y la eficacia del método de optimización propuesto, en el futuro se plantea la integración de la metodología en un ambiente multifamiliar que puedan compartir atributos.
- El principal resultado de la optimización presenta un conjunto de variaciones de un producto ajustadas a los requerimientos de los usuarios y a las capacidades operativas del fabricante. Este portafolio de productos, permite a los clientes obtener mayor diversidad en el momento de escoger

y sirve como argumento comercial para concretar algún tipo de negociación.

- El desarrollo de planes encaminados a la optimización de recursos en los procesos productivos a través de la gestión de una alta gama de estrategias y metodologías, genera una limitación importante que obliga a diseñar herramientas de medición para evaluar los factores críticos que afectan la productividad y el desempeño. En el contexto de la metodología se estiman valores para los indicadores que permiten validar que la aplicación de la AFP asociada a los ambientes de manufactura altamente personalizados, logran crear híbridos en los sistemas de producción, acarreado las ventajas de cada uno de ellos en cuanto a costos y menor tiempo de respuesta al cliente.

5. RECOMENDACIONES

La metodología AFP supone un impacto significativo en la estructura de la organización en términos de nuevos métodos, la educación y la división del trabajo en mercadeo, ventas, diseño y fabricación; la utilización de una AFP puede conducir a un redefinición del trabajo realizado normalmente.

Por ejemplo, el área de ventas y mercadeo estará en condiciones de asignar los requerimientos de los clientes a las especificaciones del producto, bajo la estructura de la AFP. El área de diseño podrá centra sus esfuerzos en las respuestas a cambios tecnológicos, evolución en el proceso de fabricación o cambios en las necesidades de los clientes. Y el área de fabricación se concentrará en la reutilización de las herramientas, la configuración, el conocimiento de los procesos bajo el marco de la AFP. En esta nueva estructura se lograría identificar la extensión del ambiente make to order a una configuración de fabricación en masa.

En el documento se plantea el uso de la metodología para un solo producto, en futuras investigaciones se deberían enfocar en su aplicación en situaciones más elaboradas, donde al modelo se le agreguen restricciones de diferentes clientes simultáneamente y como resultado identifique un portafolio de productos adecuado para cada uno, además de presentar una forma práctica de diseñar el producto, determinar materiales e insumos para su fabricación.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ AMERICAN Woodmark, Designer's Choice - Specification Guide Rev. 08/2010
<http://www.americanwoodmark.com/brands.asp?iAreaID=3&iSectionID=1>
- ❖ DAHMUS, Jeffrey B. *et al.* Modular product architecture. En: Cutting edge platforms' Financial Times Automotive World, 1999; p. 30 – 38
- ❖ EASTWOOD, Margaret A. Implementing mass customization. En: Computers in Industry , Vol 30, 1996; p. 171 – 174
- ❖ ERENS, Freek. *et al.* Architectures for product families. En: Computers in Industry, Vol 33, 1997; p. 165 – 178
- ❖ FREDRIKSSON, Peter y GADDE, Lars-Erik. Flexibility and rigidity in customization and build-to-order production. En: Industrial Marketing Management, Vol 34, 2005; p. 695 – 705
- ❖ FUJITA, Kikuo. Product Variety Optimization Under Modular Architecture. En: Computer-Aided Desing, Vol 34, 2002; p. 953 – 965
- ❖ GLOVER, Fred & LAGUNA, Manuel “Tabu search”. <http://leeds-faculty.colorado.edu/laguna/articles/ts2.pdf> Consulta: Diciembre 13 de 2.010
- ❖ GONZALEZ-ZUGASTI, J. P. and OTTO, K. N., 2000, “Modular Platform-Based Product Family Design,” Proceedings of the 2000 ASME Design

Engineering Technical Conferences, Paper No. DETC2000/DAC-14238, ASME.

- ❖ JIAO, Jianxin. *et al.* A methodology of developing product family architecture for mass customization. En: Journal of Intelligent Manufacturing, Vol 10, 1999; p. 3 – 20
- ❖ JIANG, Z.H. *et al.* Research and development on constraint-based product family design and assembly simulation. En: Journal of Materials Processing Technology, Vol 139, 2003; p. 257 – 262
- ❖ KCMA Kitchen Cabinet Manufacturers Association Rev. 08/2010. <http://www.kcma.org/>
- ❖ KORHONEN. Mika. *et al.* Assessing Systems Adaptability to a Product Family. En: Journal of Systems Architecture, Vol 50, 2004; p. 383 – 392
- ❖ MESSAC, A., MARTINEZ, M. P. and SIMPSON, T. W., 2000, "Introduction of a Product Family Penalty Function Using Physical Programming," Proceedings of 8th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multi-Disciplinary Analysis and Optimization, Paper No. AIAA-2000-4838, AIAA
- ❖ NELSON, S. A. II, PARKINSON, M. B. and PAPALAMBROS, P. Y., 1999, "Multicriteria Optimization in Product Platform Design," Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, Paper No. DETC99/DAC-8676, ASME.

- ❖ NIEMELA, Eila. *et al.* Capturing quality requirements of product family architecture. En: Information and Software Technology, Vol 49, 2007; p. 1107 – 1120

- ❖ PRASAD, Sameer. *et al.* Build to order supply chains in developed and developing countries. En: Journal of Operations Management, Vol 23, 2005; p. 551 – 568

- ❖ RENDERS, J. M. and PLASSE, S. P., 1996, “Hybrid Methods Using Genetic Algorithms for Global Optimization,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics — Part B: Cybernetics, Vol. 26, No, 2, pp. 243-258.

- ❖ RIOJAS Cañari, Alicia Cirila, 2005, Búsqueda Tabú: conceptos, algoritmo y aplicación al problema de las N-reinas, Monografía (Lic.)--Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP. de Investigación Operativa, 2005

- ❖ SALVADOR, F. *et al.* Modularity, product variety, production volume, and componentsourcing: theorizing beyond generic prescriptions. En: Journal of Operations Management, Vol 20, 2002; p. 549 – 575

- ❖ SHARMA, Arun y LAPLACA, Peter. Marketing in the emerging era of Guild to order manufacturing. En: Industrial Marketing Management, Vol 34, 2005; p. 476 – 486

- ❖ SVENSSON, Carsten. *et al.* Limits and opportunities in mass customization for “build to order” SMEs. En: Computers in Industry, Vol 49, 2002; p. 77 – 89

- ❖ TSENG, Mitchell M. *et al.* Design for Mass Customization. En: Annals of the CIRP, Vol 45, 1996; p. 153 - 156
- ❖ XUEHONG Du, Jianxin Jiao y Mitchell M. Tseng, 2001, Architecture of Product Family: Fundamentals and Methodology, Concurrent Engineering: Research and Application, Vol. 9 No. 4, pp. 309 - 325.
- ❖ ZHA, Xuan F. *et al.* Platform-based product design and development: A knowledge-intensive support approach. En: Knowledge-Based Systems, Vol 19, 2006; p. 524 – 543
- ❖ ZHUO, Liu. *et al.* Integrated approach to modularize the conceptual product family architecture. En: Int J Adv Manuf Technol, Vol 36, 2008; p. 83 – 96