



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Aplicación del diseño experimental para mejorar el proceso de desarrollo de nuevos productos de baldosas cerámicas

Jorge Alejandro Ángel Tobón

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
Escuela de Ingeniería de la Organización
Medellín, Colombia
2012

Aplicación del diseño experimental para mejorar el proceso de desarrollo de nuevos productos de baldosas cerámicas

Jorge Alejandro Ángel Tobón

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ingeniería Administrativa

Director

Ph. D. Alexander Alberto Correa Espinal
Profesor Asociado

Línea de Investigación:

Producción

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Escuela Ingeniería de la Organización

Medellín, Colombia

2012

Año

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, a mi novia y especialmente al director del trabajo de grado por su ayuda, dirección y apoyo.

Resumen

El presente trabajo desarrolla una propuesta metodológica basada en diseño experimental para mejorar el proceso de desarrollo de nuevos productos entre las etapas de prototipo de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial en la división de P&P de Colcerámica S.A, empresa de la Organización Corona, como solución ante una problemática de velocidad en los desarrollos. Entre los temas abordados en el trabajo se encuentran las bases conceptuales que soportan el proceso de desarrollo de nuevos productos y el diseño experimental, la revisión del estado del arte en las metodologías para la gestión del proceso de desarrollo de nuevos productos y las diversas herramientas de mejoramiento dentro del diseño experimental, un diagnóstico al proceso de P&P Colcerámica S.A y el planteamiento de la propuesta metodológica de mejoramiento. Se destaca el hecho de que la propuesta metodológica de mejoramiento queda incorporada como parte del proceso de desarrollo de nuevos productos de P&P Colcerámica S.A, por lo que no se requiere detener el proceso para aplicar la metodología, sino que la metodología se convierte en parte del proceso. Este es un ingrediente que da valor agregado a la propuesta, pues no se encontró en la revisión del estado del arte ninguna metodología que haga abordajes especiales para dar solución a las problemáticas de escalado entre prototipo y puesta a punto en planta.

Palabras clave: desarrollo de nuevos productos, diseño experimental, EVOP.

Abstract

This work develops a methodology based on experimental design to improve the process of new product development between the stages of laboratory prototype and setting up at industrial scale in the division of P&P in Colcerámica SA, a Corona Group company, as a solution to a problem of speed on developments. Among the issues addressed in this work are the conceptual foundations that support the process of new product development and experimental design, the review of the state of the art in methodologies for managing the process of new product development and the different improvement tools in the experimental design, the process of diagnosis in P&P Colcerámica SA and the approach of the proposed methodology for improvement. It highlights the fact that the improvement methodology proposed is incorporated as part of the new product development process in P&P Colcerámica SA, so it is not required to stop the process to apply the methodology, but the methodology becomes part of process. This is an ingredient that adds value to the proposal because it was not found in the review of the state of the art a methodology with any special approach to solve the problems of scaling between prototype and setting up at industrial scale.

Keywords: new product development, design of experiments, EVOP.

Contenido

Resumen	VI
Abstract	VII
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XI
Introducción	1
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	4
1.1 El concepto de Proceso.....	4
1.1.1 Elementos de un proceso:	5
1.2 El concepto del Desarrollo de Nuevos Productos.....	6
1.1.2 Prioridad estratégica del Desarrollo de Nuevos productos.....	6
1.3 Componente experimental del proceso de desarrollo de nuevo producto.....	7
1.4 ¿Por qué usar el DOE para la problemática en cuestión?.....	9
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE	12
2.1 Ubicación de la exploración bibliográfica.....	12
2.2 Aproximaciones metodológicas para el desarrollo de nuevos productos.....	13
2.2.1 Stage-Gate®.....	13
2.2.2 Proceso de desarrollo tradicional: Aproximación modificada del proceso lineal a cíclico.....	16
2.2.3 Ingeniería concurrente en desarrollo de nuevos productos.....	17
2.2.4 Otras metodologías para el desarrollo de nuevos productos.....	19
2.3 Revisión de las diferentes herramientas del diseño experimental	23
2.3.1 “ <i>Evolutionary Operation</i> ” (EVOP).....	23
2.3.2 Taguchi.....	24
2.3.3 Método Superficie de Respuesta (RSM).....	25
2.3.4 Otros modelos.....	27
2.4 Análisis de ventajas y desventajas EVOP, Taguchi y Superficie de respuesta.....	27
2.5 Más acerca de EVOP.....	28
2.5.1 Cronología bibliográfica de EVOP.....	30
2.6 Resumen del estado del arte y conclusiones.....	32
CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTO DE P&P DE COLCERÁMICA S.A.	34
3.1 Planificación del diagnóstico.....	35
3.2 Proceso de Desarrollo de Nuevos Productos en Pisos & Paredes de Colcerámica S.A.....	36
3.2.1 Contraste Desarrollo de Producto P&P Colcerámica S.A contra las diversas aproximaciones metodológicas encontradas en la literatura.....	37
3.3 Levantamiento de flujogramas de proceso para etapas	42
3.3.1 Etapa de prototipado de producto cerámico en Colcerámica S.A.....	42

3.3.2 Etapa de puesta a punto a nivel industrial.....	44
3.4 Paralelo de las diferencias de proceso entre etapa de prototipado de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial.....	46
3.5 Categorías y complejidades de producto.	48
3.5.1 Complejidades técnicas de producto.	49
3.5.2 Clasificación del desarrollo desde el punto de vista de procesos cerámicos comunes.	50
CAPÍTULO 4. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE DESARROLLO DE NUEVO PRODUCTO	52
4.1 Analizando la problemática.	53
4.2 Entendiendo el eje de la propuesta.	54
4.2 Antes de detallar la propuesta metodológica.....	55
4.3 Diagrama de flujo y descripción de la propuesta metodológica.	57
4.3.1 Realizar elección de productos.	57
4.3.2 Detección de diferencias.....	59
4.3.3 Ciclo de mejoramiento.	60
4.4 Detalle de la propuesta metodológica.	60
4.4.1 Detección de diferencias.....	61
4.4.2 Ciclo de mejoramiento.	64
4.5 Ejemplificación numérica de la metodología.	67
4.5.1 Detección de diferencias.....	67
4.5.2 Ciclo de mejoramiento.	69
4.6 Discusión en torno a la propuesta.	70
4.5.1 Elementos que incorpora la propuesta vs lo que existe.	71
4.5.2 Impactos en el proceso.....	72
4.5 Planificación de la implementación en Colcerámica S.A P&P.	72
4.5.1 Implicaciones de la implementación de la propuesta.	74
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	77
5.1 Conclusiones generales.	77
5.2 Conclusiones respecto a la metodología.....	78
5.3 Trabajos futuros.	78
Anexo 1. Recopilación de las preguntas realizadas durante proceso de levantamiento de diagnóstico.....	79
Anexo 2.Formato para seguimiento a implementación.	81
Bibliografía	82

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Contenido de un proceso.....	5
Figura 2. Modelo general de un proceso o sistema desde la óptica del diseño experimental.....	7
Figura 3. Ubicación gráfica de la exploración bibliográfica.	13
Figura 4. Modelo Etapa Puerta (Stage-Gate ®).....	15
Figura 5. Proceso de desarrollo de nuevos productos cíclico.	16
Figura 6. Modelo de ingeniería concurrente para desarrollo de nuevos productos.	18
Figura 7. Concepto de ingeniería secuencial vs ingeniería concurrente.	18
Figura 8. Metodologías disponibles dentro de la ingeniería concurrente y las etapas para las que normalmente aplica.....	19
Figura 9. Metodología de Kotler.	20
Figura 10. Metodología de desarrollo de nuevos productos según Urban y Hauser.	21
Figura 11. Metodología de desarrollo de nuevos productos según Voss <i>et al.</i> (1996). ...	22
Figura 12. Representación gráfica EVOP para acelerar óptimo en escala industrial.	24
Figura 13. Representación gráfica de Superficie de Respuesta.	26
Figura 14. Resumen de la revisión del estado del arte. Elaboración propia.....	33
Figura 15. Caracterización del macro-proceso de Introducción de Nuevos Productos al mercado en Pisos & Paredes de Colcerámica S.A.	37
Figura 16. Metodología para comparación de similitudes y diferencias del proceso de desarrollo de nuevos productos vs otras metodologías.	38
Figura 17. Flujograma del proceso de elaboración de prototipo de laboratorio.....	43
Figura 18. Flujograma del proceso de puesta a punto de producto a nivel semi-industrial.	45
Figura 19. Flujograma comparativo entre prototipado de laboratorio y fabricación a nivel industrial estándar desde el punto de vista cerámico.....	46
Figura 20. Eje de la propuesta metodológica. Elaboración propia.	55
Figura 21. Flujograma comparativo entre el proceso de desarrollo de producto físico entre el antes y el después.....	56
Figura 22. Diagrama de flujo de la propuesta metodológica.	58
Figura 23. Representación gráfica del EVOP 2 ²	65
Figura 24. Representación gráfica de la secuencia del EVOP.....	66

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Objetivos de la experimentación en las diferentes etapas del desarrollo de un producto.	9
Tabla 2. Contraste de los objetivos del diseño experimental con la problemática bajo análisis.	10
Tabla 3. Otros modelos de diseño experimental.	27
Tabla 4. Contraste entre EVOP, Taguchi y Superficie de respuesta para la problemática en análisis.	28
Tabla 5. Cronología bibliográfica EVOP.	31
Tabla 6. Contraste entre el proceso de desarrollo de producto en P&P Colcerámica S.A y los revisados en literatura. Elaboración propia.	40
Tabla 7. Paralelo usando las 5M entre prototipo de laboratorio y escala industrial.	47
Tabla 8. Variables de proceso que según expertos pueden tener mayor influencia en la reproducibilidad del prototipo.	48
Tabla 9. Número de referencias color desarrolladas por complejidad en el año 2010 y 2011 en Colcerámica S.A P&P.	49
Tabla 10. Tabla Pareto de los desarrollos del 2010 y 2011 por procesos.	50
Tabla 11. Análisis de diferencias entre la ficha técnica de laboratorio y la ficha definitiva de planta.	63
Tabla 12. Factores elegidos para primer ciclo EVOP.	64
Tabla 13. Diseño EVOP 2 ²	64
Tabla 14. Ejemplo elección de producto 1.	67
Tabla 15. Ejemplo de ejercicio de análisis comparativo condiciones de laboratorio y de planta.	68
Tabla 16. Factores elegidos ejemplo Producto 1.	68
Tabla 17. Ejemplo elección producto 2.	69
Tabla 18. Primer diseño EVOP ejemplo numérico.	69
Tabla 19. Resultado primer EVOP ejemplo.	69
Tabla 20. Segundo diseño EVOP ejemplo numérico.	70
Tabla 21. Resultados segundo EVOP ejemplo.	70
Tabla 22. Cronograma de implementación de la metodología del proceso de desarrollo de nuevos productos P&P Colcerámica S.A.	75

Introducción

Dentro de las organizaciones se identifica el proceso de Desarrollo de Nuevos Productos como uno de los pilares fundamentales para lograr la supervivencia y el crecimiento sostenido que permita la generación de ventaja competitiva; sin embargo, siendo un pilar importante, no es suficiente si no se logra la velocidad y flexibilidad necesarias para responder oportunamente a las necesidades del mercado, por lo que cobra vital importancia el acortar los tiempos de ciclo y la optimización de los recursos.

En el proceso de Desarrollo de Nuevos Productos de la unidad de negocio de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A, empresa de la Organización CORONA, se presenta una problemática de velocidad de respuesta en el desarrollo que se describe a continuación.

Debido a la reducción del ciclo de vida de los productos, se está requiriendo que los desarrollos de nuevos productos sean más ágiles para responder oportunamente a las tendencias del mercado. El ciclo de vida de producto se ha venido reduciendo debido a la competitividad del mercado con fuertes competidores nacionales e importadores que rápidamente detectan los productos ganadores para desarrollarlos con características similares. Para poder dar respuesta a este fenómeno se requiere tener una velocidad de respuesta para el desarrollo del nuevo producto. Esto ha llevado a que el desarrollo de nuevos productos en los últimos años en Colcerámica S.A P&P tenga un flujo de desarrollos muy altos y que se requiera que se realice cada vez más rápido.

Una de las etapas que usualmente toma más tiempo es la etapa de puesta a punto a nivel industrial en cada una de las plantas donde se producen los productos. En el año 2009 se desarrolló un proyecto bajo de metodología del VSM (*Value Stream Mapping*), a través del cual se lograron reducir las pérdidas en diversas etapas, pero no se profundizó en la etapa de puesta a punto a nivel industrial.

La problemática consiste en que para poder reproducir a nivel industrial un prototipo de laboratorio aprobado en la planta donde se va a fabricar, se requieren gran cantidad de ensayos (desde 4-5 hasta 30-40 ensayos) y se consumen recursos importantes como son los tiempos de las líneas de producción, con todas las limitaciones que hay de por medio y las implicaciones que tiene en cuanto a tiempos de desarrollo. La reproducción de los productos se realiza tomando como referencia las fichas técnicas de elaboración de prototipos de laboratorio y una vez se obtiene el primer resultado en planta, se realizan los ajustes vía ensayo y error, donde la velocidad para obtener un resultado adecuado queda a merced de la habilidad de las personas encargadas.

Para superar esta problemática se ha identificado en la literatura científica la utilización de la técnica estadística de diseño experimental, la cual, permite evaluar simultáneamente diferentes factores o parámetros sobre la variable respuesta de interés.

Este documento presenta los elementos más relevantes en la investigación realizada como trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Administrativa. El objetivo general de este trabajo es desarrollar una metodología de análisis que permita realizar el ajuste de los parámetros cerámicos y del proceso del prototipado a nivel de laboratorio para su posterior reproducción a nivel industrial, aplicado al proceso de Desarrollo de Nuevos Productos de baldosas cerámicas en la unidad de negocio de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A, empresa del grupo CORONA.

Los objetivos específicos propuestos para alcanzar el objetivo general del trabajo son:

- Revisar el marco teórico y conceptual asociado al proceso de desarrollo de nuevos productos y al diseño experimental además de la interacción de ambos conceptos, con el fin de sentar las bases conceptuales que permitan el desarrollo del trabajo y que adicionalmente permitan la justificación acerca de la pertinencia en el uso del diseño experimental como base de la propuesta metodológica para el mejoramiento del proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A. Metodológicamente se abordará a través de la definición de los conceptos teóricos clave por medio de la consulta a través de motores de búsqueda y en revistas indexadas.
- Analizar los antecedentes y el estado del arte del proceso de desarrollo de nuevos productos y del diseño experimental a través de revisión de las diferentes propuestas metodológicas que se encuentran en la literatura Metodológicamente se abordará a través de la búsqueda de información soportada en motores de búsqueda y en revistas indexadas tanto de la literatura occidental como oriental.
- Realizar un diagnóstico del proceso de Desarrollo de Nuevos Productos de baldosas cerámicas en Colcerámica S.A y compararlo con los referentes actuales del estado del arte para encontrar posibles debilidades. Metodológicamente se aborda en tres etapas; la primera a través de un contraste del proceso actual de P&P Colcerámica S.A con los hallazgos encontrados en la literatura por medio de una matriz de construcción propia; la segunda por medio de una revisión profunda de las etapas comprometidas en la problemática a través de matrices 5M, construcción de flujogramas y flujogramas comparativos y tercero a través de la revisión de información histórica disponible del proceso.
- Construir una propuesta metodológica de análisis para el mejoramiento de la puesta a punto del prototipo de laboratorio en la escala industrial, usando el diseño experimental. Metodológicamente se aborda a través de la descripción general de la propuesta para posteriormente detallarla en cada una de sus etapas y dejar planteado cómo se realizará el proceso de implementación.
- Concluir y dejar planteados los trabajos futuros.

En el capítulo 1, se plantarán las bases conceptuales asociadas al proceso de desarrollo de nuevos productos y al diseño experimental y se presentará la justificación de por qué es pertinente el uso de dicha metodología; en el capítulo 2, se revisará el estado del arte de los diferentes enfoques para gestionar el proceso de desarrollo de nuevos productos,

además de las diferentes herramientas del diseño experimental, para determinar los hallazgos que tanto desde el punto de las metodologías para gestionar el proceso de desarrollo de nuevos productos como desde las herramientas de diseño experimental, pueden ser utilizadas para el planteamiento de una propuesta metodológica de mejoramiento; en el capítulo 3, se hará un diagnóstico del proceso de desarrollo de nuevos productos que permita finalmente, en el capítulo 4, elaborar una propuesta metodológica, concluir y dejar planteados los trabajos futuros.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En el presente capítulo se lleva a cabo una revisión de los conceptos teóricos claves que soportan el desarrollo del presente trabajo y se discute la justificación del uso del diseño de experimentos como base para la elaboración de la propuesta metodológica de mejoramiento dentro del proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A.

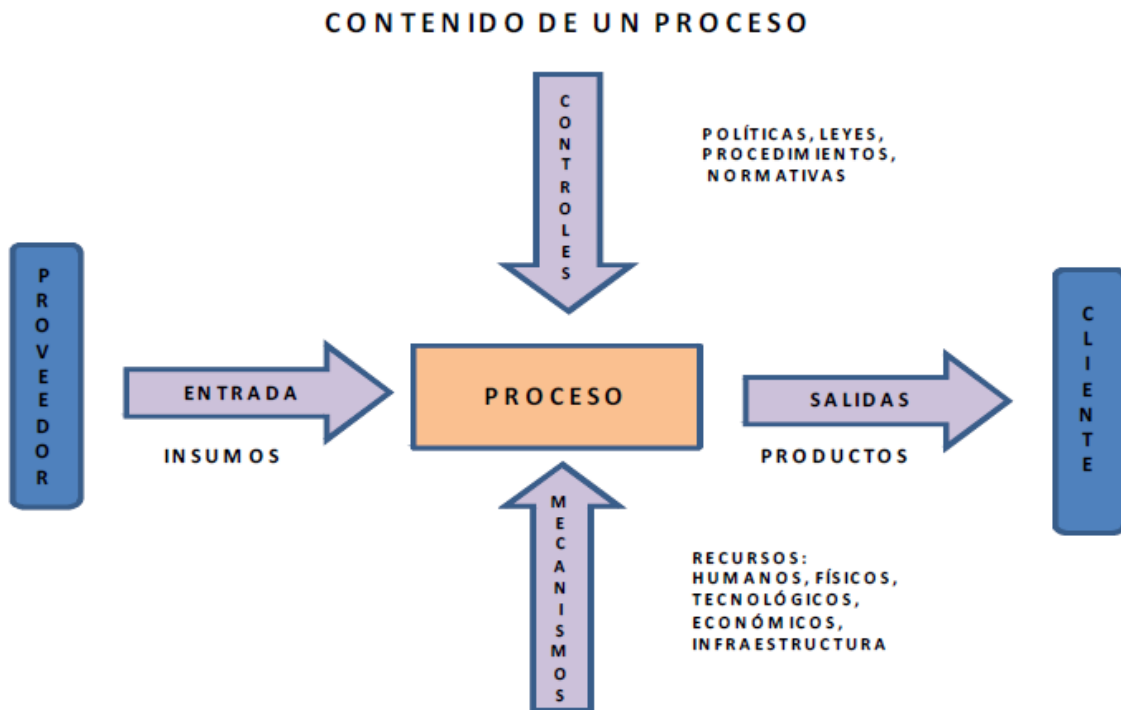
Metodológicamente el capítulo se aborda a través del listado de todos los conceptos teóricos importantes y su respectiva definición, con el fin de situar conceptualmente con claridad el espacio de ideas donde se encuentra la discusión y desarrollo del presente trabajo. La información presentada es el resultado de una búsqueda realizada a través de los motores como Scopus y Google Scholar y en bases de datos especializadas de revistas indexadas como Emerald, Science Direct y JStor. En cuanto a la justificación del diseño de experimentos como base metodológica, el abordaje se realiza a través del contraste entre los objetivos del diseño experimental contra la problemática en cuestión y tomando como apoyo los argumentos referidos al contexto de la empresa y de la elaboración del presente trabajo.

1.1 El concepto de Proceso.

De acuerdo con James Harrington (1993) se entiende por proceso a cualquier actitud o grupo de actividades que emplea un insumo, le agregue valor y suministre un producto a un cliente externo o interno. De esta manera todas las actividades presentes en desarrollo de un proceso deben tener un propósito común orientado a la satisfacción de la necesidad del cliente.

Otra definición de proceso es aquella dada por ISO (*International Organization for Standardization*) 9000, 9001 y 9004 que establece: “es un set de actividades que están interrelacionadas o que interactúan una con la otra. Los procesos usan recursos para transformar las entradas en salidas. Los procesos están interconectados porque la salida de un proceso se convierte en la entrada para otro proceso. En efecto, los procesos están ligadas estrechamente representados en la relación entrada-salida”. También establece que: “los procesos organizacionales deben ser planeados y ejecutados bajo condiciones controladas y que un proceso efectivo es el que realiza actividades planeadas y consigue los resultados planeados”.

Una definición adicional establece proceso como la transformación de entradas en salidas; las entradas pueden ser recursos o requerimientos, mientras que las salidas pueden ser productos o resultados. Las salidas pueden o no añadir valor y podrían ser una entrada para otro proceso.

Figura 1. Contenido de un proceso.

Fuente: Tomado de Ney Osorio (2010).

1.1.1 Elementos de un proceso:

Un proceso está constituido por los siguientes elementos (Osorio, N.; 2010):

- Misión: la misión de un proceso determina el fin para el cual fue concebido en relación directa a los objetivos del mismo.
- Entrada: las entradas del proceso pueden ser tangibles o intangibles y son los insumos para realizar el servicio (equipos, materiales, componentes, energía, información, etc.)
- Transformación: la transformación es el conjunto de actividades y tareas que recibiendo una entrada, le agrega valor y genera una salida para el usuario, el cual puede ser interno o externo.
- Salida: es el producto o servicio generado por un proceso, para el usuario.
- Controles: Sistemas de medida y control que mediante la generación de datos, permiten analizar el desempeño de los procesos
- Recursos: Constituyen el apoyo humano, económico, logístico, tecnológico y de infraestructura que interactúa en distintas relaciones dentro de la organización.
- Límites de Proceso: Se definen por el alcance de las actividades incluidas, las entradas requeridas, las salidas generadas, y los recursos relacionados.

1.2 El concepto del Desarrollo de Nuevos Productos.

De acuerdo con la PDMA (*Product Development and Management Association*), el desarrollo de productos se define como "el proceso completo de estrategia, organización, generación de concepto, creación y evaluación del plan de mercadotecnia y producto, así como la comercialización de un nuevo producto; también frecuentemente referido solo como desarrollo de producto".

De acuerdo con el Manual de Oslo (2005) los nuevos productos son bienes y servicios que difieren significativamente desde el punto de vista de sus características o del uso al cual se destinan, de los productos preexistentes.

1.1.2 Prioridad estratégica del Desarrollo de Nuevos productos.

El proceso de desarrollo de nuevos productos es reconocido como primordial por diversos autores de cara a la supervivencia de las compañías en el largo plazo (Urban and Hauser, 1993; Wesner et al., 1994; Wheelright y Clark, 1992; Zangwill, 1993; citado por Ellekjær y Bisgaard, 1998). En el entorno competitivo actual, se convierte en una prioridad para las empresas que buscan una ventaja competitiva a través de pilares básicos como el mejoramiento, la innovación y el cambio. Sin embargo, dicha necesidad no implica solamente generar la ventaja competitiva, sino sostenerla en el tiempo, para lo cual es necesario tener un mejoramiento incesante por medio de estrategias que implican gran calidad en los productos (Porter, 1991).

Si bien con el planteamiento de Porter acerca de la ventaja competitiva de las empresas ha fundamentado el terreno para convertir el desarrollo de nuevos productos en uno de los pilares fundamentales para la supervivencia de las empresas, no sería suficiente per se, pues son de vital importancia la velocidad y flexibilidad para responder de manera oportuna a las necesidades del mercado (Takeuchi y Nonaka, 1986).

1.2 Diseño experimental como herramienta para el mejoramiento y/u optimización de procesos.

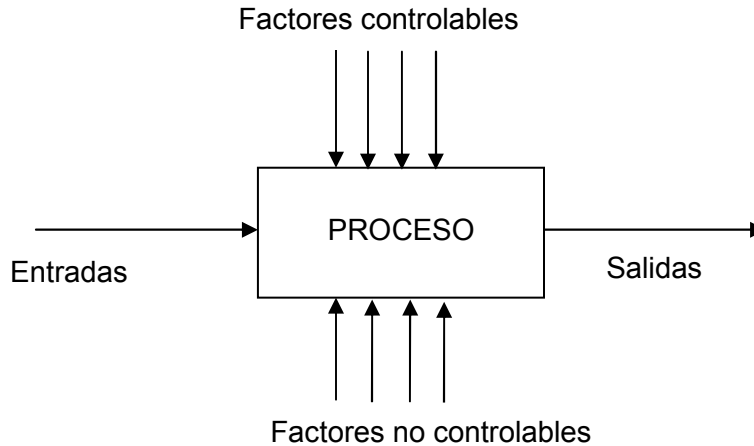
De acuerdo con Montgomery (2001), los experimentos son realizados por los investigadores prácticamente en todos los campos de la ciencia con el fin de descubrir algo particular respecto a un proceso o sistema, los cuales pueden describirse de acuerdo con la Figura 2.

El diseño experimental tiene tantas aplicaciones que ya es visto prácticamente como parte del proceso científico y sus objetivos son:

- Determinar las variables que más influyen las respuestas.
- Determinar dónde establecer las variables x_s , de manera que las respuestas se encuentren lo más cerca posible de la respuesta deseada.
- Determinar dónde establecer las variables x_s , de manera que la variabilidad de la respuesta sea pequeña.

- Determinar dónde establecer las variables x_s , de manera que las variables incontrolables en las respuestas sean pequeñas (Montgomery, 1999, 2000).

Figura 2. Modelo general de un proceso o sistema desde la óptica del diseño experimental.



Fuente: Montgomery (1999).

Teniendo como referencia las premisas que expone Montgomery, uno de los referentes a nivel mundial en cuanto al tema de diseño de experimentos y revisando detalladamente los objetivos del mismo, es posible identificar claramente que dichos objetivos apuntan directamente al mejoramiento y/u optimización de los procesos.

1.3 Componente experimental del proceso de desarrollo de nuevo producto.

De acuerdo con Page (1993; citado por Ellekjær y Bisgaard, 1998) gran parte del tiempo del desarrollo de un producto se consume en el desarrollo físico del producto, y la mayor parte del tiempo de dicho desarrollo físico es debido a la experimentación por lo que para acelerar el desarrollo del producto es necesario llevar a cabo una experimentación cada vez más eficiente. Para lograr este objetivo, el diseño experimental es una de las herramientas que ayudan además de reducir los tiempos de ciclo de los desarrollos, mejorar la calidad y reducir los costos de manufactura Ellekjær y Bisgaard (1998).

Según Ellekjær y Bisgaard (1998), el diseño y manufactura de los productos nuevos es una tarea difícil debido a la influencia de múltiples variables en las características de desempeño y las interrelaciones complejas entre las mismas, lo que lleva usualmente a la incertidumbre sobre los desempeños y posibles problemas de calidad y de confiabilidad. Estas relaciones pueden ser manejadas con experiencia y en mayor medida son determinadas por experimentación basadas en intuición o en adivinación. La experimentación igualmente se usa diariamente para probar materiales, procesos y dispositivos, desarrollar nuevas ideas y conceptos, optimizar desempeño, hacer productos robustos y mejorar la confiabilidad. Y esto se puede realizar, ya sea desde simples planteamientos experimentales, hasta complejos multifactoriales basados en diseños de principios estadísticos.

La percepción común es que la experimentación solamente juega un papel importante en la etapa de prototipo en el ciclo del desarrollo, sin embargo, establece que hay inmensas oportunidades en usar la experimentación entre las diferentes fases del desarrollo (Mørup, 1993; Urban and Hauser, 1993; citado por Ellekjær y Bisgaard, 1998), incluyendo aquella entre prototipo y puesta a punto a nivel industrial.

De lo anterior puede establecerse que el proceso de desarrollo de nuevos productos tiene una componente experimental importante y por tal razón tener una experimentación efectiva es clave a la hora de reducir tiempos de ciclo de desarrollo, reducir costos de manufactura y mejorar calidad, reproducibilidad, y confiabilidad de producto.

De acuerdo con Montgomery (1999) el diseño estadístico de experimentos juega un rol importante en el proceso de diseño y desarrollo de producto que denotan una alta aplicabilidad. Adicionalmente, es una herramienta efectiva para identificar y seleccionar las variables de diseño y las condiciones de proceso más importantes de un producto que den como resultado el menor costo, la mayor calidad y la mejor confiabilidad de producto (Montgomery, 1999; Hahn, 1984; Nuno *et al.*, 2006; Ellekjær y S. Bisgaard, 1998).

De acuerdo con Ellekjær y Bisgaard (1998) las ventajas del diseño experimental en el desarrollo de producto son:

- Optimización simultánea de varios factores. El diseño experimental puede incrementar la eficiencia de la experimentación y solucionar los problemas que tienen lugar durante el desarrollo de un producto.
- Reducción simultánea de costo y mejoramiento de calidad.
- El producto se puede volver robusto a variaciones de variables no controlables.
- Provee una aproximación sistemática para la solución de problemas durante el proceso de desarrollo.
- Existen diferentes software desarrollados para planear y analizar los experimentos que usan diferentes técnicas de diseño de experimentos.

Estos objetivos pueden ser alcanzados en cualquiera de las etapas del desarrollo de un nuevo producto, aunque como es bien sabido de acuerdo con Wheelright y Clark (1992) citado por Ellekjær y Bisgaard (1998), entre más aguas abajo se tomen las decisiones que impliquen cambios, más costoso y más difícil es de cambiar. Esto ratifica que un prototipado bien elaborado evita posteriores re-procesos y es en esta etapa donde se deben concentrar los esfuerzos.

De acuerdo con Montgomery (1999) y Montgomery *et al.* (2000) una manera adecuada de aproximarse al proceso de desarrollo de nuevos productos, consiste de 3 etapas: caracterización, control y optimización. Caracterización referida a la identificación de las variables claves del proceso que afectan el desempeño de salida, control para identificar los efectos de localización y de dispersión y optimización para establecer las variables del proceso que mejor respuesta dan en la operación del proceso.

Tabla 1. Objetivos de la experimentación en las diferentes etapas del desarrollo de un producto.

Desarrollo de concepto	<ul style="list-style-type: none"> • Probar teorías y conceptos existentes. • Establecer nuevas teorías y conceptos. • Prueba de principio. • Generación de nuevas ideas.
Desarrollo de prototipo	<ul style="list-style-type: none"> • Desempeño de producto. • Robustez y confiabilidad. • Sensibilidad a la variación de componentes. • Simplicidad.
Preparación para manufactura y ensayos en producción	<ul style="list-style-type: none"> • Que se pueda manufacturar. • Simplicidad. • Sensibilidad a la variación de componentes. • Tolerancia. • Confiabilidad. • Costo.
Arranque y producción	<ul style="list-style-type: none"> • Desempeño. • Calidad. • Confiabilidad. • Costo. • Simplicidad.

Fuente: Ellekjær y Bisgaard (1998).

Con esta información se ratifica que el proceso de desarrollo de nuevos productos tiene una alta componente experimental y su aplicabilidad se encuentra principalmente en las etapas de prototipo, de preparación para la manufactura y en la producción, aunque puede ser aplicado también en otras etapas.

1.4 ¿Por qué usar el DOE para la problemática en cuestión?.

Recordando la problemática que se aborda en el presente trabajo, donde existen inconvenientes en torno a la reproducción a nivel industrial de los prototipos de laboratorio durante el proceso de desarrollo de nuevos productos de la división de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A y tomando como referencia la conceptualización realizada en los numerales 1.2 y 1.3, es posible discutir en torno al por qué es pertinente el uso del DOE como base para la propuesta metodológica.

En primera instancia, es pertinente realizar un contraste entre los objetivos del diseño experimental y la problemática que se aborda para determinar cuál sería la conveniencia de uso de dicha metodología. A continuación en la tabla 2 se realiza el respectivo análisis.

Tabla 2. Contraste de los objetivos del diseño experimental con la problemática bajo análisis.

Objetivo	Aplicabilidad
Determinar las variables que más influyen las respuestas.	Permitiría definir cuáles son las variables que en el prototipado de laboratorio tienen mayor influencia sobre la adecuada reproducción a nivel industrial del producto.
Determinar dónde establecer las variables x's, de manera que las respuestas se encuentren lo más cerca posible de la respuesta deseada.	Permitiría definir en qué valores establecer las variables que en el prototipado de laboratorio tienen mayor influencia sobre la reproducción a nivel industrial deseada.
Determinar dónde establecer las variables x's, de manera que la variabilidad de la respuesta sea pequeña.	Permitiría reducir la variabilidad.
Determinar dónde establecer las variables x's, de manera que las variables incontrolables en las respuestas sean pequeñas	Permitiría establecer los valores de las variables que en el prototipado mejor aíslan sobre la reproducción en planta, las variables que no son controlables.

Fuente: Elaboración propia.

En segunda instancia, se desean revisar algunos de los beneficios del uso de diseño experimental como herramienta de mejoramiento dentro del contexto de la empresa:

- No es una herramienta metodológica extraña para la compañía.
- Los experimentos son la esencia del área de Desarrollo de Nuevos Productos. Este tema es soportado por la literatura en el numeral 1.3, cuando se discutía acerca del alto componente experimental que tiene el proceso.
- Los equipos humanos involucrados con los desarrollos de nuevos productos están habituados a usar el diseño experimental.
- Es posible hacer una buena combinación de la practicidad que requieren las empresas con el aporte y la rigurosidad metodológica que da la herramienta.
- La línea de producción de la maestría en Ingeniería Administrativa de la Universidad Nacional de Colombia, cuenta con especialistas en el tema de diseño experimental, por ende el aporte y direccionamiento del presente trabajo al elegir este campo cuentan con todo el respaldo necesario.

Es importante además referir algunas de las características generales claves que tiene el proceso de Desarrollo de Nuevo Producto entre laboratorio y puesta a punto a nivel industrial que deben ser tenidas en cuenta para la revisión y selección del tipo de herramienta experimental que se desea usar:

- Existen variaciones de materias primas que si bien son controlados dentro de ciertos estándares, al ser productos provenientes en gran medida de materiales naturales (explotación de minas) tienen ciertas variaciones.
- El proceso de cocción cerámico es un proceso de reacciones complejas en el que prácticamente cada horno tiene características particulares que pueden representar en resultados diferentes (no drásticos, pero sí diferencias) a pesar de que las curvas de cocción estén estandarizadas y sean comparativas. Por tal razón al quemar en hornos diferentes como es el caso entre un horno piloto y un horno industrial puede ser una variable no completamente controlable.
- El alto flujo de trabajo traducido a una gran cantidad de desarrollos limita desde el punto de vista de número de ensayos a realizar.
- Existe una gran diversidad de tipologías de producto. Lo ideal es encontrar una herramienta flexible al espectro de dichas tipologías.
- Existen limitantes desde el punto de vista económico por la cantidad de tipologías de producto y el alto flujo de trabajo.

En el presente capítulo se logró llevar a cabo una revisión de las bases conceptuales sobre las que se fundamenta el presente trabajo. Se logró realizar una revisión de conceptos claves como proceso y sobre esta base establecer qué es el proceso de desarrollo de nuevos productos y por qué es tan importante para las compañías. También fue posible revisar el concepto de diseño experimental como herramienta para el mejoramiento de procesos y establecer que el proceso de desarrollo de nuevos productos tiene una alta componente experimental, razón por la cual se justifica la conveniencia de abordar la problemática en estudio a través del diseño de experimentos. De manera concluyente respecto al presente capítulo es posible determinar que el proceso de desarrollo de nuevos productos y el diseño experimental están cercanamente ligados tanto de manera conceptual como desde su aplicación para el mejoramiento de procesos y que bajo la realidad del proceso de desarrollo de nuevos productos, es posible determinar que el diseño experimental es una herramienta adecuada para el abordaje de la problemática en cuestión.

Con la revisión de los conceptos abordados en el presente capítulo, quedan claras las bases que permiten el desarrollo del presente trabajo, pues partiendo de los conceptos generales y llegando a los particulares, fue posible situar con claridad desde el punto de vista conceptual en dónde se encuentra la discusión y desarrollo del presente trabajo.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se realiza una revisión del estado del arte de dos grandes elementos. El primero de ellos es el proceso de desarrollo de nuevos productos, donde se revisarán las diferentes aproximaciones metodológicas encontradas en la literatura para la gestión de dicho proceso y en segunda instancia se revisan los diferentes modelos del diseño experimental que pueden ser utilizados como base de la propuesta metodológica de mejoramiento del proceso de desarrollo de nuevos productos; esto permitirá fundamentar el análisis referido al diagnóstico del proceso que se realiza actualmente en Colcerámica S.A y determinar la elección de la metodología de desarrollo de nuevo producto y de diseño experimental que mejor se acomoda a la problemática en cuestión.

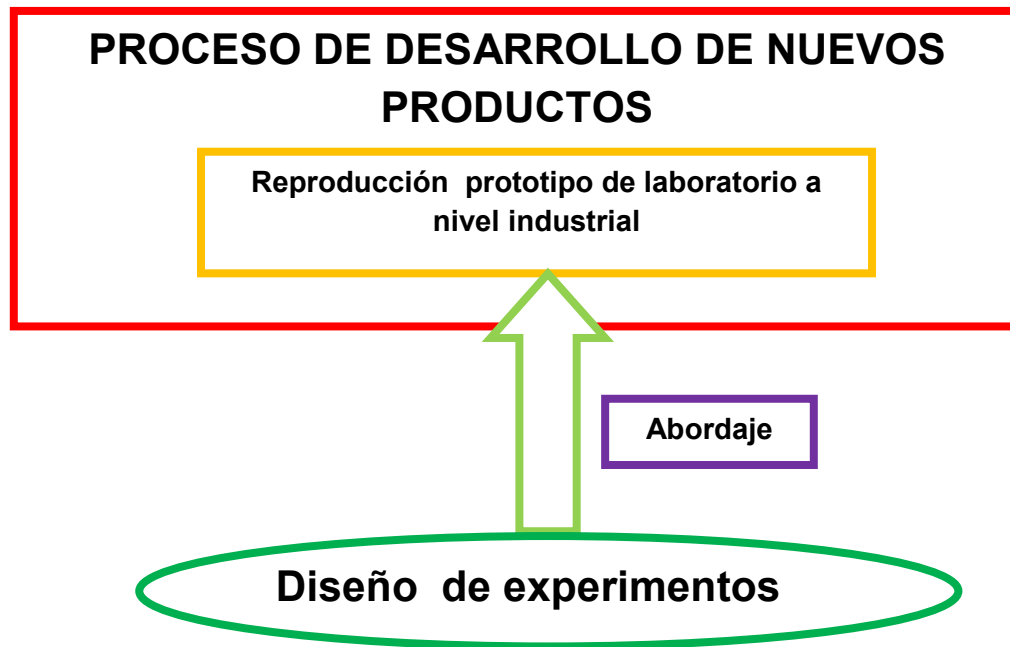
En otras palabras, se realizará la ubicación conceptual del problema que se aborda en el trabajo, partiendo desde el macro-proceso de desarrollo de nuevos productos y finalizando con el diseño experimental, en ambos revisando hasta qué punto ha llegado la comunidad científica en el desarrollo de estos temas.

Metodológicamente se aborda a través de la búsqueda de información de los temas mencionados, soportada en los motores Scopus y Google Scholar y en bases de datos de revistas especializadas indexadas como Emerald, Science Direct y JStor. Adicionalmente, teniendo en cuenta que las bases de datos de revistas consultadas hacen parte sólo las publicaciones del mundo occidental, se realiza una revisión en la base de datos DOEJ (*Directory of Open Access Journals*), que posee un número importante de revistas de Asia y África, lo que garantiza un barrido completo de diferentes fuentes de información.

2.1 Ubicación de la exploración bibliográfica.

Antes de iniciar con el desarrollo del estado del arte, es pertinente delimitar el campo de revisión con base en el problema de investigación y la decisión de utilizar el diseño experimental como herramienta base para la propuesta metodológica según se discutió en el capítulo anterior.

Figura 3. Ubicación gráfica de la exploración bibliográfica.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior, el problema de investigación está referido a la reproducción de un prototipo de laboratorio a nivel industrial como parte del proceso de desarrollo de nuevos productos, y para dicho fin, se usará el diseño experimental como herramienta de apoyo para el desarrollo de la propuesta metodológica. Por esta razón, el estado del arte girará en torno a estos elementos.

2.2 Aproximaciones metodológicas para el desarrollo de nuevos productos.

A continuación se presentan las diversas aproximaciones metodológicas encontradas en la literatura para la realización del proceso de desarrollo de nuevos productos.

2.2.1 Stage-Gate®.

Stage-Gate®, es una metodología ampliamente implementada a nivel empresarial para estructurar el proceso de desarrollo de nuevos productos. Fue desarrollada por el Ph.D. Robert G. Cooper para ser aplicada en los procesos de innovación de producto de las compañías y surgió con base en los comentarios de gerentes y observaciones realizadas durante trabajos al interior de alrededor de 60 empresas en años previos a 1986.

Como tal, el Stage-Gate® es una hoja de ruta conceptual y operacional para gestionar un nuevo producto desde una idea hasta su lanzamiento, y divide los esfuerzos en distintas etapas separadas por puertas de decisión gerencial. Equipos multifuncionales deben completar exitosamente una serie de tareas en cada una de las etapas antes de obtener

una aprobación para proceder a la siguiente etapa de desarrollo de producto. Usualmente la decisión la toma un gerente o un comité de dirección teniendo en cuenta la información disponible hasta ese momento, donde se incluyen análisis de riesgo, disponibilidad de recursos necesarios, etc.

El modelo Stage-Gate® se refiere al uso de herramientas de embudo en la toma de decisiones cuando se trata del desarrollo de nuevos productos. Las puertas (*Gates*) o puntos de decisión se colocan en los lugares del proceso de desarrollo de productos que resulten más beneficiosas para tomar decisiones respecto a la continuación del desarrollo del producto. Estas áreas de decisión entre las puertas son la generación de ideas, el establecimiento de la viabilidad, el desarrollo de la capacidad, las pruebas y la validación y el lanzamiento del producto. Al término de cada una de estas etapas de desarrollo de un nuevo producto, es responsabilidad de la alta dirección tomar una decisión acerca de si el producto debe seguir desarrollándose o no.

- Etapas: el proceso tradicional de Stage-Gate® tiene cinco etapas y cinco puertas. Las etapas son:
 - Alcance.
 - Construir caso de negocio.
 - Desarrollo.
 - Pruebas y Validación.
 - Lanzamiento.

Por convención, las puertas entre etapas tienen el mismo número que la etapa que las sigue (Cooper, 1993).

En la primera parte del proceso, hay una fase preliminar o ideación, llamada descubrimiento, y después de la 5^a etapa el proceso termina con la revisión post-lanzamiento. Los principales proyectos de nuevos productos pasan por el proceso completo de cinco etapas. En proyectos de moderado riesgo, incluidas las prórrogas, modificaciones y mejoras, se puede utilizar la versión corta XPress. Muy pequeños cambios (por ejemplo, solicitudes de la fuerza de ventas y de mercadeo) pueden ser ejecutados mediante un proceso ligero (Stage-Gate Lite®). Cada etapa consiste en un conjunto de actividades prescritas, inter-funcionales, y en paralelo realizadas por un equipo de personas de diferentes áreas funcionales. Las etapas tienen una estructura común y se componen de tres elementos principales: a) Actividades, b) Análisis integrado, c) Entregables. Las actividades consisten principalmente en la recopilación de información por parte del equipo del proyecto para reducir las principales incertidumbres y riesgos. El análisis integrado de los resultados de las actividades se lleva a cabo por el equipo del proyecto. Los entregables de las etapas son los resultados de los análisis integrados que se utilizan como entrada para la puerta de al lado.

- Puertas: las puertas proveen varios puntos durante el proceso en las que se lleva a cabo una evaluación de la calidad de una idea. Incluye tres temas principales:
 - Calidad de ejecución: comprueba si el paso anterior se ejecutó adecuadamente.

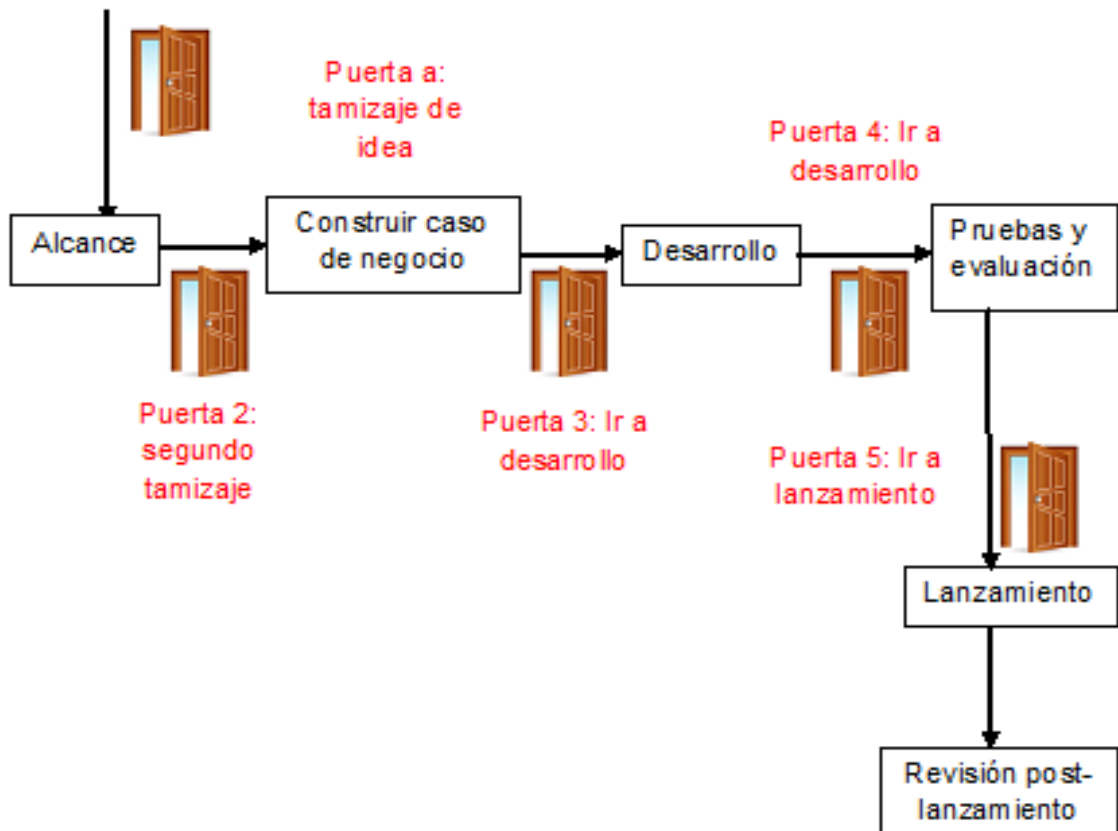
- Justificación de la empresa: ¿el proyecto continúa como una idea atractiva desde el punto de vista económico y empresarial?.
- Plan de acción: el plan de acción propuesto y los recursos solicitados.

Una reunión de la puerta puede dar lugar a cuatro resultados: continuar (*go*), matar (*kill*), detener (*hold*) o reciclar (*recycle*).

Las puertas tienen una estructura común y se componen de tres elementos principales: los entregables, los criterios y las salidas.

- Entregables: lo que el director del proyecto y el equipo entregan al punto de decisión. Estos entregables se deciden en la salida de la puerta anterior y se basan en un menú estándar de entregables para cada puerta.
- Criterios: las preguntas o indicadores sobre los que se juzga el proyecto a fin de tomar la decisión *go / kill / hold / recycle* y la decisión de prioridades.
- Salidas: los resultados de la revisión de la puerta (una decisión *go / kill / hold / recycle*), junto con un plan de acción aprobado para la siguiente (Cooper, 1985 y Cooper, 1994).

Figura 4. Modelo Etapa Puerta (Stage-Gate ®).



Fuente: Tomado y adaptado de 12 Manage (2011).

En términos generales puede decirse que el Stage Gate® es una metodología de etapas secuenciales que teniendo una amplia aplicación en el mundo empresarial se destaca por su rigurosidad en la evaluación de cada desarrollo para no permitir que siga adelante si no cumple con todos los requerimientos de cada etapa. Desde el punto de vista del problema de investigación, es una metodología que tiene una etapa de desarrollo físico y otra para pruebas y evaluación, sin embargo no se evidencia recomendaciones especiales para el proceso de paso desde prototipo de laboratorio a la escala industrial.

2.2.2 Proceso de desarrollo tradicional: Aproximación modificada del proceso lineal a cíclico.

El proceso de desarrollo de nuevos productos como se ha presentado tradicionalmente en la literatura académica y que de igual medida se ha aplicado en las industrias es un proceso lineal conformado por las diversas etapas, básicamente enmarcadas bajo tres macro-actividades: la conceptualización, el desarrollo físico y el lanzamiento e implementación en el mercado. Sin embargo, este proceso en la realidad está dejando de ser lineal para convertirse en un proceso prácticamente cíclico. A continuación se presenta una representación gráfica del proceso tradicional con una modificación sugerida por Ellekjær y Bisgaard (1998).

Figura 5. Proceso de desarrollo de nuevos productos cíclico.



Fuente: Ellekjær y Bisgaard (1998).

De acuerdo con la Figura 5, a diferencia del proceso tradicional lineal, esta propuesta da cuenta de la misma secuencia de actividades pero con la adición de dos grandes elementos, el primero la retroalimentación correctiva-aprendizaje, pues después de cada

desarrollo hay asuntos que corregir y retroalimentar para iniciar con un nuevo producto desde la conceptualización y segundo, que con el lanzamiento al mercado y la recolección de información del mismo no finaliza el desarrollo del producto, sino que se convierte en insumo de entrada para el siguiente, de manera que se da lugar a la formación de un ciclo.

Dentro de la propuesta de Ellekjær y Bisgaard (1998) se evidencia también cómo queda enmarcado este proceso dentro del ciclo de Deming, PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) (Deming, 1986; citado por Ellekjær y Bisgaard, 1998), aunque esta visión del proceso está referida desde el punto de vista macro, pues cualquiera de las etapas tiene el mismo ciclo implícito. Desde el punto de vista macro, tal como se presenta en la figura 5, el proceso de desarrollo de nuevos productos está directamente relacionado con el PHVA, pues las etapas de conceptualización son etapas de planeación, las etapas de elaboración física de prototipo o de muestras, son etapas de hacer o ejecución, las etapas de puesta a punto del producto en producción son etapas de verificación de obtención de las características necesarias del producto y por último las etapas de introducción al mercado son etapas en las que se deben realizar los ajustes necesarios de acuerdo con la información del mercado. Sin embargo, desde el punto de vista micro, cada una de las etapas también tiene implícito el ciclo, pues por ejemplo la conceptualización como tal debe llevar una planeación para luego hacer el concepto, verificar que es lo que se necesita y si no realizar las correcciones del caso para continuar a la siguiente etapa.

Puede concluirse por tanto de esta metodología que es la que tradicionalmente las empresas han utilizado de manera natural, haciendo las respectivas adecuaciones a sus particularidades dentro del marco del ciclo PHVA. Se resalta que es cíclica, pues al cierre de cada desarrollo se tiene retroalimentación al proceso para posteriores desarrollos. Desde el punto de vista del problema de investigación, se presentan etapas explícitas para el prototipado y para la preparación de manufactura, sin embargo no se evidencia ningún enfoque particular para el abordaje entre estas dos etapas.

2.2.3 Ingeniería concurrente en desarrollo de nuevos productos.

De acuerdo con la IDA (*Institute for Defense Analysis*), la ingeniería concurrente es el esfuerzo sistemático para el diseño integrado y concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y de servicio. Pretende que los desarrolladores, desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde el diseño conceptual, hasta su disponibilidad incluyendo calidad, costo y necesidades de los usuarios.

El principio de la ingeniería concurrente es coordinar el trabajo simultáneo de los diversos departamentos de la empresa que intervienen en el desarrollo del producto como son: mercadeo, ingeniería del producto, ingeniería de proceso, calidad, ventas, Mantenimiento, Costos, etc. (Ibañez, 2000; citado por Carretero *et al* 2002). Es un concepto que sustituye el tradicional esquema secuencial del desarrollo de nuevos productos y lo reemplaza por trabajo simultáneo desde el momento en que se inicia el desarrollo del nuevo producto.

De acuerdo con Carretero *et al.* (2002), algunas de los aspectos importantes de esta filosofía son:

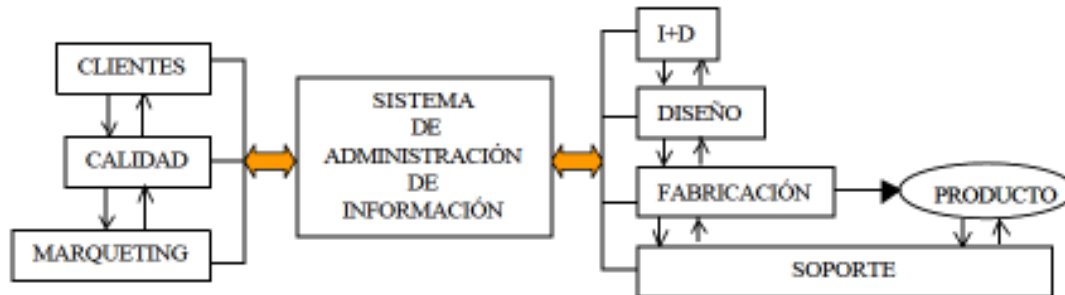
- Determinar las necesidades de los clientes. Se cuenta con metodologías como el despliegue de función de calidad (QFD).
- Se tienen en cuenta los procesos de fabricación a través de las consideraciones de diseño. Una de las técnicas disponibles es el diseño para una X (DFX).
- Utilizar las tecnologías de información como elemento del soporte en equipo con sistemas de gestión de datos por PDM.

De acuerdo con Carretero *et al.* (2002), los principales beneficios de la Ingeniería concurrente pueden resumirse en:

- Integrar los departamentos de una forma muy estrecha.
- Aumentar el control de los costos de diseño y fabricación.
- Reducir el tiempo de desarrollo del producto.
- Mejorar la competitividad en todos los sentidos.

El esquema gráfico del modelo de ingeniería concurrente para desarrollo de nuevos productos se presenta a continuación.

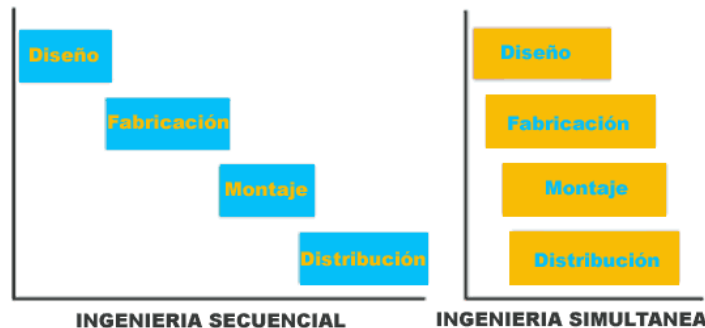
Figura 6. Modelo de ingeniería concurrente para desarrollo de nuevos productos.



Fuente: Tomado de Carretero *et al.* (2002).

En la figura siguiente se presenta un paralelo entre la ingeniería tradicional y la ingeniería concurrente.

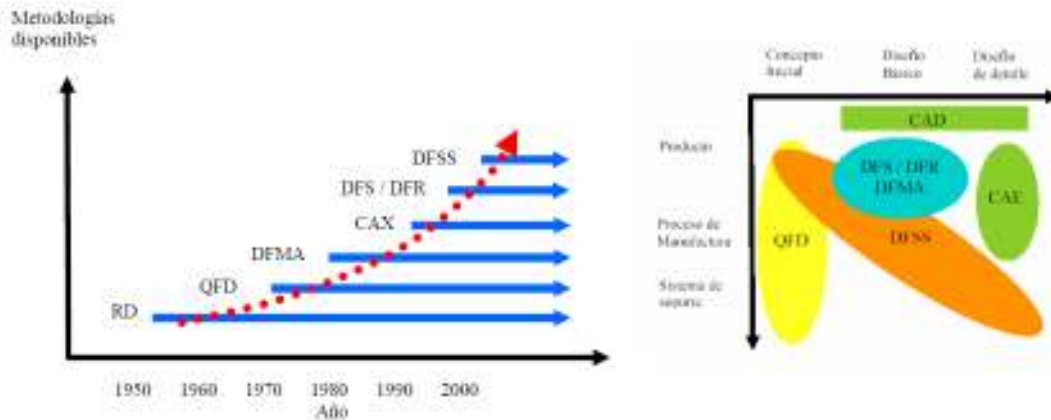
Figura 7. Concepto de ingeniería secuencial vs ingeniería concurrente.



Fuente: Tomado de Espinosa (disponible en línea).

Metodológicamente, la ingeniería concurrente ha venido evolucionando a través de los años con la incorporación de herramientas como las que se presentan en la figura 8 y que tienen aplicación en diversas etapas de desarrollo de un nuevo producto o proceso. Dichas herramientas son RD (*Robust Design*), QFD (*Quality for Design*), DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*), CA (*Computer Aided*), DFR (*Design for Recycling*), DFS (*Design for Sustainability*), DFSS (*Design for Six Sigma*).

Figura 8. Metodologías disponibles dentro de la ingeniería concurrente y las etapas para las que normalmente aplica.



Fuente: Tomado de Ahuet (2006).

Como conclusión de esta metodología puede decirse que tiene un enfoque completamente diferente a las metodologías de etapas secuenciales, pues desde el inicio involucra a todas las áreas que intervienen en el proceso de desarrollo y se inician la mayor parte de actividades que pueden realizarse sin esperar que otras estén finalizadas. Ofrece un enfoque de trabajo conjunto proactivo y cuenta con un palmarés de herramientas para aplicar en diversas etapas. Desde el punto de vista del problema de investigación, si bien ofrece un enfoque interesante para el proceso completo de desarrollo de nuevos productos, no se encuentra dentro del alcance la intervención integral del proceso pues el problema está acotado entre el prototipado y la puesta a punto a nivel industrial y en este caso como son etapas de fabricaciones físicas en las que depende la finalización de una para la continuación de la otra, no se podría realizar de manera simultánea a menos que se cuenten con recursos económicos importantes o de sistemas informáticos muy potentes. Por ende, no se ve factible la utilización la elaboración del proceso de desarrollo de nuevos productos en Colcerámica S.A P&P para las etapas entre prototipado y puesta a punto a nivel industrial.

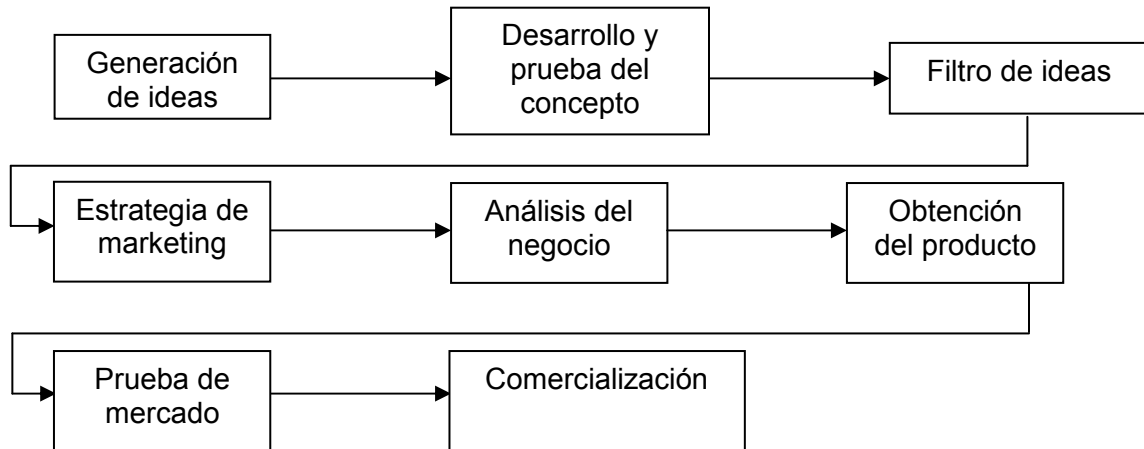
2.2.4 Otras metodologías para el desarrollo de nuevos productos.

A continuación se presentan otras aproximaciones metodológicas para el desarrollo de nuevos productos, donde las propuestas radican básicamente en presentar de una manera ordenada el desarrollo de un nuevo producto y haciéndose énfasis en ciertas etapas, de acuerdo con la posición de cada autor, pero teniendo básicamente con la misma estructura de las metodologías revisadas en los numerales 2.1.2 y 2.1.1.

- Propuesta de Kotler.

La propuesta de Kotler (1995), citado por Lopez Nunes (2004) se presenta en la figura 9. Como puede verse, esta propuesta tiene un enfoque con énfasis comercial, pues las etapas propuestas explícitas dentro de la metodología están en su mayoría relacionadas con la generación de ideas y su respectiva validación en el mercado, incluso desde el inicio con el mismo concepto.

Figura 9. Metodología de Kotler.

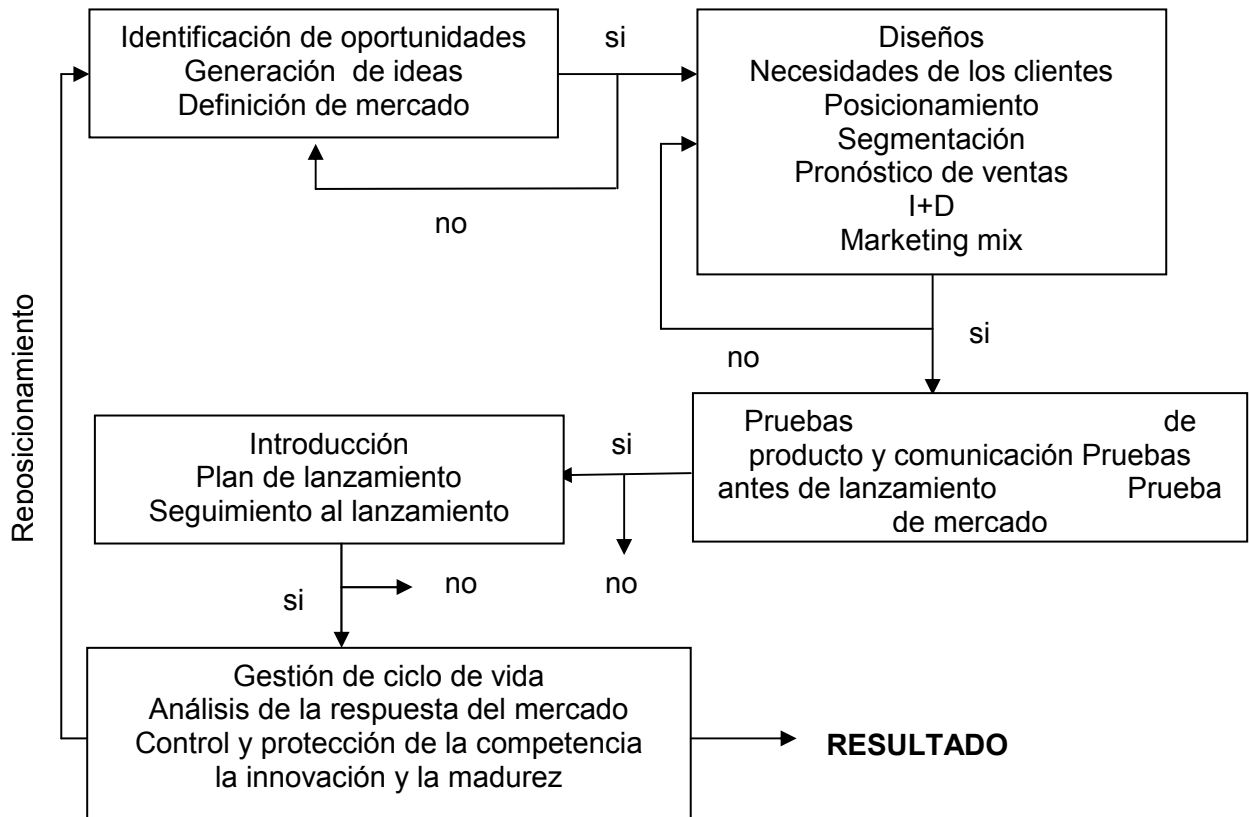


Fuente: Lopes Nunez (2004).

- Propuesta de Urban y Hauser.

La propuesta de Urban y Hauser (1993), citada por Lopes Nunes (2004) tiene una componente importante de análisis comercial exhaustivo tanto antes de la realización de pruebas de producto, como luego de que el producto se encuentra en el mercado. Las etapas de la metodología propuesta por Urban y Hauser (1993) se presentan en la Figura 10. Es de resaltar que luego de cada etapa se realiza una evaluación para definir si se debe continuar o no con el desarrollo del nuevo producto o a qué etapa debe volver para ajustar lo que sea necesario.

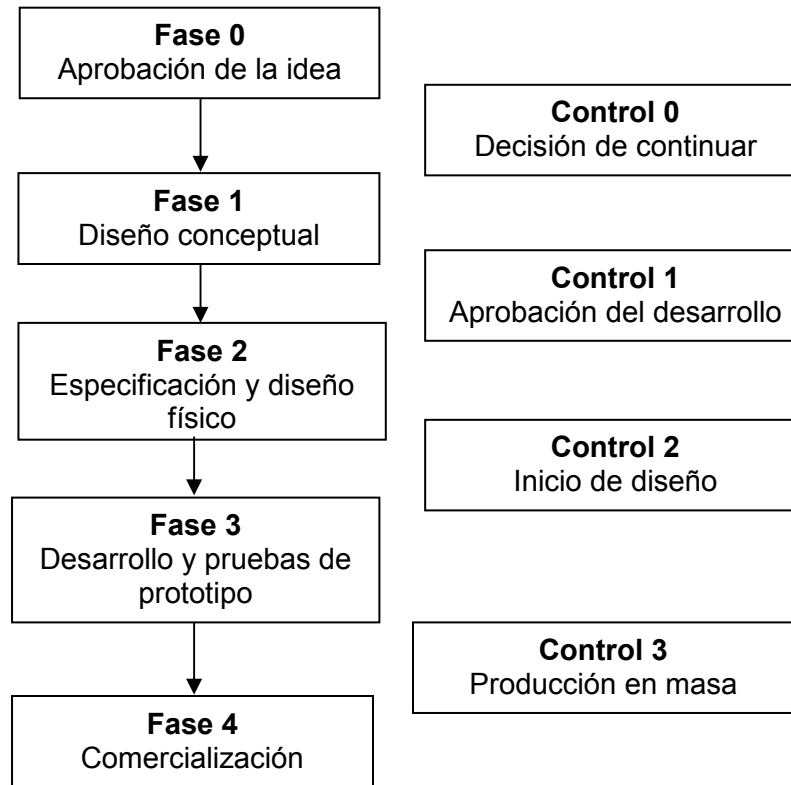
Figura 10. Metodología de desarrollo de nuevos productos según Urban y Hauser.



Fuente: Lopes Nunes (2004).

- Propuesta de Voss *et al.*

La propuesta de Voss *et al.* (1996), citado por Lopes Nunes (2004) se presenta en la figura 11, donde puede detallarse el enfoque de la metodología de los autores, siendo el enfoque comercial no tan detallado y tan específico como en otras propuestas. En esta metodología se hace énfasis más en la parte del desarrollo físico del nuevo producto que en el análisis detallado previo o posterior a la elaboración de producto físico.

Figura 11. Metodología de desarrollo de nuevos productos según Voss *et al.* (1996).

Fuente: Lopes Nunes (2004).

Luego de realizar un barrido a las diferentes metodologías propuestas en la literatura para la gestión del proceso de desarrollo de nuevos productos se puede concluir que existen en términos generales grandes similitudes entre las diferentes metodologías (con excepción del desarrollo de productos con ingeniería concurrente) teniendo como común denominador las etapas secuenciales y en general son homólogas, con el hecho de hacer énfasis según la propuesta del autor en ciertos elementos. El Stage Gate® es muy riguroso con la evaluación entre etapa y etapa, la metodología clásica cíclica se fundamenta en el ciclo PHVA, la propuesta de Kotler (1995) tiene un enfoque muy comercial, Urban y Hauser (1993) presentan también un enfoque muy comercial, pero a la vez realiza evaluación entre etapa y etapa y Voss *et al.* (1996) se centra más en las etapas físicas como el diseño y el prototipado que en las comerciales y también incluye la evaluación entre etapa y etapa.

Contrariamente, la ingeniería concurrente presenta una metodología completamente diferente, pues busca que desde el inicio se realicen diversas actividades en paralelo y no de manera consecutiva, sin embargo, como se mencionaba previamente, se requiere un sistema de administración de información que apoye la gestión del proceso.

Luego de revisar las diferentes metodologías para la gestión del proceso de desarrollo de nuevos productos se puede evidenciar que no existe un tratamiento metodológico especial para las etapas entre prototipo de laboratorio y la puesta a punto a nivel industrial, razón por la cual cobra mayor importancia la elaboración de una propuesta

metodológica que pueda ser aplicada a la realidad del proceso de desarrollo de nuevos productos para el caso de Colcerámica S.A P&P.

2.3 Revisión de las diferentes herramientas del diseño experimental

Teniendo definido que metodológicamente el diseño experimental es una herramienta adecuada para abordar la problemática de estudio, es necesario hacer una revisión de los diferentes diseños que existen, que permitan definir cuál es la que mejor se acomoda a las necesidades y particulares del tema de estudio en particular. Para dicho fin, a continuación se hará una revisión general de las diferentes técnicas de diseño experimental con mayor potencial de aplicación para la situación que se analiza.

2.3.1 “*Evolutionary Operation*” (EVOP).

Es una técnica de optimización de procesos industriales desarrollada por Box (1957). Hace referencia o emula al mismo proceso evolutivo que se vive en la naturaleza, donde las especies tienden a mejorar progresivamente las características que garantizan su supervivencia (Hunter y Kittrell, 1966). Consiste básicamente en un ciclo de dos etapas:

- Introducir una rutina sistemática de pequeñas variaciones o cambios a las variables del proceso.
- Recibir información de los resultados obtenidos luego de los cambios realizados. A partir de allí el dueño del proceso decide los niveles a tomar en las nuevas variables (Lowe, 1974; Montgomery, 2001; Box, 1957).

Al aplicar la técnica EVOP, se explora el ciclo sistemático de pequeñas variaciones de las condiciones actuales del proceso, hasta llegar a un punto que indique que los cambios deseados han sido alcanzados. En la medida que los cambios efectuados sean aplicados en la dirección correcta, se dice que el proceso comienza a funcionar o a ser mejorado. (Banerjee, 1999).

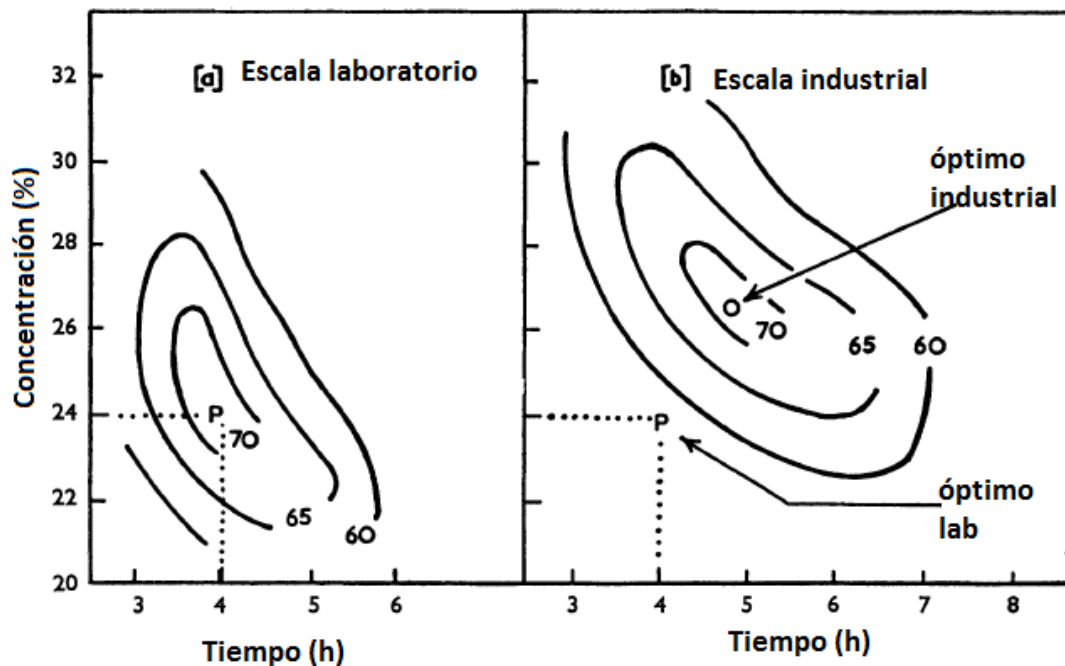
La técnica puede ser abordada de diferentes formas:

- De manera simple, desde el análisis de 2, 3, hasta k variables a través de métodos computacionales.
- Derivados modificados a partir del método simple.

De acuerdo con la literatura, puede decirse que su ventaja, es un modelo que permite ir realizando cambios leves a las variables evaluadas en la escala industrial de un proceso, de manera que se pueda ir moviendo hacia el óptimo, sin necesidad de detener el proceso así como lo expresan Montgomery (2001) y Box (1957), sin embargo es una técnica bastante antigua de la cual no aparece mucha literatura reciente que refuerce su aplicabilidad a pesar que se encuentren algunos trabajos relativamente recientes como los de Tunga, Banerjee y Bhattacharyya (1999), Bratati *et al.* (2002), Banerjee y Bhattacharyya (2002), Banerjee y Bhattacharyya (2003), Negi y Banerjee (2006) y Kumar (2011), especialmente en las ciencias biológicas. Así como lo menciona Hahn (1984) al hacer una revisión del EVOP a la fecha, a pesar de la poca evidencia de su aplicabilidad

porque no se reporta mucha literatura que evidencie su uso, concluye que sigue siendo una herramienta a considerar donde aparentemente se tiene un buen nivel de uso sobre todo a nivel de las empresas, pero pocos reportes en la literatura. Esta afirmación es confirmada con la literatura encontrada en las bases de datos consultadas: Emerald, JStor y Science Direct, donde si bien no hay gran cantidad de artículos, se encuentran casos de aplicación recientes.

Figura 12. Representación gráfica EVOP para acelerar óptimo en escala industrial.



Fuente: Box (1957)

2.3.2 Taguchi.

Es un método basado en un diseño experimental de arreglo ortogonal que utiliza información existente del proceso y que se realiza en una serie sistemática de etapas (Montgomery *et al.*, 2000; Sukthomya y Tannock, 2005). Las etapas se enuncian a continuación:

- Reconocimiento del problema y formulación.
- Seleccionar las características de calidad.
- Seleccionar los parámetros.

- Clasificar factores.
- Determinar niveles.
- Identificar interacciones.
- Seleccionar el arreglo ortogonal.
- Experimentación.
- Análisis de resultados.
- Implementar resultados (Sukthomya y Tannock, 2005).

Taguchi, introduce el parámetro de diseño robusto donde se pueden considerar dos tipos de variables, las controlables por parte del experimentador y las que son ruidosas y no se pueden controlar. Su diseño consiste básicamente en encontrar el arreglo de variables controlables que minimizan la variabilidad transmitida a la variable de respuesta desde las variables no controlables (Montgomery, 2001).

Algunas críticas respecto al método, son por ejemplo que se requieren muchas combinaciones que hacen difícilmente justificable desde el punto de vista económico, Montgomery (1991) expresa que la mayor debilidad del método es que no maneja bien las interacciones entre variables y no se recomienda para experimentos aleatorios. Tiene deficiencias conceptuales estadísticas que básicamente son los problemas para lidiar las interacciones, la innecesaria complicación de usar arreglos internos y externos y el desorden de la estructura de los alias de los arreglos ortogonales (Sukthomya y Tannock, 2005).

Como aspecto a favor del método se encuentran múltiples aplicaciones en la literatura tanto desde la aparición del método a principios de los 80 y hasta la actualidad. Algunos ejemplos son los presentados por Yusoff *et al.* (2011), Syrcos (2003), Hsieh. *et al.* (2005), Hsieh, *et al.* (2005), Darwin, Mohan y Nagarajan (2008) y Chang *et al.* (2011).

Del método de Taguchi se puede decir finalmente, que aunque ha encontrado aplicabilidad y hay evidencia de su uso, es un método muy criticado por tener deficiencias conceptuales estadísticas que limitan la validez de los resultados que se obtienen.

2.3.3 Método Superficie de Respuesta (RSM).

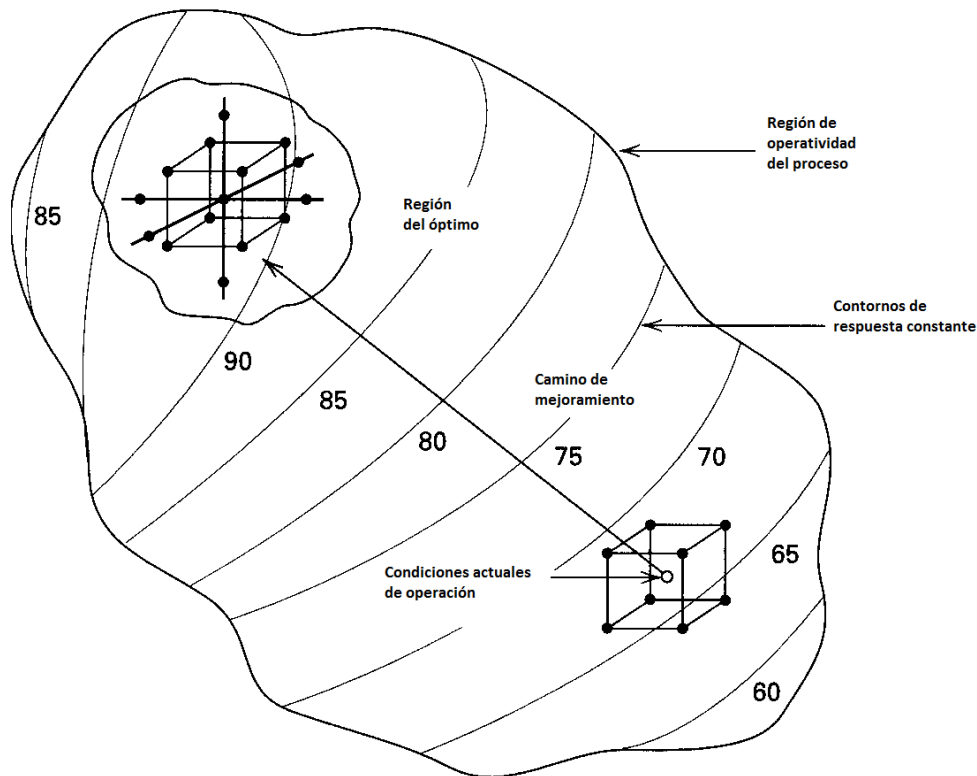
Es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas que son usadas para el modelamiento y análisis de problemas en los cuales la respuesta de interés es influenciada por varias variables y el objetivo es encontrar un óptimo (Myers, Khuri y Carter, 1989; Montgomery, 2001).

De acuerdo con Myers *et al.* (2004) el RSM es una colección de herramientas estadísticas y numéricas aplicable a la optimización de procesos y productos.

Algunas ventajas del método son:

- Provee una distribución razonable de los puntos de datos a través de la región de interés.
- Permite que los experimentos se efectúen en bloques.
- Permite a los diseños de mayor orden ser construidos secuencialmente.
- Provee un estimado interno del error.
- No requiere gran número de corridas.
- No requiere muchos niveles de variables independientes.
- Asegura simplicidad en el cálculo de los parámetros del modelo. (Montgomery, 2001; ; Myers, Khuri y Carter. 1989).

Figura 13. Representación gráfica de Superficie de Respuesta.



Fuente: Montgomery (2001).

Se encuentra vasta literatura de aplicaciones recientes (Ozër *et al.*, 2009; Ahmad *et al.*, 2009; Shekarchizadeh *et al.*, 2009; Isa *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2001, entre otros).

De igual forma según Myers *et al.* (2004) en su revisión del estado del arte, concluyen que es un método que se ha extendido ampliamente en los últimos años con diversas aplicaciones industriales al punto de ser el *core* de la experimentación industrial y que se espera continúe en esta vía, especialmente con la solución del parámetro robusto en el

marco RSM y el modelo lineal generalizado. De acuerdo con Myers *et al.* (2004) hay mucho por hacer en el área del diseño experimental con superficie de respuesta como la integración de la aleatorización, diseños eficientes para problemas más grandes, diseños robustos entre otros.

2.3.4 Otros modelos.

Dentro de la revisión de la literatura de los modelos del diseño experimental, se realizó un barrido general de otras posibles alternativas y a continuación se listan con la respectiva justificación del por qué se descartan de entrada y no se profundiza en su posible pertinencia de uso.

Tabla 3. Otros modelos de diseño experimental.

Modelo	Descripción breve	Justificación
Modelos de regresión	Normalmente se usan para analizar datos de experimentos no planeados, datos históricos o cuando no es tan sencillo controlar los factores en los niveles deseados dentro del experimento.	No es el caso, pues no se disponen de datos históricos y no hay dificultad para controlar los factores en los niveles deseados.
Diseños factoriales generales y factoriales 2^k .	Son diseños que investigan el efecto de dos o más factores y todas las combinaciones posibles de los factores en sus respectivos niveles. Son los más utilizados normalmente.	Tiene una alta aplicabilidad para la situación en análisis, sin embargo desde el punto de vista práctico pierden potencia para la situación particular porque se desea una solución que tenga el menor impacto con la implementación industrial.

Fuente: Elaboración propia con información de Montgomery (2001).

2.4 Análisis de ventajas y desventajas EVOP, Taguchi y Superficie de respuesta.

A través de la tabla 4, se realiza una comparación de los diferentes métodos presentados como posibles alternativas para abordar el problema en cuestión. A partir de los criterios claves para el abordaje del problema y de lo revisado en la descripción general de los métodos, se realiza una calificación general de la conveniencia de utilización para el caso en particular, para posteriormente realizar una discusión respecto a la elección que arroja la tabla. La manera de hacer la selección es enumerando para cada uno de los criterios

de acuerdo con la siguiente puntuación: 3-Alto, 2-Medio y 1-Bajo, siendo las puntuaciones mutuamente excluyentes. Esta metodología de selección es de elaboración propia, con base en los criterios generales discutidos por Cooper, Edgett y Kleinschmidt (2001) respecto a los *Scoring Models*.

Tabla 4. Contraste entre EVOP, Taguchi y Superficie de respuesta para la problemática en análisis.

Criterio de elección	EVOP	Taguchi	Superficie de Respuesta
Evidencia alta de aplicación	1	2	3
Número de corridas bajas	3	1	2
No hay que parar el proceso	3	1	2
Facilidad de realización	3	1	2
Total	10	5	9

Fuente: Elaboración propia.

Luego del análisis de los métodos, se decide elegir el EVOP, debido a:

- EVOP es la herramienta que más afinidad tiene con la reproducibilidad entre etapa de prototipo de laboratorio y la escala industrial. Esta afirmación está apoyada en la misma definición de la metodología EVOP en la que se introduce una rutina sistemática de pequeñas variaciones en el diseño experimental sin necesidad de parar el proceso y posteriormente se revisan los resultados para tomar decisiones respecto a la ruta experimental con los nuevos niveles de las variables en estudio a modificar. El hecho de no tener que parar el proceso para la ejecución del diseño experimental aporta afinidad entre las etapas de prototipo y puesta a punto a nivel industrial.
- La metodología puede ser desarrollada en curso, es decir, sin parar la operación con pequeñas variaciones a las condiciones de proceso. Esta condición se acomoda perfectamente a las limitaciones de tiempo y de cantidad de productos a desarrollar para la situación que se vive en Colcerámica S.A, pues no se pueden hacer diseños experimentales específicos para productos sino que las condiciones deben ir siendo ajustadas en curso para luego ser aplicadas a todos los productos futuros.

2.5 Más acerca de EVOP.

El EVOP, siendo una herramienta dentro del diseño experimental es aplicable a cualquier proceso, sin embargo, las etapas que mayor potencial de aplicación tienen dentro del proceso de desarrollo de nuevos productos son las de prototipado de laboratorio, puesta a punto a nivel industrial y producción, pues son etapas que usan con frecuencia los experimentos y que constantemente se ven retadas a evolucionar y a mejorar.

El proceso de aplicación de EVOP generalmente emula la tendencia evolucionaria de mejoramiento de las especies biológicas. Es bien conocido que por ejemplo cierto tipo de

insectos y micro-organismos desarrollan inmunidad a cierto tipo de insecticidas y drogas luego de un período de tiempo. Por un período inicial de aplicación del insecticida, una gran cantidad de insectos sucumben, sin embargo, una pequeña población que es relativamente inmune continua su reproducción, lo que produce insectos similares a sus padres resistentes para dar como resultado un cambio hacia la población de insectos más resistentes. Eventualmente una nueva droga o insecticida será aplicada y el proceso iniciara nuevamente. Los dos mecanismos en acción en la población de insectos son:

- Variación.
- Selección de la variante más favorable.

De la misma manera que con los insectos, el EVOP introduce variación en las condiciones de operación y provee medios para la selección de una mejor región de operación mejor a aquella en la cual el proceso está operando (Hunter y Kittrell, 1966).

Como se había establecido previamente, EVOP consiste en introducir pequeños cambios sistemáticos en los niveles de las variables de operación que se consideran. Normalmente se utilizan diseños 2^k , donde los cambios en las variables se asumen como lo suficientemente pequeños para que no haya demasiada perturbación en el rendimiento, calidad o la cantidad producida, pero lo suficientemente grande para que se descubra un potencial de mejoramiento en el proceso. Los datos se recopilan en las variables de interés en cada uno de los puntos del diseño 2^k . Cuando ha sido tomada una de las observaciones en cada punto del diseño, se dice que un “ciclo” ha sido completado. Los efectos y las interacciones de las variables del proceso se pueden calcular. Eventualmente después de varios ciclos, el efecto de una o más variables del proceso o sus interacciones puede aparecer con un efecto significativo en la variable de respuesta. Es en este punto donde se toma la decisión de cambiar las condiciones básicas de operación para mejorar la respuesta y finaliza una “fase” para dar lugar a una nueva selección de niveles de la misma variable o incluso de otras variables (Montgomery, 2001).

Box sugirió el uso de un tablero de información y de un comité EVOP. El propósito del comité, que está compuesto de especialistas de diversas especialidades, es asistir al gerente de la planta en interpretar los resultados del programa EVOP y decidir hacia dónde hacer las modificaciones para mejorar la operación. Una ventaja importante de los programas EVOP exitosos es el flujo continuo de nuevas ideas para mejorar los procesos; la existencia de un comité es esencial para el pleno aprovechamiento de estas ideas. Por lo tanto, EVOP sirve como un medio para generar y evaluar las propuestas de aumento de productividad de la planta.

Dentro de las ventajas del EVOP que reporta Lowe (1974) están:

- El diseño usado es simple y fácil de entender, de operar y controlar.
- El diseño es corto en operación, por lo que cada ciclo se completa en un tiempo razonable.
- El diseño factorial de dos niveles puede ser usado tanto para variables cuantitativas como cualitativas.

- Comparando las magnitudes relativas de los efectos principales simples con el “cambio en la media” y las interacciones de los efectos, es posible entender la complejidad de la superficie de respuesta.

Algunas de las desventajas del EVOP reportadas por Lowe (1974) están:

- Obtener un efecto significativo de la variable de entrada puede depender del tamaño de la variable de entrada.
- Para n variables de entrada el diseño se requiere 2^n puntos, lo que significa 2^n corridas por ciclo. En este punto el diseño se vuelve complicado de manejar y resolver los efectos y las interacciones.
- El procedimiento no tiene una indicación del número de ciclos requeridos en cada fase y si los ciclos se repiten hasta que se encuentre significancia o en qué momento se encuentra que no hay significancia.
- Algunos procesos tienen demasiadas variables de entrada a controlar, por lo que no es fácil elegir las 2, 3 o 4 más importantes, por lo que abordar el proceso por EVOP requeriría demasiadas corridas.

Otro punto a considerar dentro de EVOP, de acuerdo con Box y Draper (1968) es referente a qué pasa cuando el proceso a ser intervenido tiene una alta variabilidad y se requieran muchos ciclos para lograr el mejoramiento. En ese caso se dice que existen dos grandes razones para no descartar el uso de EVOP:

- Si el proceso es muy variable, es muy probable que los efectos mayores están siendo ocultados por el gran error. De hecho, el tamaño de los efectos a la espera de ser encontrados, se puede esperar que sean del orden de la desviación estándar del proceso, cual sea la desviación que el proceso pueda tener.
- Cuando se corre un programa, es inevitable que la variación de la respuesta sea introducida debido a que son deliberadamente distintas de las condiciones del proceso. Se puede demostrar que con la variación deliberada en la variable de proceso el aumento de la desviación estándar de la respuesta es de sólo el 20% o 30%; los efectos de la variable pueden ser detectado en unos pocos ciclos con una garantía de probabilidad conservadora.

2.5.1 Cronología bibliográfica de EVOP.

Como parte de la revisión de la literatura, en la tabla 5, se presenta un resumen general de las publicaciones encontradas que hacen referencia, el EVOP desde su aparición en 1957. Como puede observarse en la tabla 5, no es un tema que tenga demasiadas publicaciones y de hecho algunos autores como Hahn en 1984 ponen sobre la mesa la inquietud acerca de si es una herramienta con suficiente aplicabilidad o si por el contrario su uso es poco, aunque queda abierta también la posibilidad de que su aplicación ha sido más industrial que investigativa y que se ha quedado más al interior de las compañías que no han compartido la información. A pesar de esto existe evidencia de que se sigue aplicando en la actualidad, pues en los últimos años se encuentran varias publicaciones.

Tabla 5. Cronología bibliográfica EVOP.

Autor	Fecha	Título	Tipo
Box G. E.	1957	Evolutionary Operation: A Method for Increasing Industrial Productivity	Origen
Box .G. E y Hunter J.S	1959	Condensed Calculations for Evolutionary Operation Programs	Complemento
Spendley et al.	1962	Sequential Application of Simplex Designs in Optimization and Evolutionary Operation	Aplicación
Hunter W y Kittrell J.R	1966	Evolutionary Operation: A Review	Discusión
I.C Kenworthy	1967	Some examples of simple Evolutionary operation in the paper industry	Aplicación
Box G.E y Draper N.R	1968	Isn't My Process Too Variable for EVOP?	Discusión
C.W Lowe	1974	Evolutionary operation in action	Resumen a la fecha
Gerald J. Hahn	1984	Discussion.	Discusión
Tunga R. et al.	1999	Optimization of n Variable Biological Experiments by Evolutionary Operation-Factorial Design Technique.	Aplicación
Bratati B. et al.	2002	Optimization of physicochemical parameters for gallic acid production by evolutionary operation-factorial design technique.	Aplicación
Banerjee R. y Bhattacharyy B.C.	2003	Evolutionary operation as a tool of optimization for solid state fermentation.	Aplicación
Negi S. y Banerjee R.	2006	Optimization of Amylase and Protease Production from <i>Aspergillus awamori</i> in Single Bioreactor Through EVOP Factorial Design Technique.	Aplicación
Kumar S. et al	2011	Use of evolutionary operation (EVOP) factorial design technique to develop a bioprocess using grease waste as a substrate for lipase production	Aplicación
Kim 1, D.H, Kim 2, Y.C. y Choi, U.K.	2011	Optimization of Antibacterial Activity of <i>Perilla frutescens</i> var. <i>acuta</i> Leaf against <i>Staphylococcus aureus</i> Using Evolutionary Operation Factorial Design Technique	Aplicación

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Resumen del estado del arte y conclusiones.

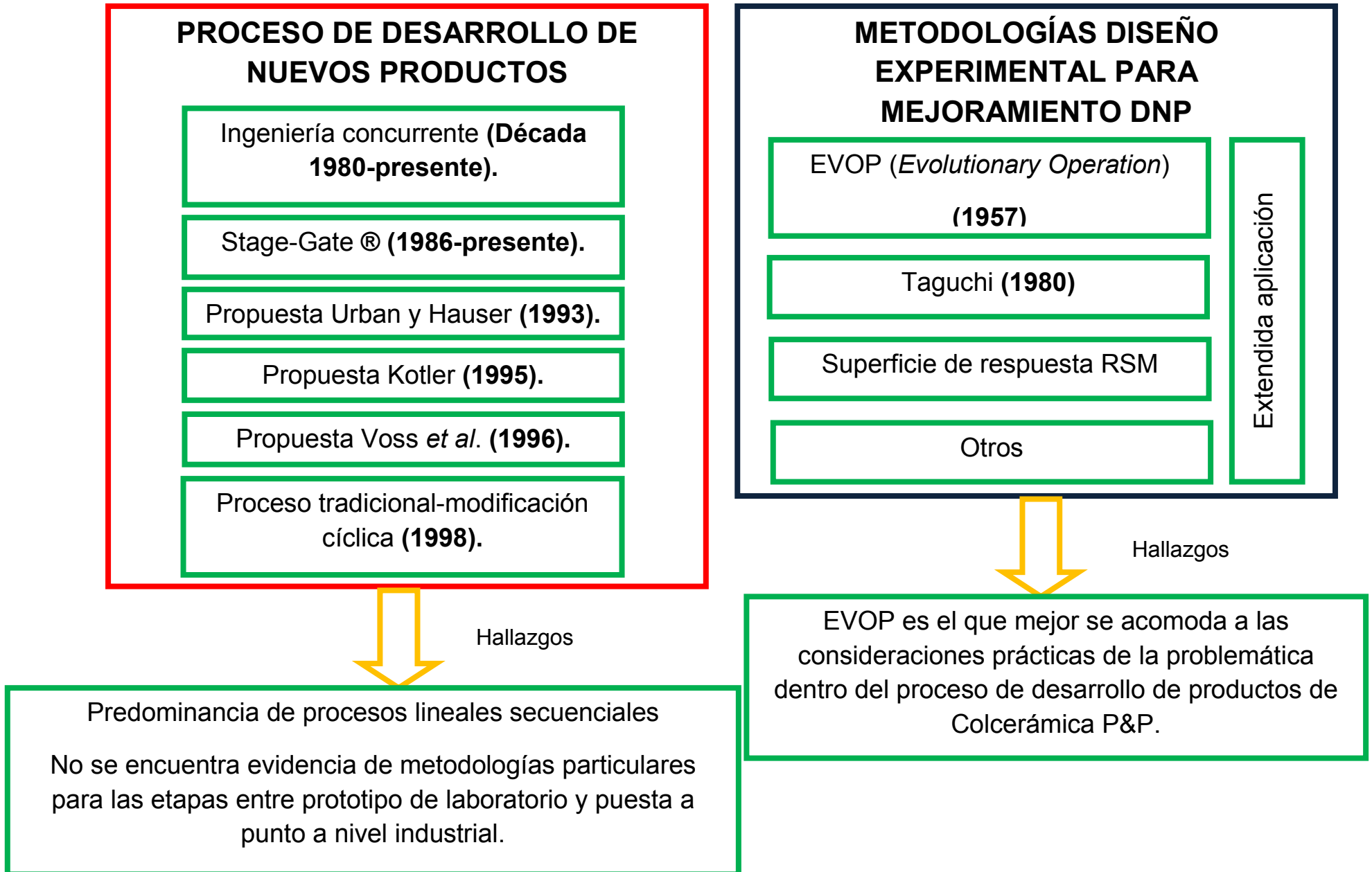
A continuación en la figura 14 se resumen los grandes elementos encontrados en la revisión del estado del arte y los principales hallazgos.

En el presente capítulo se logró realizar un barrido de información en torno a los dos grandes elementos planteados al inicio: el desarrollo de nuevos productos y el diseño experimental como herramienta para el mejoramiento de los procesos. En cuanto al proceso de desarrollo de nuevos productos se logró evidenciar que existen diferentes enfoques propuestos para la realización de dicho proceso y las diferencias radican generalmente en algunas secuencias de actividades y en el énfasis que se le da a alguna de las mismas. Adicionalmente se encontró que predominan los procesos lineales o con etapas secuenciales y no se encontró una particularización metodológica para las etapas de prototipado y puesta a punto a nivel industrial.

En cuanto al diseño experimental, se revisaron las diferentes metodologías que pueden ser aplicadas para el mejoramiento de procesos y se discutió la pertinencia de uso de unas u otras para el caso particular de Colcerámica S.A, llegando a la conclusión de que desde el punto de vista práctico que predomina en el ámbito empresarial, el EVOP es la mejor alternativa, razón por la cual se ahondó más en ésta,

Como aspectos a destacar para el planteamiento de la propuesta metodológica está que al no existir evidencia de metodologías particulares o énfasis especiales incluidas dentro del proceso de desarrollo de nuevos productos entre las etapas de prototipo de laboratorio y puesta a nivel industrial según la información encontrada en la literatura, se abre la posibilidad de abordar dicha problemática desde la óptica del proceso de Colcerámica S.A P&P y con el reto de la inclusión del EVOP dentro de la propuesta.

Figura 14. Resumen de la revisión del estado del arte. Elaboración propia.



CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE DESARROLLO DE PRODUCTO DE P&P DE COLCERÁMICA S.A

En el presente capítulo se realizará un diagnóstico del proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A teniendo en cuenta varios criterios como la revisión del estado del arte respecto al proceso de desarrollo de nuevos productos, el análisis detallado de las etapas críticas y la revisión de criterios especiales como lo son las complejidades de los desarrollos, de manera de poder determinar cuáles son las falencias y los puntos críticos sobre los que posteriormente se debe centrar la propuesta metodológica de mejoramiento.

Metodológicamente el capítulo se aborda en varias etapas. En una primera etapa se realiza una descripción general del proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A P&P y se lleva a cabo un contraste de similitudes y diferencias entre el proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A P&P y las diversas metodologías encontradas en el estado del arte, a través de la construcción de una matriz de comparación; esto con el fin de determinar cómo se encuentra el proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A P&P desde el punto de vista metodológico general respecto al estado del arte y si existen diferencias metodológicas significativas que hagan pensar que existe una posible mejor manera de abordar el proceso para dar una posible solución a la problemática en estudio.

En una segunda instancia, luego de tener claridad respecto al proceso general, se hace una revisión profunda de las etapas sobre las cuales se tiene la problemática dentro del problema de investigación. Para dicho fin, se realiza el levantamiento de los flujogramas de proceso del prototipo de laboratorio, de la puesta a punto a nivel industrial y se realiza un paralelo entre ambas a través de las 5M bajo un enfoque de construcción propia, además de una comparación de los flujogramas de ambas etapas desde la óptica de la secuencia del proceso cerámico; esto con el fin de determinar las diferencias y similitudes que desde el punto de vista de la herramienta que se utilizará para el planteamiento de la propuesta metodológica (diseño experimental) tienen relevancia. Adicionalmente, permitirá encontrar las falencias que existen en el proceso actual.

Por último, se analiza la información histórica disponible del proceso de desarrollo de nuevos productos en Colcerámica S.A P&P referida a la heterogeneidad de los productos que se desarrollan, tanto desde el punto de vista técnico como de carga de trabajo; se

aborda dicho análisis a través de análisis de Pareto y su propósito final es obtener información que permita fundamentar la propuesta metodológica para que la aplicabilidad sea amplia y sean tenidas en cuenta tanto las particularidades técnicas como prácticas dentro de la propuesta metodológica. Toda la información obtenida del proceso para el presente capítulo está soportada en entrevistas detalladas en el Anexo 1.

El presente capítulo finalmente, se presenta el diagnóstico del proceso que permite conocer cómo se encuentra el proceso de desarrollo de nuevos productos desde el punto de vista macro, detallado y sus particularidades.

3.1 Planificación del diagnóstico.

A través del diagnóstico a realizar al proceso de desarrollo de nuevos productos en Colcerámica S.A P&P se quiere bajo la óptica del problema de investigación:

- Conocer de manera general el proceso actual y contrastarlo con lo encontrado en la revisión de la literatura.
- Conocer el detalle sobre las etapas que son objeto del problema de investigación y a partir de su análisis determinar las falencias.
- Conocer las particularidades del proceso.

Una vez obtenidas las informaciones mencionadas anteriormente será posible determinar cuáles son las falencias que tiene el proceso para que en la definición de la propuesta metodológica se busquen soluciones.

Para conocer el proceso actual, se revisará la documentación que actualmente existe del proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A y se contrastará con la información de la literatura. El abordaje metodológico será a través de la construcción de una matriz de comparación de metodologías cuya salida deberá ser la respuesta a la pregunta: ¿la manera como se está abordando el proceso es adecuada comparada con las metodologías que existen en la literatura de cara a evitar que se presente la problemática en estudio?

Respondiendo la pregunta previamente planteada, será posible determinar desde el punto de visto de proceso macro si se está abordando el proceso de manera conveniente frente al problema de investigación.

Sin embargo, para entender más a fondo la problemática que se presenta en el proceso es necesario profundizar y detallar las partes del proceso donde se presenta la problemática en investigación. La herramienta utilizada para profundizar en el entendimiento de dichas etapas será el levantamiento de los flujogramas de proceso. En dichas etapas, dado que la metodología soporte para la propuesta metodológica es el diseño experimental, se realizará un análisis de las 5M y un contraste de los flujogramas de ambas operaciones bajo la óptica del proceso cerámico, con el propósito de determinar cuáles son las posibles variables que mayor influencia tienen en el resultado. Todo lo mencionado anteriormente está soportado en una serie de preguntas realizadas a los expertos del proceso y que son recopiladas en el Anexo 1. En este punto se podrá también identificar las falencias del proceso.

Finalmente dentro del diagnóstico se prevé analizar informaciones que se encuentran disponibles y que son difícilmente previsibles, de manera de poder determinar particularidades que puedan estar quedando por fuera con los análisis realizados en los dos grandes temas anteriores y que posiblemente aporten ingredientes especiales que deban ser tenidos en cuenta dentro del planteamiento de la propuesta metodológica.

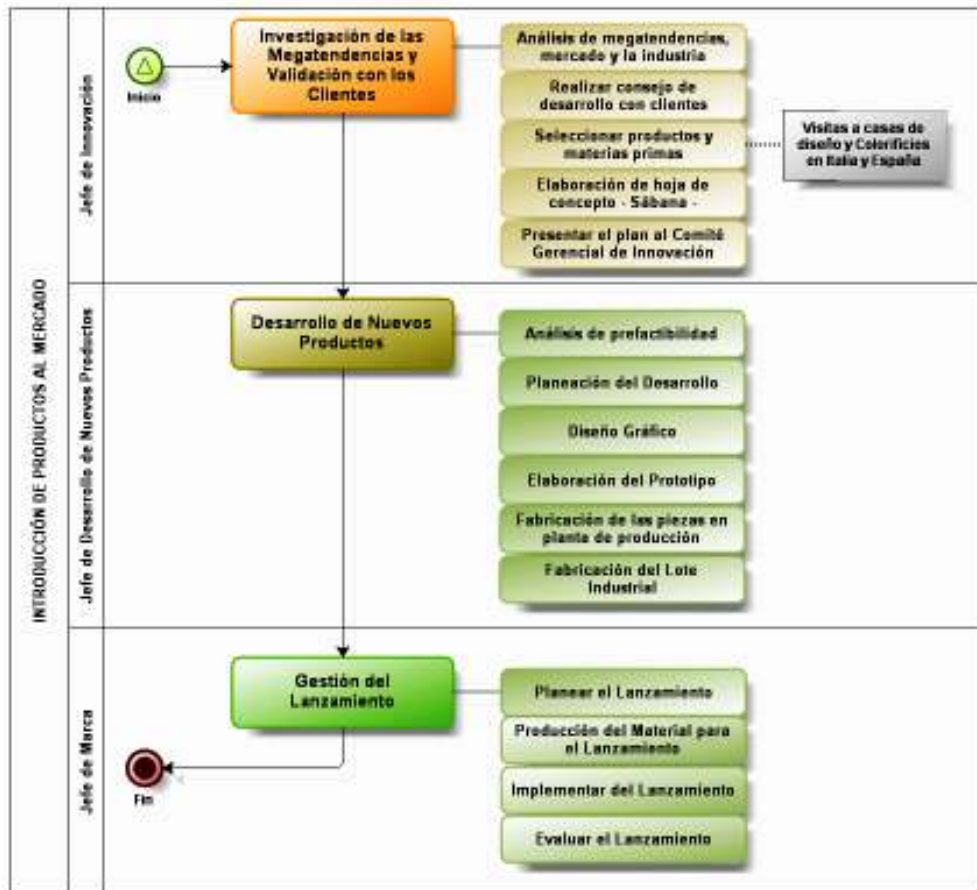
3.2 Proceso de Desarrollo de Nuevos Productos en Pisos & Paredes de Colcerámica S.A

El proceso de Desarrollo de Nuevos Productos en Colcerámica S.A hace parte del macro-proceso de Introducción de Productos al Mercado que tiene como objetivo principal “mantener la vitalidad del portafolio de pisos y paredes de la Marca Corona y las nuevas propuestas para las diferentes marcas de la Compañía en el mercado nacional y ampliado; recogiendo las necesidades planteadas en los diferentes segmentos que atiende la estrategia Corona, teniendo en cuenta las tendencias del mercado, productos sustitutos y equivalentes, avances en la industria y adecuaciones tecnológicas propias; para proponer alternativas en los portafolios de las diferentes marcas, que garanticen la vigencia de los productos y lograr optimizar los costos de fabricación en los portafolios, e incentivar la búsqueda de mejores opciones aprovechando los recursos” (Sistema de Gestión de Calidad, Colcerámica S.A, 2011).

Como puede verse en la Figura 15, el proceso de Desarrollo de Nuevos Productos en Colcerámica S.A, está enmarcado dentro del macro-proceso Introducción de Productos al mercado. Como primera etapa de este macro-proceso se tiene la conceptualización, donde se realizan diversas actividades como son la investigación de las tendencias de la moda y de la industria, ejercicios de co-creación con clientes y trabajo colaborativo con socios estratégicos ubicados en los *clusters* cerámicos de España e Italia, para dar lugar a una serie de conceptos que son sometidos a evaluación en un comité gerencial de innovación. En segunda instancia se encuentra el desarrollo físico del producto donde se llevan a cabo actividades enfocadas en analizar la factibilidad técnica y económica de los proyectos y plasmar en muestras cerámicas la solicitud entregada en el concepto. Por último, una vez el producto se encuentra manufacturado, se lleva a cabo la implementación del producto en el mercado.

El proceso por ende parte del mercado y llega al mercado, y es en la etapa intermedia donde se encuentra la elaboración física del producto teniendo como característica que es completamente lineal y debe finalizarse cada etapa antes de seguir con la siguiente.

Figura 15. Caracterización del macro-proceso de Introducción de Nuevos Productos al mercado en Pisos & Paredes de Colcerámica S.A.



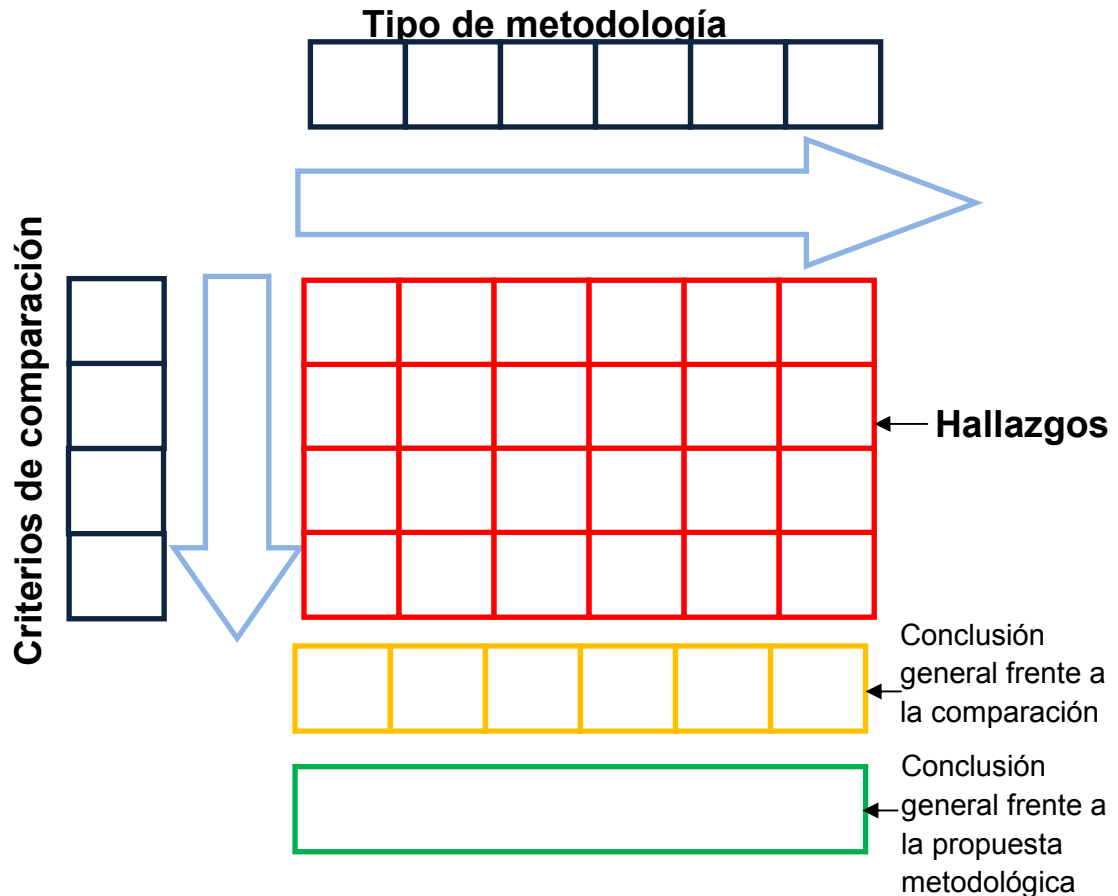
Fuente: Sistema de Gestión de Calidad Colcerámica S.A.

3.2.1 Contraste Desarrollo de Producto P&P Colcerámica S.A contra las diversas aproximaciones metodológicas encontradas en la literatura.

En el proceso de Desarrollo de nuevos productos de P&P Colcerámica S.A presenta ciertas similitudes y diferencias respecto a las metodologías encontradas en la literatura revisada (ver tabla 6).

Para llevar a cabo la comparación se realizó un cuadro de elaboración propia usando el principio metodológico presentado en la siguiente figura.

Figura 16. Metodología para comparación de similitudes y diferencias del proceso de desarrollo de nuevos productos vs otras metodologías.



Fuente: Elaboración propia.

Los criterios para la comparación fueron los siguientes: etapas, secuencia de las etapas, metodología, experimentación y puesta a punto en producción. Estos criterios fueron elegidos con los siguientes argumentos: las etapas y sus secuencias son importantes en el análisis puesto que como el objetivo final del presente trabajo es una propuesta metodológica, es clave conocer cómo se encuentra el proceso actual conceptualmente hablando por las etapas que desarrolla y la secuencia de las mismas, la metodología, pues se requiere conocer si más allá de la aplicación de una secuencia de actividades se tiene un método específico para cada etapa y el análisis de las etapas de experimentación y puesta a punto en producción porque siendo las etapas críticas dentro del problema de investigación se requiere conocer si existen aproximaciones particulares para su abordaje.

En la tabla 6 se aborda la comparación de la siguiente manera. La primera columna corresponde a cinco criterios que se eligieron para la comparación entre el proceso de desarrollo de nuevo producto en Colcerámica S.A P&P y las diferentes aproximaciones metodológicas encontradas en la literatura. En las siguientes columnas se evalúa respecto a cada uno de los criterios cada una de las metodologías encontradas vs Colcerámica S.A.

A manera de conclusión luego de la realización del paralelo se presenta el siguiente cuadro.

Tabla 6. Contraste entre el proceso de desarrollo de producto en P&P Colcerámica S.A y los revisados en literatura. Elaboración propia.

P&P Colcerámica S.A vs	Stage-Gate®	Proceso tradicional cíclico	Kotler	Urban y Hauser	Voss et al.	Ingeniería concurrente
Etapas	Conceptualmente las mismas.	Conceptualmente las mismas.	No son las mismas. Parte de la generación de ideas y no del mercado.	Conceptualmente las mismas.	No son las mismas. Parte de la generación de ideas y no del mercado.	Conceptualmente las mismas.
Secuencia de etapas	No son exactamente las mismas pero mantienen la misma secuencia lógica.	No son exactamente las mismas pero mantienen la misma secuencia lógica.	No son exactamente las mismas pero mantienen la misma secuencia lógica, a falta de las etapas previas a la conceptualización comercial.	No son exactamente las mismas pero mantienen la misma secuencia lógica pero con mayor énfasis en la evaluación luego de la puesta a punto en el mercado.	No son exactamente las mismas pero mantienen la misma secuencia lógica, a falta de las etapas previas a la conceptualización comercial.	Radicalmente diferente, pues establece que todas las etapas se vayan haciendo en simultáneo.
Metodología	Diferentes. Stage-Gate® tiene método propio para cada etapa.	No tiene metodología explícita más allá de la secuencia de actividades.	No se logra identificar una metodología explícita más allá de la secuencia de actividades.	No se logra identificar una metodología explícita más allá de la secuencia de actividades.	No se logra identificar una metodología explícita más allá de la secuencia de actividades.	Radicalmente diferente. Aparte de su principio fundamental se apoya en metodologías como DFSS, QFD, DFMA, entre otras.
Experimentación	Ambos con etapa explícita para pruebas.	Ambos con etapa explícita para pruebas.	Kotler no tiene etapa explícita de experimentación	Ambos con etapa explícita para pruebas.	Ambos con etapa explícita para pruebas.	Ambos con etapa para pruebas.
Puesta a punto en producción	Ambos con etapa explícita para puesta a punto en producción.	Ambos con etapa explícita para puesta a punto en producción.	Kotler no tiene etapa explícita de puesta a punto en producción.	Urban y Hauser no tienen etapa explícita de puesta a punto en producción.	Voss <i>et al.</i> No tiene la etapa explícita pero sí realiza control de producción en masa.	Ambos con etapa de puesta a punto en producción.

P&P Colcerámica S.A vs	Stage-Gate®	Proceso tradicional cíclico	Kotler	Urban y Hauser	Voss et al.	Ingeniería concurrente
Conclusión frente a la comparación	<p>Similar al proceso de Colcerámica P&P. No se encuentra evidencia de abordaje especial desde el proceso general para dar solución al problema de investigación entre prototipo y producción.</p>	<p>Similar al proceso de Colcerámica P&P. No se encuentra evidencia de abordaje especial desde el proceso general para dar solución al problema de investigación entre prototipo y producción.</p>	<p>Similar al proceso de Colcerámica P&P. No se encuentra evidencia de abordaje especial desde el proceso general para dar solución al problema de investigación entre prototipo y producción.</p>	<p>Similar al proceso de Colcerámica P&P. No se encuentra evidencia de abordaje especial desde el proceso general para dar solución al problema de investigación entre prototipo y producción.</p>	<p>Similar al proceso de Colcerámica P&P. No se encuentra evidencia de abordaje especial desde el proceso general para dar solución al problema de investigación entre prototipo y producción.</p>	<p>Similar conceptualmente al proceso de Colcerámica S.A P&P pero radicalmente diferente en metodología y secuencia. Sí hay evidencia de posibilidades metodológicas para abordar de manera diferente el proceso frente a la problemática en estudio, pero es un inviable desde el punto de vista práctico pues la implicaciones que tiene su implementación se salen del alcance del problema de investigación</p>
Conclusión general de cara a la propuesta metodológica	<p>Con excepción de la ingeniería concurrente, todas las metodologías encontradas en la literatura tienen características similares al proceso que se desarrolla en Colcerámica S.A P&P y no se encuentra evidencia metodológica de la realización de las etapas de prototipo y puesta a punto industrialmente de una manera diferente que posiblemente contribuya a la solución dentro del problema de investigación. La ingeniería concurrente si bien sí tiene elementos radicalmente diferentes que posiblemente pueden aportar a la solución del problema de investigación, implica realizar cambios significativos a todo el proceso y se sale del alcance. Ante esta evidencia se hace necesario realizar propuesta metodológica propia para el proceso macro.</p>					

3.3 Levantamiento de flujogramas de proceso para etapas

En esta etapa del diagnóstico se revisará al detalle las dos etapas que están involucradas en el problema de investigación y que son el prototipado de laboratorio y la puesta a punto a nivel industrial. Para poder revisar el detalle de ambos procesos se realiza el levantamiento del flujograma del proceso de cada uno de ellos, se realiza un análisis de los mismos desde el punto de vista del problema de investigación y finalmente se aplica un análisis de las 5M con el fin de determinar las variables críticas que sirvan de insumo para el abordaje en la propuesta metodológica con diseño experimental.

3.3.1 Etapa de prototipado de producto cerámico en Colcerámica S.A.

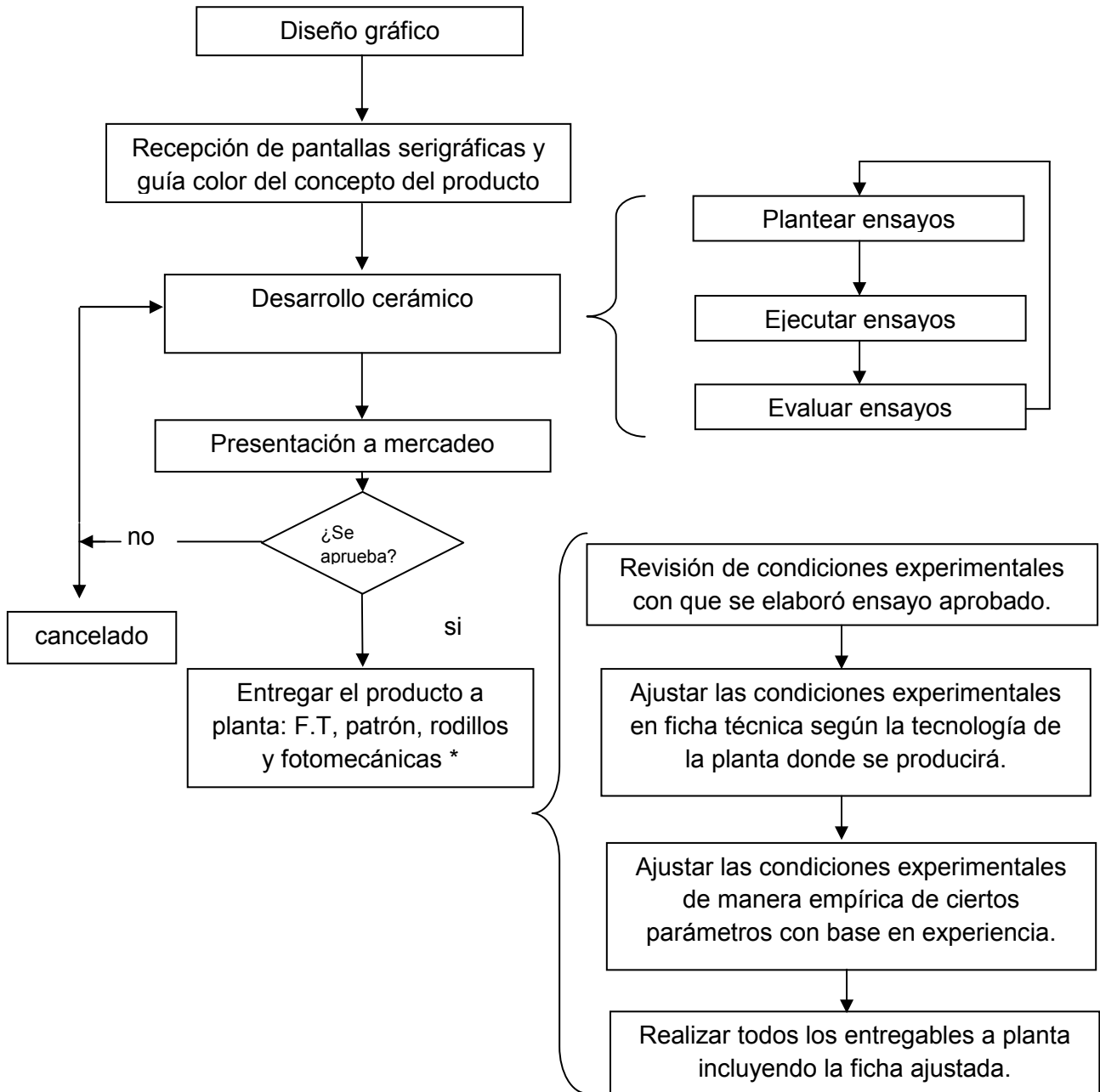
A continuación, se presenta el flujograma de proceso de prototipado de producto cerámico de Colcerámica S.A.

Dentro del proceso de prototipado, la etapa clave de experimentación es la etapa de desarrollo cerámico, pues es allí donde se busca a través de diferentes ensayos, llegar a una pieza cerámica que cumpla con las características solicitadas en el concepto del producto. Dichas características son las funcionales y estéticas, pero que además estén acordes con los procesos existentes dependiendo de la planta donde se va a fabricar.

En cuanto a las características funcionales y de proceso, es responsabilidad de los técnicos de laboratorio hacer la transformación de dichas características a través de la selección apropiada de insumos y técnicas que permitan cumplir con los requerimientos técnicos funcionales y de proceso de fabricación.

En cuanto a la apariencia estética, el punto de llegada es el *cromaline* o indicación color y de acabados aprobada en el proceso de diseño gráfico del producto. Este requerimiento es subjetivo y es validado con las personas encargadas de mercadeo, quienes tienen el conocimiento del gusto del consumidor.

Figura 17. Flujoograma del proceso de elaboración de prototipo de laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la Figura 17, este proceso de prototipo de laboratorio es un ciclo que se cierra cuando mercadeo aprueba alguno de los ensayos elaborados. Una vez aprobado el prototipo, todas las condiciones de elaboración del mismo son plasmadas en una ficha técnica que es entregada a la planta donde se va a fabricar y es el punto de partida para reproducir el prototipo de laboratorio a nivel industrial. Sin embargo, hay que tener en cuenta un punto importante en este sentido y es que la ficha técnica que se entrega a la planta no tiene exactamente las mismas condiciones con que

fue elaborado el prototipo aprobado, debido a que por las restricciones del prototipado se deben hacer de una manera para luego en planta poder ajustarlo a las tecnologías y procesos existentes, lo que lleva a que la ficha de laboratorio tenga unos ajustes. Estos ajustes tienen dos propósitos, por un lado ajustar las condiciones de elaboración al proceso industrial donde se va a realizar, dado que el prototipo se hace en las condiciones más cercanas a las industriales pero donde siguen existiendo diferencias que deben ser ajustadas y por otro lado con base en la experiencia ajustar algunos parámetros que vía empírica han demostrado de cierta manera que ayudan a la reproducibilidad en planta sea más rápida.

De acuerdo con el flujograma de la figura 17, todas las actividades convergen sobre una decisión que puede ser positiva o negativa y que evalúa básicamente la apariencia estética del producto (pues todo lo técnico funcional y de proceso debe estar validado previo a la presentación al área de mercadeo). Dicha evaluación estética es un asunto bastante subjetivo, pues a pesar de que se tiene una guía que es el *cromaline* aprobado previamente a nivel gráfico, es una evaluación que se realiza con base en el conocimiento que tienen del mercado los responsables del manejo del portafolio de nuevos productos. Por tal razón, dejando de un lado lo técnico funcional y de proceso que ya se da por sentado pues sin eso no hay producto, todo el resultado del desarrollo cerámico se resume en una decisión de “aprobado” o “no aprobado”. De esta manera, todas las condiciones experimentales de elaboración del prototipo influyen la variable de respuesta del prototipo de laboratorio que es la apariencia estética. Esta apariencia se evalúa con varios criterios difícilmente cuantificables en conjunto como son: color, textura, brillo, relieve, diseño, combinación de los colores, naturalidad, etc. También hay una serie de variables de respuesta asociadas a lo técnico y funcional pero que en su mayor medida se encuentran estandarizadas y es responsabilidad del técnico de laboratorio revisar que se esté cumpliendo antes de evaluar la parte estética.

Una vez el prototipo está aprobado, la subjetividad queda de lado en su mayor medida y se convierte en el objetivo a alcanzar a nivel industrial, donde si bien sigue existiendo una variable de respuesta cualitativa con solo dos posibilidades, “aprobado” y “no aprobado”, ya se tiene una pieza cerámica a la que se debe apuntar e igualar.

A manera de conclusión luego de la revisión detallada del flujograma de la etapa del prototipado de laboratorio es posible determinar que hay limitantes experimentales para el prototipado por la escala en la que se hace vs las plantas donde se produce y para dicho fin se realizan ajustes a las fichas técnicas que se entregan a las diversas plantas con el fin de ajustar las condiciones experimentales con la intención de acercarlas en lo posible a la realidad donde se fabricará, sin embargo existe una falencia importante en este sentido, pues no se aplica ningún tipo de metodología sino que se usan criterios basados en la experiencia.

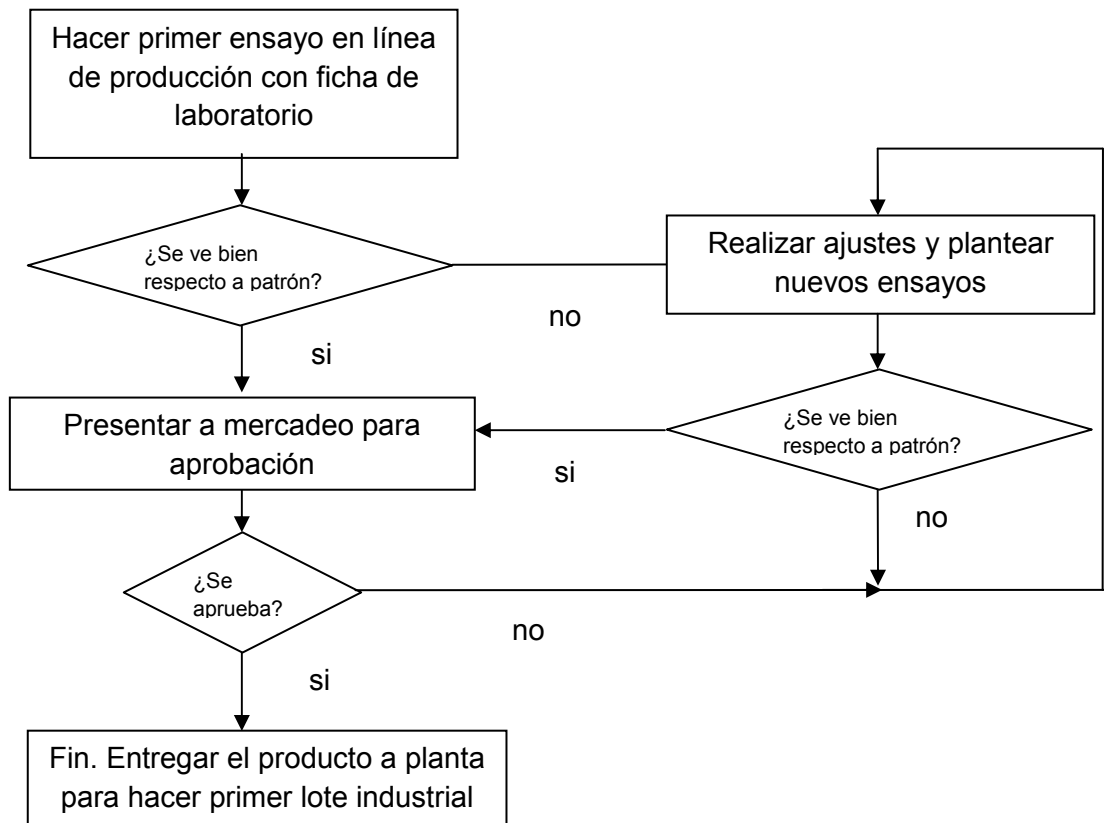
3.3.2 Etapa de puesta a punto a nivel industrial.

A continuación, se presenta el diagrama de bloques de proceso de la puesta a punto del nuevo producto a nivel industrial.

En la actualidad el proceso de puesta a punto del producto en planta se lleva a cabo vía ensayo-error teniendo como punto de partida la ficha técnica que se construye con las condiciones con las que fue elaborado el prototipo de laboratorio aprobado y sus respectivos ajustes mencionados anteriormente. Como se había comentado en la

introducción del presente trabajo, los productos se reproducen apropiadamente a nivel industrial luego de una cantidad de ensayos que pueden ser desde 4-5 ensayos hasta 40-50 ensayos. Las condiciones de partida son ajustadas a las condiciones más próximas posibles de los procesos industriales puesto que la escala de laboratorio tiene sus particularidades. A continuación se presenta el flujograma de proceso levantado con el detalle de cómo se pone a punto el producto a nivel industrial.

Figura 18. Flujograma del proceso de puesta a punto de producto a nivel semi-industrial.



Fuente: Elaboración propia.

Como se presenta en la figura anterior, el punto de partida para iniciar la puesta a punto en planta es la ficha de laboratorio y si el producto no queda bien respecto a su patrón se realizan ajustes. Estos ajustes son vía ensayo y error, lo que evidencia una gran falencia pues no se tiene una metodología definida para la ruta experimental más allá que la experiencia de los encargados de hacer las pruebas y que como bien se expresa en la problemática de investigación, puede reproducirse adecuadamente luego de unos pocos ensayos o incluso luego de una cantidad altísima de los mismos.

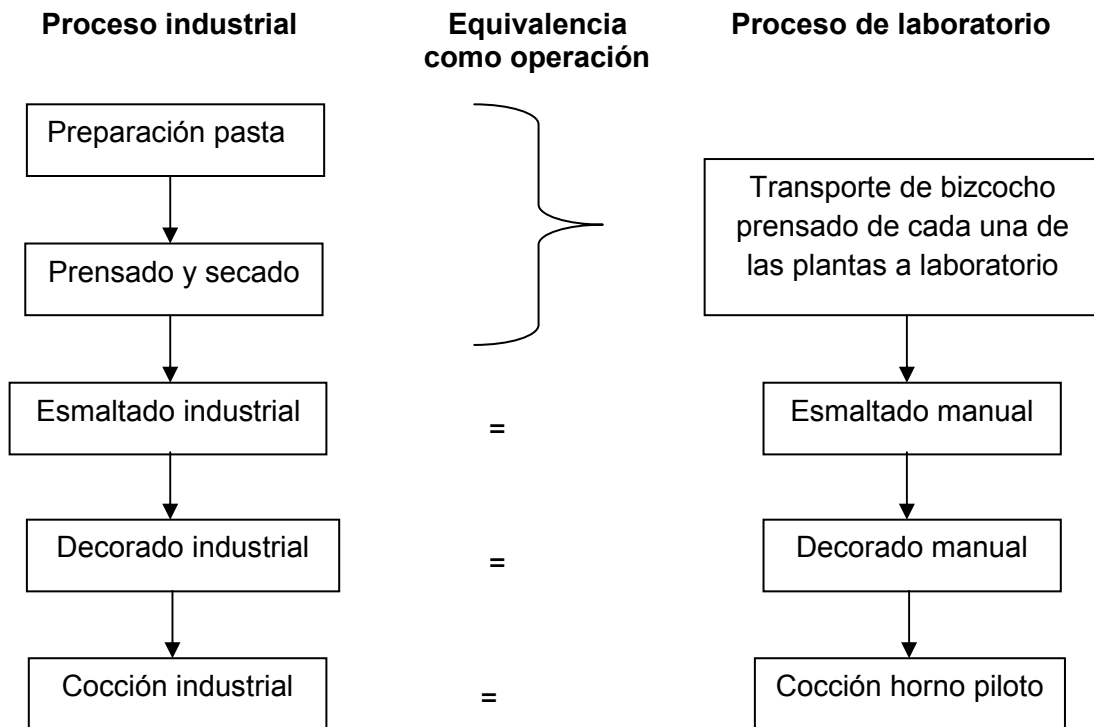
De manera de conclusión, respecto al detalle de la etapa de puesta a punto en planta debe decirse que sumado a que la ficha de partida es el resultado de ajustes empíricos acomodados a la tecnología de cada planta y con base en experiencia, se evidencia la falta de metodología para la realización de las pruebas experimentales que permitan obtener la reproducción del producto a nivel industrial.

3.4 Paralelo de las diferencias de proceso entre etapa de prototipado de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial.

Con el objetivo de entender las diferencias que existen entre la elaboración del prototipo de laboratorio y las plantas de producción industrial, es clave conocer el flujograma comparativo del proceso. Si bien existen diferentes técnicas que hacen que ambos procesos tenga algunas variantes, se presenta a continuación el flujograma de proceso estándar industrial y estándar de laboratorio desde el punto de vista de fabricación cerámica.

El principio metodológico para el paralelo está dividido en dos partes. En una primera parte se encuentra el contraste del flujograma de ambas operaciones desde el punto de vista del proceso cerámico una al lado de la otra y en el medio se establece si como operación cada etapa es equivalente y luego se analiza al detalle a través de un cuadro comparativo sobre cuáles son las similitudes y diferencias desde el punto de vista de las 5M.

Figura 19. Flujograma comparativo entre prototipado de laboratorio y fabricación a nivel industrial estándar desde el punto de vista cerámico.



Fuente: Elaboración propia.

Del flujograma de la figura anterior, se puede apreciar la equivalencia entre las etapas iniciales del proceso cerámico industrial, preparación pasta, prensado y secado con la primera etapa de laboratorio de traer bizcocho de pasta de cada planta, y las posteriores

etapas son equivalentes con las diferencias respectivas de escala, de equipos y de procedimiento.

Con el fin de tener presentes todas las diferencias de los procesos de prototipado y puesta a punto a nivel industrial, a continuación se realiza un paralelo utilizando el método de las 5M.

Tabla 7. Paralelo usando las 5M entre prototipo de laboratorio y escala industrial.

Tipo de M	Prototipo	Escala industrial
Materia prima	Los materiales son enviados de las diferentes plantas (5 en total) previamente aprobados de acuerdo con los métodos internos de aprobación. En su mayoría son materiales de origen mineral que tienen variaciones naturales.	Se usan los mismos materiales.
Máquina	Pistola a presión de aire para aplicación de cubiertas.	Aplicación de cubiertas vía campana, disco o <i>airless</i> .
	Decoración vía pantalla serigráfica en decoradora manual.	Decoración vía pantalla serigráfica o rodillo silicona rotograbado en máquina decoradora automática.
	Horno de rodillos piloto. En cerámica se pueden presentar diferencias entre hornos iguales de la misma planta.	Hornos de rodillos industriales en 5 plantas diferentes.
Mano de obra	Hay 9 laboratoristas con alto nivel de experiencia.	Personal de apoyo de los laboratorios de área técnica de cada planta y operadores de cada uno de los procesos.
Método	Procesos estandarizados pero en los que hay operaciones manuales en los que puede haber una influencia por la manera como realice la operación cada persona.	Procesos estandarizados y documentados, soportados en las informaciones que se deben poner por fichas técnicas.
	Algunas preparaciones de insumos son manuales y puede haber diferencias con las preparaciones industriales.	Todas las preparaciones de insumos se llevan a cabo mediante procedimientos documentados.
Medio ambiente	Laboratorio ubicado en Sabaneta Antioquia. Las condiciones medioambientales pueden tener una influencia menor.	Plantas ubicadas en Girardota y La Estrella en Antioquia, Sopó y Madrid en Cundinamarca.

Fuente: Elaboración propia con soporte en entrevistas (ver anexo 1).

En cada una de las 5M hay variables de proceso que potencialmente pueden influir en la variable de respuesta esperada. Con el fin de tener como punto de partida para un posterior planteamiento experimental en el momento en que se esté evaluando la propuesta metodológica de mejoramiento, a continuación se lleva a cabo un listado de las variables que según los expertos del proceso pueden tener mayor influencia sobre la apariencia estética de la pieza cerámica tanto a nivel de laboratorio como a nivel

industrial. Dicha construcción se realizó mediante entrevistas con los expertos. En el anexo 1 están recogidas algunas de las preguntas realizadas en torno a este tema y a otros adicionales y con base en las respuestas las afirmaciones realizadas en el presente capítulo.

Tabla 8. Variables de proceso que según expertos pueden tener mayor influencia en la reproducibilidad del prototipo.

Tipo de M	Cambio en proceso de alta influencia
Máquina	Diferencias de curvas de cocción entre horno de laboratorio y hornos industriales.
	Cambio de tecnología de decoración entre pantalla plana de laboratorio y rodillo de silicona a nivel industrial (tipo de pantalla, tipo de rodillo de silicona, incisiones, etc.)
	Cambio de tecnología de esmaltado entre pistola en laboratorio y diversos equipos de esmaltado en planta.
Mano de obra	Persona que esmalta en el laboratorio.
	Persona que decora en el laboratorio.
Método	Cantidades aplicadas de esmalte tanto en el laboratorio como en la planta.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los expertos, en materia prima no debería haber variables que influyeran de manera significativa el resultado del prototipo más allá de las diferencias cerámicas que se deben manejar en el día a día por el origen mineral de los materiales. De igual manera no se considera que en el medio ambiente pueda existir una fuente de influencia considerable sobre la reproducibilidad de los prototipos en planta. Por el contrario, en cuanto a mano de obra, máquina y método sí se identificaron algunas posibles variables que en términos generales pueden tenerse en cuenta a la hora de empezar a plantear posibles diseños experimentales.

Como conclusión en la revisión del paralelo entre las etapas de prototipo de laboratorio y etapa industrial puede decirse que como proceso cerámico son bastante similares, pero a la hora de detallar desde el punto de vista de las 5M se evidenciaron las diferencias y con la ayuda de los expertos del proceso fue posible acotar las diferencias a algunas variables que posiblemente son las que mayor influencia tienen en la reproducibilidad entre una etapa y la otra. Esta información es clave para determinar el abordaje inicial de la propuesta metodológica.

3.5 Categorías y complejidades de producto.

Dentro del diagnóstico que se realiza al proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A P&P se preveía realizar una revisión a las particularidades que tiene el proceso y deben ser tenidas en cuenta a la hora de plantear la propuesta metodológica para que sea lo más acertada posible y así evitar que algunos elementos no considerados puedan afectar la potencia de la propuesta. Es así como con base en las preguntas realizadas durante el diagnóstico y que son recogidas en el Anexo 1 se pudo determinar que la principal particularidad del proceso es la existencia de categorías y complejidades de producto.

Es importante precisar sobre la existencia de una serie de variedades de productos que para efectos de análisis y del posterior tratamiento a través de la propuesta metodológica de mejoramiento es clave conocer, pues tiene directa influencia sobre la intervención del proceso, dado que no se podría generalizar a la hora de intervenir el proceso dada la heterogeneidad de productos.

De todos los desarrollos de nuevos productos que anualmente se trabajan, existe una mezcla no homogénea que podría dificultar la aplicación de cualquier propuesta metodológica si no se tomaran las precauciones del caso. Se podían realizar clasificaciones de diversos tipos como lo son: por plantas, por tecnologías de decorado, por tecnologías de esmaltado, por técnica cerámica, por tipología de insumos, por complejidad técnica cerámica, por tipologías comerciales, por apariencia estética, etc.

Tomando como base la información disponible de los productos desarrollados durante el año 2010 y 2011 en Colcerámica S.A P&P, es posible detallar respecto a algunas de las clasificaciones mencionadas de mayor interés para la aplicación de la propuesta metodológica. Se decide realizar la clasificación por complejidad técnica de productos y por Pareto de los procesos que lleva.

3.5.1 Complejidades técnicas de producto.

Dentro del proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A se tienen identificadas actualmente 8 complejidades técnicas de producto, donde complejidad 0 es la más sencilla y 7 es la más compleja. Dicha complejidad está definida con base en criterios técnicos que finalmente definen el cronograma del producto, pues no es lo mismo desarrollar un producto con una técnica existente conocida con equipos conocidos de procesos existentes, que desarrollar un producto con una nueva técnica de fabricación y con una tecnología en evaluación o en proceso de puesta a punto. Con el fin de tener una idea de la distribución de productos por complejidad durante el año 2010, se presenta a continuación el número de referencias color desarrolladas en cada una de las complejidades. Sistema de Gestión de Calidad Colcerámica S.A (2011).

Tabla 9. Número de referencias color desarrolladas por complejidad en el año 2010 y 2011 en Colcerámica S.A P&P.

Complejidad	# referencias color	%	# referencias color	%
	2010	2010	2011	2011
0	48	7,50%	17	3,50%
1	42	6,60%	60	12,35%
2	215	33,60%	225	46,30%
3	163	25,50%	64	13,17%
4	12	1,90%	50	10,29%
5	64	10,00%	37	7,61%
6	41	6,40%	26	5,35%
7	55	8,60%	7	1,44%

Fuente: Elaboración propia con base en informe de gestión de área de desarrollo de nuevos productos de 2010.

Se puede observar que el 59,1% de los productos desarrollados durante el 2010 están entre complejidades 2 y 3. Siendo las complejidades técnicas con mayor número de

desarrollos es pertinente poner especial atención a estas complejidades para la aplicación de la propuesta metodológica posterior.

De acuerdo con la información suministrada por Colcerámica S.A en su informe anual de gestión para desarrollo de nuevos productos de P&P del 2010 y 2011, las complejidades 2 y 3 son en su mayoría aquellas que hacen referencia a las necesidades de renovación de portafolio sobre las que se exige una alta velocidad, donde se encuentran los productos de técnicas existentes que necesitan ser renovados por las dinámicas de mercado discutidas en la introducción de este trabajo.

3.5.2 Clasificación del desarrollo desde el punto de vista de procesos cerámicos comunes.

Como pudo observarse en el flujograma de proceso comparativo entre el prototipo de laboratorio y la producción industrial, existen una serie de etapas si bien no son iguales, son comunes desde el punto de vista cerámico. Dichas etapas son el esmaltado, decoración y cocción.

Tabla 10. Tabla Pareto de los desarrollos del 2010 y 2011 por procesos.

Proceso esmaltado	2010			2011		
	Técnica decoración	# referencias	%	Técnica decoración	# referencias	%
Esmaltado	Pantalla	262	40,90%	Pantalla	155	31,89%
	Rotocolor	236	36,90%	Rotocolor	131	26,95%
	N.A-Otros	46	7,20%	N.A-Otros	27	5,56%
No esmaltado	N.A	96	15,00%	N.A	36	7,41%
				Pantalla	137	28,19%

Fuente: Elaboración propia con base en informe de gestión de área de desarrollo de nuevos productos de 2010 y 2011.

Nota: todos los productos esmaltados llevan el proceso de cocción, mientras que los no esmaltados no llevan cocción.

A manera de conclusión en el presente numeral se puede decir que existe una alta heterogeneidad de productos desarrollados en Colcerámica S.A, lo cual es soportado en el análisis de la información histórica disponible para el año 2010 y 2011. Este hallazgo ratifica el hecho de que cualquier propuesta metodológica que se presente desde el uso de diseño experimental debe tener en cuenta esta particularidad para evitar resultados erróneos. Existe una concentración importante de desarrollos en dos complejidades y desde el punto de vista de los procesos, de igual forma en dos procesos, lo que da información útil para el enfoque de la propuesta metodológica.

Luego de realizar el diagnóstico al proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A, es posible sacar algunas conclusiones.

En primera instancia, puede decirse que con excepción de la ingeniería concurrente, todas las metodologías encontradas en la literatura tienen características similares al proceso que se desarrolla en Colcerámica S.A P&P y no se encuentra evidencia metodológica de la realización de las etapas de prototipo y puesta a punto industrialmente de una manera diferente que posiblemente contribuya a la solución dentro del problema de investigación. La ingeniería concurrente si bien sí tiene elementos radicalmente diferentes que posiblemente pueden aportar a la solución del problema de investigación, implica realizar cambios significativos a todo el proceso y se sale del alcance. Ante esta evidencia se hace necesario realizar propuesta metodológica propia para el proceso macro.

En cuanto al análisis detallado del proceso de desarrollo entre las etapas de prototipo y de puesta a punto a nivel industrial, puede decirse que para el prototipado de laboratorio que hay limitantes experimentales asociadas a la escala en la que se hace vs las plantas donde se produce y para dicho fin se realizan ajustes a las fichas técnicas que se entregan a las diversas plantas con el fin de ajustar las condiciones experimentales con la intención de acercarlas en lo posible a la realidad donde se fabricará, sin embargo existe una falencia importante en este sentido, pues no se aplica ninguna metodología sino que se usan criterios basados en la experiencia.

Respecto al análisis detallado de la etapa de puesta a punto a nivel industrial, se puede concluir que la falta de metodología para el ajuste de parámetros en el prototipado mencionado anteriormente es transmitido a la puesta a punto industrial, donde el punto de inicio que es la ficha técnica de laboratorio tiene ajustes empíricos por lo que no es completamente confiable y a partir de las primeras pruebas también se evidencia la falta de metodología para obtener la preproducción del prototipo a nivel industrial.

Adicionalmente al realizar el paralelo entre las dos etapas en análisis en el presente diagnóstico fue posible determinar que desde el punto de vista de proceso cerámico, ambas etapas son bastante similares, pero al hacer el contraste desde la perspectiva de las 5M se encontraron diferencias importantes que fue posible acotarlas a variables con la ayuda de los expertos. Esta información es vital para determinar el abordaje inicial de la propuesta metodológica.

Finalmente, a través del análisis de las particularidades del proceso, se encontró que hay un ingrediente clave para el planteamiento de cualquier propuesta metodológica a través de diseño experimental y es la alta heterogeneidad de productos desarrollados.

En resumen, en el presente capítulo fue posible revisar todos los elementos necesarios para tener un diagnóstico del proceso de desarrollo de nuevos productos en Colcerámica S.A que permita fundamentar la propuesta metodológica, pues se recopilieron las realidades, debilidades y particularidades del proceso. Estos hallazgos son que desde la literatura no se encuentra ninguna metodología para la gestión del proceso de desarrollo de nuevos productos en la que esté explícito un enfoque particular para enfrentarse al paso entre prototipado y puesta a punto a nivel industrial, que el proceso de desarrollo de nuevos productos entre prototipo y puesta a punto tiene falencias metodológicas por el uso de ajustes de parámetros basados en la experiencia y en el ensayo-error y que se tiene una alta heterogeneidad de tipologías de productos que debe ser tenida en cuenta.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE DESARROLLO DE NUEVO PRODUCTO

En el presente capítulo se llevará a cabo la descripción de la propuesta metodológica que al utilizar diseño experimental permita el mejoramiento del proceso de desarrollo de nuevos productos en Colcerámica S.A. Luego de haber profundizado en el proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A P&P a través del diagnóstico del capítulo previo, entendiendo cuáles son las diferencias entre las etapas de prototipado y de puesta a punto a nivel industrial y habiendo detectado las falencias del proceso, es posible determinar que la propuesta metodológica estará centrada alrededor de los temas principales que arrojó el diagnóstico y que son el ajuste al proceso macro de desarrollo de nuevos productos y la necesidad de realizar ajustes sistemáticos y metodológicos entre las etapas de prototipado y de puesta a punto a nivel industrial, todo enmarcado dentro de las consideraciones de las particularidades del proceso detectadas como son las complejidades detalladas en el capítulo anterior.

El capítulo será desarrollado inicialmente revisando al detalle la problemática que se está abordando, con el fin de entender con mayor profundidad cuál es el punto de partida. Posteriormente se revisará desde el punto de vista del macro proceso, dónde está centrada la propuesta y se analizará el flujograma comparativo entre la situación actual y la propuesta, con el fin de entender cuál es el eje de la metodología de mejoramiento, saber dónde se desea llegar y cuál sería su potencial impacto.

Posteriormente se revisará el detalle de la propuesta con cada una de las etapas que se deben realizar dentro del ciclo de mejoramiento y se explicará el enfoque y los principios metodológicos, para luego realizar un análisis en torno a la propuesta, destacando los elementos que son incorporados que aseguran el éxito respecto a la situación actual. Se profundizará en torno a la metodología de carácter sistemático, la cual a través de un diseño experimental EVOP 2², permitirá ajustar los parámetros de fichas técnicas de prototipo de laboratorio de tal manera que a la hora de ponerlos a punto en la etapa industrial su reproducibilidad será mucho más rápida que en la situación actual.

Finalmente se detalla cómo se realizará la implementación, la cual no entra dentro del alcance del presente trabajo por consideraciones de tiempo. En la planeación de la

implementación se presenta el cronograma detallado y los aspectos clave a tener en cuenta, así como las implicaciones que tiene para el proceso actual.

4.1 Analizando la problemática.

En el proceso de Desarrollo de Nuevos Productos de la unidad de negocio de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A, se presenta una problemática de velocidad de respuesta en el desarrollo que se describe a continuación.

El mercado de baldosas de pisos y paredes en el entorno tanto nacional como regional (Latinoamérica y Estados Unidos), viene presentando durante los últimos años una dinámica con un alto grado de obsolescencia de producto (reducción de ciclo de vida de producto), generada básicamente por las tendencias de la moda, por la imitación y por variables de competitividad del mercado. En primer lugar, la cerámica como material de la construcción está fuertemente influenciada por las tendencias de la moda que vienen desde el sector textil y por tal razón la apariencia estética de los productos está en constante cambio. Adicional a esto, el sector presenta altos niveles de imitación, pues productos exitosos son rápidamente copiados por los competidores. Finalmente, se presenta un entorno competitivo difícil por la cantidad de oferentes tanto de producto manufacturado nacional como en el exterior (China, Brasil, Italia, España, Perú, entre otros) con un amplio portafolio de productos similares enmarcados bajo fuertes presiones de precio. Informes de competitividad y CLACOM (Clasificación comercial) año 2011, P&P Colcerámica S.A.

Este fenómeno ha venido jalonando una dinámica de renovación del portafolio acelerada que demanda un alto flujo de desarrollo de nuevos productos, al punto que en el año 2008 se desarrollaron alrededor de 680 referencias color, en el año 2009 alrededor de 580 referencias color, en el 2010 alrededor de 640 referencias y en el 2011 486 referencias (Colcerámica S.A, 2011, Informes de gestión resumen de los años 2008, 2009, 2010 y 2011 de área de Desarrollo de Nuevos Productos, división de P&P). Esta dinámica se confirma con el indicador de vitalidad del portafolio, medido como la participación porcentual de las ventas de productos nuevos sobre las ventas totales del negocio en los últimos 3 años, arrojando resultados entre el 45% y 55%. Este indicador da cuenta no sólo de la dinámica del mercado, sino también de la propuesta innovadora de la Organización CORONA (Colcerámica S.A, informe del *Balanced Scored Card* de Colcerámica S.A, 2011). Para responder a esta demanda de desarrollos, en el año 2009 se realizó un proyecto VSM (*Value Stream Mapping*) en el que se logró reducir el tiempo de desarrollo de producto vía levantamiento del proceso y eliminación de pérdidas. Dentro de dicho proyecto se identificó la puesta a punto de los prototipos cerámicos en la escala industrial como una de las etapas que tienen mayor impacto sobre el tiempo de ciclo del desarrollo, básicamente por la complejidad técnica y logística, sin embargo afinar la puesta a punto del prototipado no entraba dentro del alcance de la herramienta metodológica del proyecto.

Logísticamente, dado que las plantas de fabricación de baldosas cerámicas se encuentran diseñadas en función de mantener con carga el horno el 100% del tiempo, las líneas de producción que lo alimentan deben tener una eficiencia global de línea tal que lo permita. Esta es la razón por la cual a la hora de poner a punto un producto en la línea de producción, los tiempos de ensayo son limitados. Esta situación se agrava en épocas de alta demanda en los que se entra en una disyuntiva difícil de manejar, dado que los espacios para ensayos difícilmente se pueden asignar debido a que se debe entregar el

producto vendido, aunque el producto nuevo también tiene una prioridad estratégica o táctica, pues representa las futuras ventas del negocio.

Desde el punto de vista técnico, reproducir un prototipo de laboratorio a nivel industrial es una tarea complicada por múltiples razones entre las que se encuentran la complejidad asociada al escalamiento, las transferencias tecnológicas, la falta de estandarización de las condiciones de elaboración del prototipado, entre otros.

En la actualidad para lograr la reproducción de un prototipo de laboratorio con las características funcionales y estéticas requeridas, además del aseguramiento del proceso cerámico, se realizan una serie de pruebas tipo ensayo-error, tomando como punto de partida una ficha técnica de prototipado. En este proceso, es usual encontrar que se realizan desde 4-5 ensayos hasta 30-40 ensayos por producto y para el volumen de desarrollos anteriormente descritos, el número de ensayos es muy elevado.

Como se mencionaba anteriormente, el proceso de ensayo-error a nivel industrial comienza en una serie de parámetros con los cuales se realizó el prototipo de laboratorio (ficha técnica de prototipo aprobado), sin embargo, cuando dichos parámetros son puestos a nivel industrial, el resultado usualmente no es el esperado y es cuando se inicia el proceso de ajuste a los parámetros hasta que se logra reproducir el prototipo de laboratorio. Por tal razón, se identifica como un reto para este trabajo, a la posibilidad de ajustar metodológicamente el proceso de manera que la reproducción a nivel semi-industrial se realice con el menor número de ensayos posibles.

En resumen el proceso de poner a punto un producto en producción es dispendioso y se pierde tiempo valioso con la cantidad de ensayos que se deben realizar no solo desde el punto de vista del mercado sino de la manufactura. En términos de tiempo se puede estar hablando que un producto puede tomar en el mejor de los casos un par de días para quedar a punto para producción, pero en general toma de 15 días a 1 mes de acuerdo con los registros que se tienen (Base de datos de control de tiempos de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A P&P, documento controlado por el Sistema de Calidad). Esto se debe a que los tiempos de ensayo son limitados, pero también a que la reproducibilidad entre el laboratorio y la planta se realiza a través de ajustes tipo ensayo-error, sin ningún tipo de metodología.

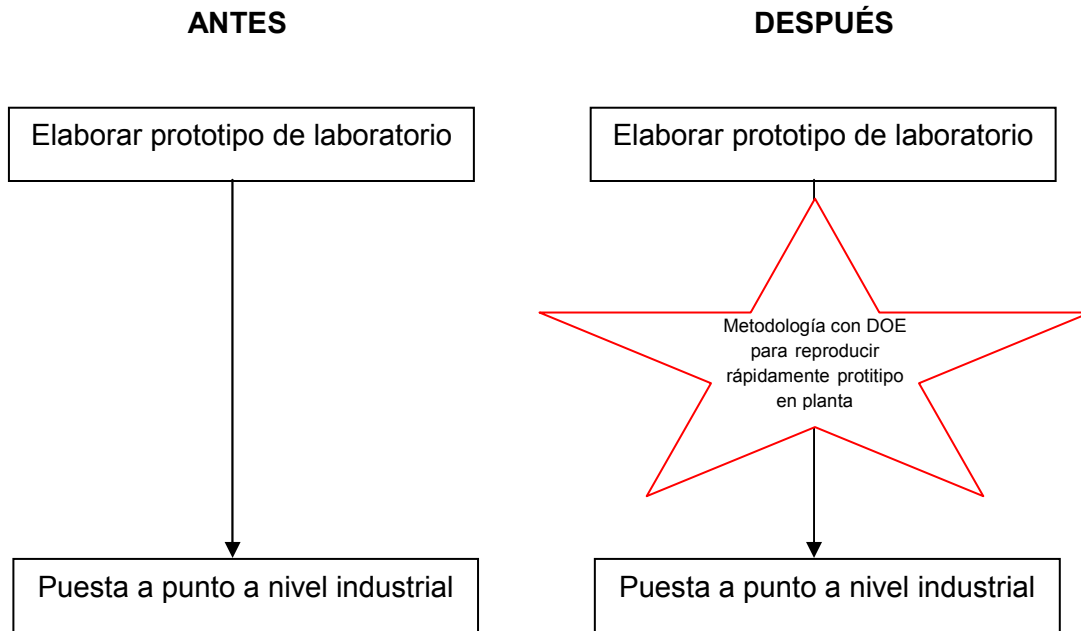
Lo que se pretende lograr a través de la propuesta metodológica es reducir la cantidad de ensayos que se deben hacer de un producto en al menos un 50% en la planta para llegar al resultado esperado, lo que representaría una reducción del tiempo de desarrollo y permitiría llegar más rápidamente al mercado, disminuyendo de por medio los costos de puesta a punto.

4.2 Entendiendo el eje de la propuesta.

Antes de realizar una descripción detallada de la propuesta, es importante hacer explícito dónde se encuentra su eje central. Como puede observarse en la Figura 20, se centra la propuesta en implementar una metodología entre la etapa de prototipo y la etapa de puesta a punto a nivel industrial. Actualmente al finalizar la etapa de prototipado se entrega el producto a planta y el documento clave es la ficha técnica, pues es el punto de partida para reproducir el producto en la planta. Por la experiencia se realizan algunos ajustes a la ficha técnica antes de ser enviada a la planta pues se dice que de esta manera se acerca más al proceso industrial, pero este proceso se realiza de manera

empírica. La propuesta busca realizar este procedimiento de manera metodológica aplicando diseño experimental

Figura 20. Eje de la propuesta metodológica.



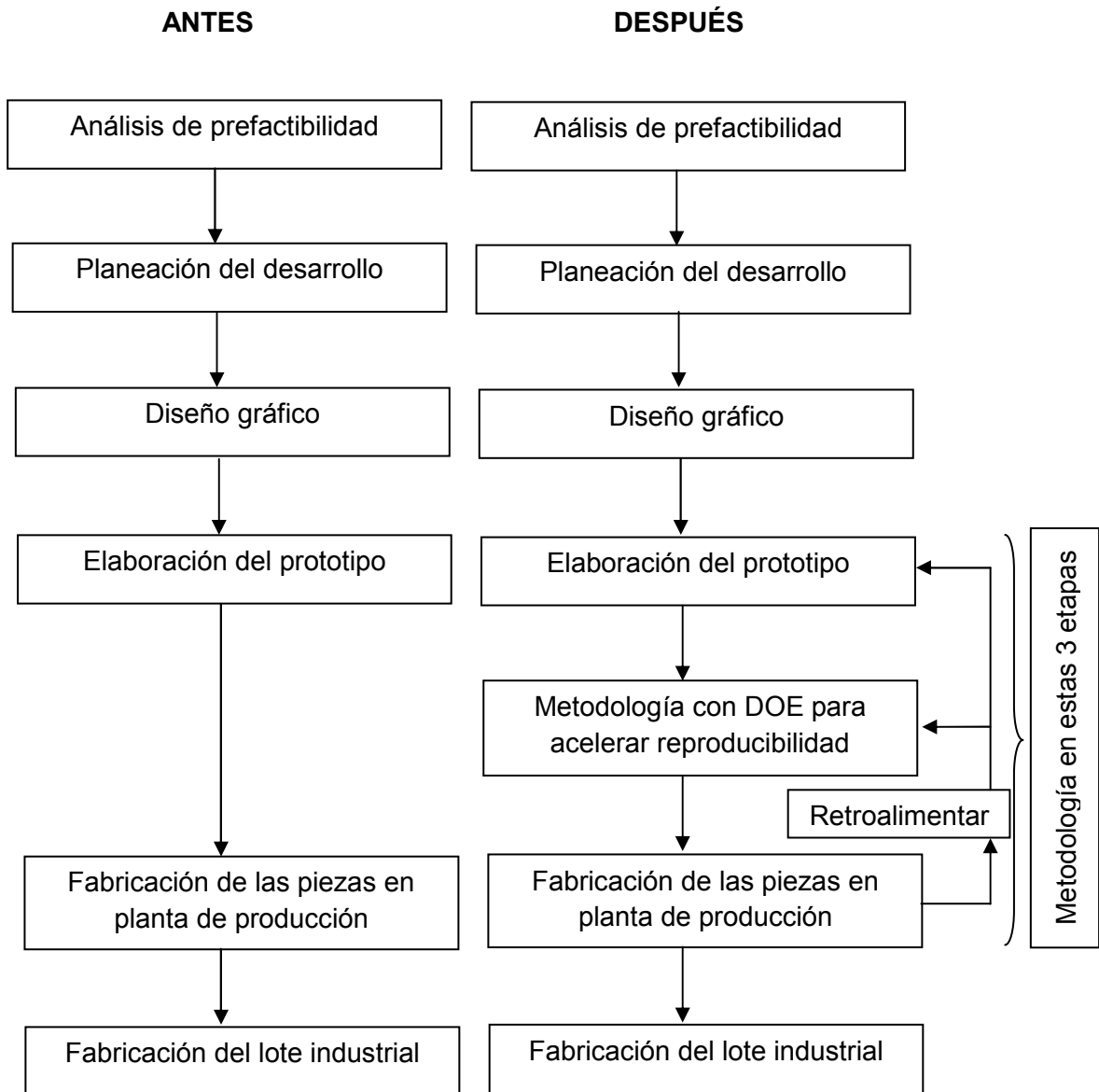
Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura anterior, el eje de la propuesta está en introducir una metodología entre las etapas de prototipo y puesta a punto a nivel industrial para asegurar una más rápida reproducibilidad del prototipo de laboratorio en la planta industrial.

4.2 Antes de detallar la propuesta metodológica.

Al analizar el proceso de desarrollo de nuevos productos de Colcerámica S.A P&P y las metodologías que existen en la literatura, se llegó a la conclusión que desde el punto de vista del macro-proceso no se tiene evidencia de un enfoque especial para mejorar la reproducibilidad entre prototipo y puesta a punto a nivel industrial y es por tal razón, que se propone la metodología entre las etapas de prototipo de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial. A continuación se detalla cómo se encuentra el proceso en estos momentos y la propuesta macro.

Figura 21. Flujoograma comparativo entre el proceso de desarrollo de producto físico entre el antes y el después.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior, la propuesta adiciona una etapa macro entre la elaboración del prototipo y la fabricación de piezas en planta de producción y se genera un ciclo de retroalimentación entre las dos etapas anteriormente mencionadas y la etapa de aplicación de la metodología. La mejora respecto al proceso anterior como se analizará a continuación radica en la generación de un proceso ordenado y sistemático a través de la aplicación de diseño experimental para que la reproducción industrial sea lo más rápida posible y reemplazar la incertidumbre ensayo-error que se tiene en la actualidad.

Como consideración general antes de detallar la propuesta, es pertinente mencionar que siendo un proceso con una alta componente experimental como se ha detallado en los capítulos anteriores, es clave que para la aplicación de cualquier propuesta metodológica se debe eliminar la mayor cantidad de ruidos experimentales posibles, de manera que el proceso se encuentre en condiciones de repetitividad y reproducibilidad que potencie la efectividad de la metodología.

4.3 Diagrama de flujo y descripción de la propuesta metodológica.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la propuesta metodológica para mejorar el proceso de desarrollo de nuevos productos de la división de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A, más específicamente entre la etapa de prototipado de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial. En términos generales la propuesta está compuesta de dos grandes partes, la de la detección de las diferencias que se obtienen entre las etapas de prototipo de laboratorio y la etapa industrial y el ciclo de mejoramiento.

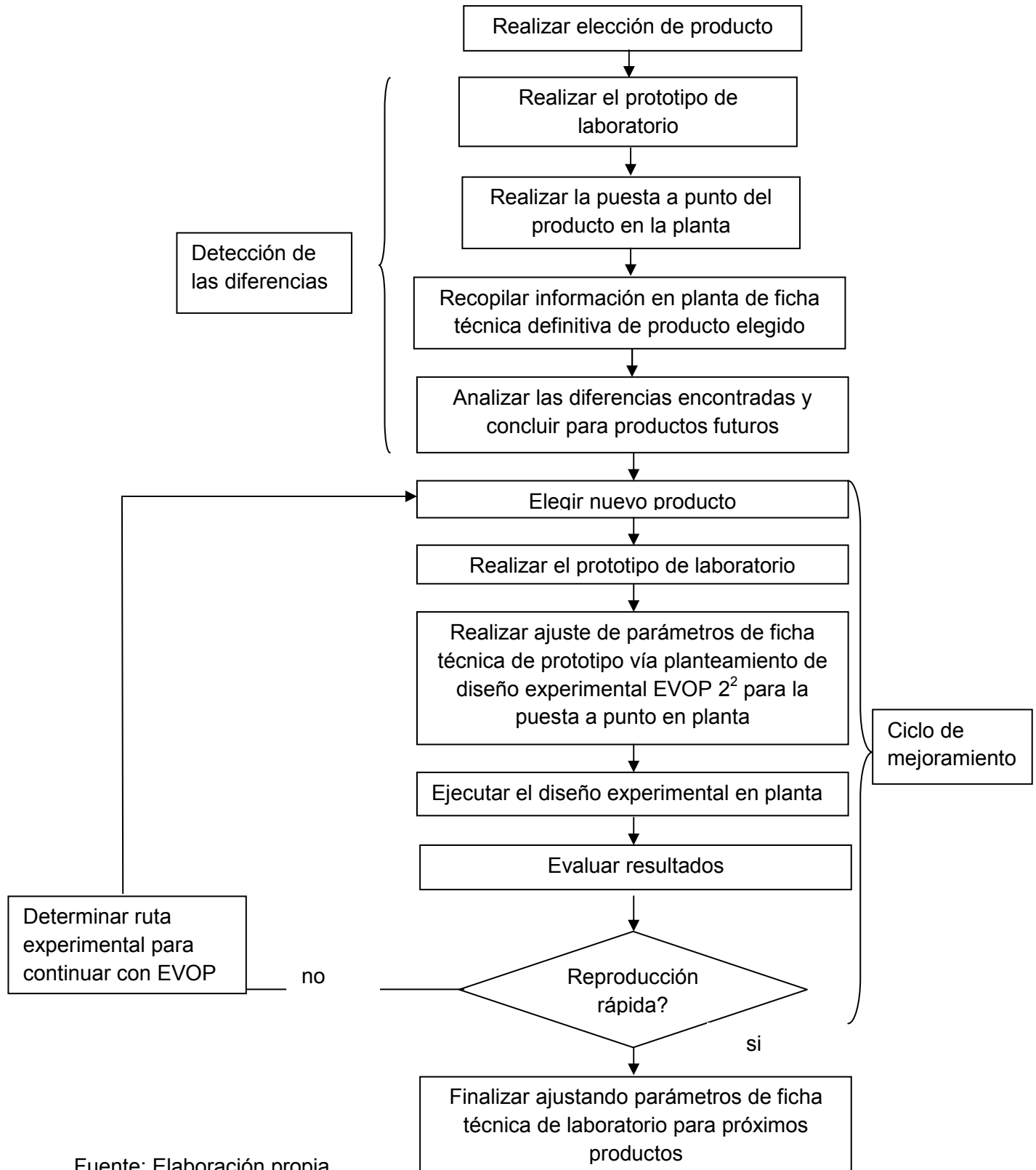
La detección de diferencias tiene como objetivo mapear las posibles variables que tienen influencia sobre la reproducibilidad del prototipo en la planta una vez se realiza el ajuste de los parámetros de la ficha técnica de laboratorio y su entregable finalmente será la base para el planteamiento del diseño experimental.

La etapa de mejoramiento consiste básicamente en la aplicación de un EVOP 2² en la puesta a punto a nivel industrial. Este EVOP se define con base en las variables críticas arrojadas en la etapa de detección de diferencias y con base en la información entregada por los expertos y toma como punto de referencia la ficha técnica de laboratorio. La aplicación del EVOP se puede realizar sin parar el proceso, de manera de ir en la ruta del mejoramiento en la medida que se van haciendo los desarrollos.

4.3.1 Realizar elección de productos.

Esta primera etapa es clave, dado que tal como se revisó en el capítulo anterior, existen clasificaciones de productos desde el punto de vista técnico y de los procesos, además que hay ciertas tipologías de productos que son más frecuentes y por ende aportan mayor cantidad como número de desarrollos anuales. De acuerdo con los expertos del proceso, inicialmente se podría centrar la atención de la propuesta metodológica sobre los productos de complejidad técnica baja y de alta frecuencia en el desarrollo (de cara a generar mayor impacto), pues productos de altas complejidades usualmente están relacionados con desarrollo de nuevos procesos sobre los que existe mucha incertidumbre y muchas posibles variables que afecten el desempeño final del producto. Sin embargo, como propuesta metodológica sería aplicable a cualquier tipología de producto. Lo importante de la elección, es que para poder realizar la propuesta en la que tras el desarrollo de producto se vaya orientando hacia el mejoramiento representado en la reproducibilidad casi inmediata a nivel industrial, se tenga la continuidad sobre productos de características similares, de lo contrario se corre el riesgo que luego de varios ciclos experimentales se sigan obteniendo los mismos resultados.

Figura 22. Diagrama de flujo de la propuesta metodológica.



Fuente: Elaboración propia.

Para la elección del producto debe tenerse en cuenta entonces:

- Complejidad.
- Procesos que tiene el producto.

4.3.2 Detección de diferencias.

Se propone realizar esta serie de etapas con el fin de tener idea en dónde se encuentran las diferencias entre el resultado que se obtiene con la elaboración del prototipo y como queda aprobado en planta luego de los ajustes que haya requerido para poder plantear las variables y niveles del diseño experimental.

Se parte con la elaboración de un prototipo al cual se le realizan los ajustes de los parámetros que habitualmente se hacen y se entrega la ficha técnica a planta para su posterior reproducción en la línea. Una vez se haya obtenido la reproducción en línea se recopila la información de la ficha técnica de planta y se contrasta con la de laboratorio para su análisis. El análisis de las diferencias pretende detectar de manera preliminar cuáles podrían ser las variables que potencialmente tienen mayor influencia sobre la reproducibilidad de los productos en la línea. Con las variables detectadas de manera preliminar (sin tener todavía la certeza porque no es un procedimiento con fundamentos estadísticos) mediante este procedimiento, se puede tener una idea de cómo iniciar el diseño experimental. Este tema es clave debido precisamente a que como se mencionó en el capítulo 2, una de las posibles desventajas del EVOP, se presenta cuando se tienen demasiadas variables que posiblemente afecten la variable de respuesta, por lo que se requerirían muchos ciclos de iteración para poder encontrar las variables y los niveles deseados que impacten y apunten hacia la ruta del mejoramiento.

Esta detección de diferencias no necesariamente se haría sólo al inicio del ciclo de mejoramiento experimental, sino que eventualmente sería importante realizarlo cuando ya se han mejorado ciertas variables y se desee encontrar otras que posiblemente estén influenciando para iniciar nuevos ciclos de diseño experimental, pues el EVOP 2^2 por su enfoque práctico tiene la limitante de tomar solo dos factores con dos niveles al tiempo. La razón por la cual se usa el EVOP 2^2 , que es el EVOP simplex clásico, es por el enfoque práctico que tiene la propuesta, debido a que la ejecución del diseño experimental se realiza en una planta manufacturera donde se tienen limitantes de tiempo y de recursos en las líneas de producción como para llevar a cabo un número de corridas elevado y como es una metodología que se incorpora al proceso y cada vez que se realiza un ciclo de mejoramiento con EVOP se debe ejecutar un diseño experimental 2^2 , sostener en el tiempo un EVOP con mayor número de corridas sería bastante complejo. Sin embargo que se tomen 2 factores a 2 niveles no quiere decir que se dejan de considerar todas las variables que se crean sean las que mayor influencia tienen en la variable de respuesta, pues a lo largo de los ciclos de mejoramiento con EVOP se tiene la posibilidad de ir cambiando los factores y los niveles una vez se hayan encontrado los niveles que mayor influencia tienen sobre la variable de respuesta o por el contrario se hayan descartado porque no se obtenga el resultado deseado.

4.3.3 Ciclo de mejoramiento.

El ciclo de mejoramiento es el propósito final de la propuesta y consiste en la aplicación de EVOP en la puesta a punto de los prototipos de laboratorio a escala industrial a través de la realización sistemática de repetidos desarrollos de las mismas características.

El ciclo de mejoramiento inicia con la elección de un producto de acuerdo con las precauciones anteriormente mencionadas. Se procede a realizar el desarrollo de laboratorio y en el momento de realizar el ajuste de los parámetros de ficha técnica de laboratorio para usar en planta como punto de partida, se realiza el planteamiento del diseño experimental EVOP 2². La razón por la cual se elige realizar un diseño 2² es por simplicidad práctica precisamente por la misma filosofía del EVOP y la realidad de la compañía analizada anteriormente. El ajuste de los parámetros de la ficha de laboratorio se convierte entonces en un diseño experimental a ejecutar durante la puesta a punto en planta, donde los niveles de las variables se modifican levemente de manera que sin cambiar drásticamente las condiciones del proceso industrial se pueda tomar la vía del mejoramiento.

Luego de ejecutar el diseño experimental en planta se deben evaluar los resultados obtenidos para determinar cuál de los experimentos se acerca más al resultado deseado. En este punto, si con la ejecución del diseño experimental no se ha logrado el resultado esperado el proceso debe seguir adelante como normalmente se hace, para que a través de pruebas adicionales se logre llegar al objetivo deseado, pues el proceso no puede parar.

Con la información que se recopila a través de la ficha técnica definitiva se evalúa el resultado obtenido y se determina si la reproducción del prototipo se llevó a cabo con la ejecución del diseño experimental. En el caso en que la reproducción no se haya obtenido en el primer ciclo experimental, quiere decir que fueron necesarias pruebas adicionales para llegar al objetivo deseado (las pruebas adicionales bajo la metodología tradicional de ensayo y error) y se debe iniciar un nuevo ciclo de mejoramiento, en el que a un producto de tipología similar se le apliquen las mismas etapas pero con la diferencia que el planteamiento experimental debe tener niveles de las variables con leves modificaciones en la dirección que el diseño experimental preliminar marcó como la ruta del mejoramiento. Este proceso se debe realizar hasta que se encuentren unos parámetros ajustados de ficha técnica de prototipo de laboratorio, tales que al ser aplicados como punto de partida para la puesta a punto industrial, la reproducción sea si bien no inmediata muy cercana al objetivo y se requieran hacer solamente ajustes finos. Los parámetros de ajuste de ficha técnica de prototipo de laboratorio que se encuentren luego de que el ciclo de mejoramiento haya conseguido los resultados adecuados se deben dejar definidos para la familia de producto particular en análisis. Esta propuesta puede ser aplicada para cada una de las tipologías de productos identificadas.

4.4 Detalle de la propuesta metodológica.

A continuación se realiza la revisión detallada de la propuesta metodológica en cada uno de los pasos descritos en el flujograma anterior, precisando sobre su real aplicación y cómo debería abordarse.

4.4.1 Detección de diferencias

Como se comentaba previamente en la descripción de la propuesta, el objetivo de la serie de etapas denominadas detección de diferencias es poder definir el punto de partida para el primer diseño experimental. Para tal propósito se debe seguir la siguiente serie de actividades:

- Elegir producto:

Para iniciar el desarrollo de la propuesta metodológica se debe elegir el primer producto con el que se iniciará el ciclo de mejoramiento. Para realizar la elección debe tenerse en cuenta la recomendación hallada dentro del diagnóstico del proceso, donde se establece que existen diversas complejidades de producto. Por esta razón, se debe tener en cuenta que la aplicación de la propuesta sea consistente con complejidades de producto similares para evitar posibles errores experimentales posteriores.

La recomendación para el primer producto es tomar como referencia la información presentada en el diagnóstico, donde se establece que el porcentaje mayoritario de productos desarrollados durante los años 2010 y 2011 son de complejidad 2, esmaltados y con técnica de decoración a pantalla o por rotocolor y para una planta en particular.

La elección de la planta debe realizarse por la que mayor número de desarrollos de productos tienen para la complejidad y con los procesos de esmaltado y decoración anteriormente mencionados. Como se describió en el diagnóstico, se realizan desarrollos para 5 plantas de manufactura diferentes con procesos cerámicos similares pero cada planta con adecuaciones industriales diferentes que pueden influir de manera diferente en los resultados. Es por esta razón que para realizar los ciclos de mejoramiento se debe mantener como premisa que la ejecución de la metodología aplica productos de características similares (complejidad) para cada una de las plantas. De esta manera no se puede ejecutar un ciclo de mejoramiento para una planta y continuar en el siguiente para otra diferente. El hecho de que las adecuaciones industriales sean diferentes limita la posible extensión de los resultados de manera generalizada. Esto implica que se deben realizar ciclos de mejoramiento independientes para cada planta.

Para un adecuado seguimiento al desarrollo de la propuesta metodológica se debe dejar una documentación detallada de todo el proceso.

- Ejecutar desarrollo de prototipo de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial:

En estas etapas se realiza el proceso de desarrollo de nuevo producto físico de la manera tradicional como se ha venido realizando hasta antes de la ejecución de la propuesta metodológica, sin embargo, es clave poner especial atención en primera instancia a la documentación detallada y en segundo lugar a bloquear todas las posibles variables de ruido que puedan influir sobre el resultado. Para dicho fin se toma como referencia la información arrojada en el diagnóstico respecto al análisis de las 5M tanto para el proceso de prototipo de laboratorio como para la puesta a punto industrial. De esta manera se debe garantizar:

- Materiales: que los materiales utilizados tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial cumplan con todos los protocolos de aprobación y no haya excepciones que afecten el resultado.

- Máquina: al enfocar que los ciclos de mejoramiento sean aplicados para productos para una planta en particular se garantiza que siempre se utilicen los mismos equipos. Para el caso del prototipo de laboratorio no hay inconveniente porque las adecuaciones industriales son las mismas.
- Mano de obra: en el caso del prototipo de laboratorio se tienen algunas operaciones manuales que pueden tener alguna influencia en los resultados. En este sentido se deben adelantar dos actividades que serían, realizar procedimientos de homologación en las operaciones manuales entre los 9 laboratoristas y a modo preventivo realizar los primeros ciclos de mejoramiento mediante la ejecución del desarrollo por parte de la misma persona (se da por sentado que es un equipo con amplia experiencia que conoce y maneja a la perfección su rol). En cuanto a las plantas, las operaciones que dependan de la habilidad de las personas son menos, por lo que se debe garantizar que las personas que realizan la ejecución de las pruebas cumplan con todos los requerimientos de entrenamiento requeridos para el cargo.
- Método: debido a la implementación del TPM (*Total Productive Maintenance*) y al soporte integrado del Sistema de Gestión de la Calidad de la empresa, se cuenta con un grado elevado de estandarización en los procesos. Cada proceso productivo tiene sus respectivos estándares de operación que permiten controlar el proceso de manera adecuada. En este caso es clave realizar el seguimiento debido al cumplimiento de los estándares declarados para cada proceso.
- Medio ambiente: este es un aspecto que se sale de control sobre todo en las plantas (no en el laboratorio) por su ubicación geográfica y las características medioambientales no controladas. En este sentido se debe realizar una documentación detallada que permita realizar análisis con los expertos ante una posible influencia de las variables medioambientales en el resultado.

Teniendo controladas todas las variables asociadas a las 5M se logra aislar una gran cantidad de ruido experimental.

En la ejecución de esta primera etapa de la metodología, que hace parte del hito metodológico propuesto de detección de diferencias, los procesos de elaboración de prototipo y puesta a punto a nivel se realizan normalmente sin ninguna modificación a los procesos definidos previos a la propuesta metodológica; las condiciones de su elaboración son consignadas en unas fichas técnicas, a las cuales se le realizan unos ajustes empíricos para acondicionarlos a los procesos industriales y dichas fichas son el punto de partida para la puesta a punto en planta. En la planta se realizarán tantos ensayos como sea necesario hasta que se logre reproducir el prototipo de laboratorio y una vez se obtenga se dejarán documentadas en las fichas técnicas de planta las condiciones en las que fue reproducido el prototipo de laboratorio.

Como se mencionó previamente se debe realizar una documentación detallada de las diferentes condiciones de proceso.

- Recopilar información de las fichas técnicas definitivas de planta y contrastar contra las condiciones originales con las que se realizó el prototipo:

En esta etapa de la propuesta metodológica se deberá obtener la información necesaria para poder realizar el planteamiento del primer diseño experimental. Si bien dentro del diagnóstico se establecieron las variables que según los expertos tienen mayor influencia sobre la reproducibilidad en planta partiendo de la ficha de laboratorio, esta etapa permitirá establecer con datos cuáles son las variables que están teniendo que ser ajustadas en la planta para obtener el mismo resultado que se obtiene a nivel de laboratorio y que se debe reproducir industrialmente. Para realizar esta recolección de información se debe realizar un contraste a través de la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 11. Análisis de diferencias entre la ficha técnica de laboratorio y la ficha definitiva de planta.

Condiciones de ficha técnica de laboratorio			Condiciones de ficha técnica definitiva de planta			Diferencias
Factor		Nivel	Factor		Nivel	
Aplicación de engobe		18 gramos en bandeja 20x20	Aplicación de engobe		18 gramos en bandeja 20x20	Ninguna
Aplicación de esmalte		20 gramos en bandeja 20x20	Aplicación de esmalte		20 gramos en bandeja 20x20	Ninguna
Fórmula del esmalte	Esmalte	100	Fórmula del esmalte	Esmalte	100	Sí existe
	Pigmento 1	2		Pigmento 1	4	
	Pigmento 2	1		Pigmento 2	2	
Fórmula serigrafía color 1	Base serigráfica	100	Fórmula serigrafía color 1	Base serigráfica	100	Sí existe
	Pigmento 1	5		Pigmento 1	5	
	Pigmento 2	10		Pigmento 2	20	
	Pigmento 3	20		Pigmento 3	40	
	Vehículo serigráfico	70		Vehículo serigráfico	70	
Fórmula serigrafía color 2	Base serigráfica	100	Fórmula serigrafía color 2	Base serigráfica	100	Sí existe
	Pigmento 1	5		Pigmento 1	8	
	Pigmento 2	10		Pigmento 2	4	
	Pigmento 3	20		Pigmento 3	26	
	Vehículo serigráfico	70		Vehículo serigráfico	70	
Pantalla utilizada color 1		77 hilos	Tipo de rodillo utilizado		Intermedio 0345	Sí existe
Pantalla utilizada color 2		77 hilos	Tipo de rodillo utilizado		Intermedio 0345	Sí existe
Pantalla utilizada color 3		68 hilos	Tipo de rodillo utilizado		Intermedio 0445	Sí existe
Pantalla utilizada color 4		36 hilos	Tipo de rodillo utilizado		Intermedio 0445 DI	Sí existe
Conclusiones			Se revisa con los expertos la información encontrada y se concluye sobre las diferencias más representativas para el planteamiento del diseño experimental. Inicialmente se deben elegir los dos factores más representativos para los primeros ciclos de mejoramiento.			

Fuente: Elaboración propia.

El entregable del análisis comparativo entre las fichas de laboratorio y la definitiva de planta será el que se presenta en la siguiente tabla, luego de realizar el análisis con los expertos del proceso. La comparación dará información sobre las variables que se están teniendo que modificar entre el laboratorio y la planta, ya sea porque esté asociado a las adecuaciones tecnológicas y el cambio de escala que hace que sean necesarios los cambios o porque a pesar de que tengan procesos similares en ambas instancias, las variables de respuesta están arrojando resultados diferentes que hacen necesarios los cambios en los niveles que reproducen adecuadamente el prototipo en la planta.

Una vez realizado el análisis comparativo, es responsabilidad del experto del proceso realizar la selección de los factores que considere se deben tomar para el primer ciclo de mejoramiento y de igual forma los niveles de dichos factores.

Tabla 12. Factores elegidos para primer ciclo EVOP.

Factores elegidos para primer ciclo EVOP	
Factor 1	
Factor 2	

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Ciclo de mejoramiento.

Para iniciar el ciclo de mejoramiento debe iniciar el desarrollo de un producto nuevamente desde cero, donde se repiten dos de las etapas que se describieron anteriormente y que son: elección del producto y elaboración de prototipo de laboratorio. Se ratifica la importancia de que los productos sean elegidos con los criterios mencionados y la ejecución del prototipo se haga de acuerdo con las directrices establecidas.

Una vez se haya finalizado el prototipado de laboratorio y se tenga la ficha técnica con todas las condiciones con que se elaboró, es el momento para el planteamiento del primer EVOP 2^2 . El propósito de este planteamiento de EVOP es que en reemplazo de la ejecución en la planta del primer ensayo de la puesta a punto industrial con la ficha de laboratorio, se realice un diseño experimental 2^2 tomando como base los dos factores seleccionados en la etapa de detección de diferencias y definiendo con los expertos los niveles que se consideren más convenientes. De esta manera, en la planta no se iniciará la puesta a punto con un ensayo partiendo de la ficha técnica de laboratorio sino que se harán cuatro corridas experimentales y su réplica a partir de la ficha técnica de laboratorio pero con la modificación de dos de sus factores que se evaluarán en dos niveles cada uno.

El diseño experimental por tanto sería un factorial 2^2 como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 13. Diseño EVOP 2^2 .

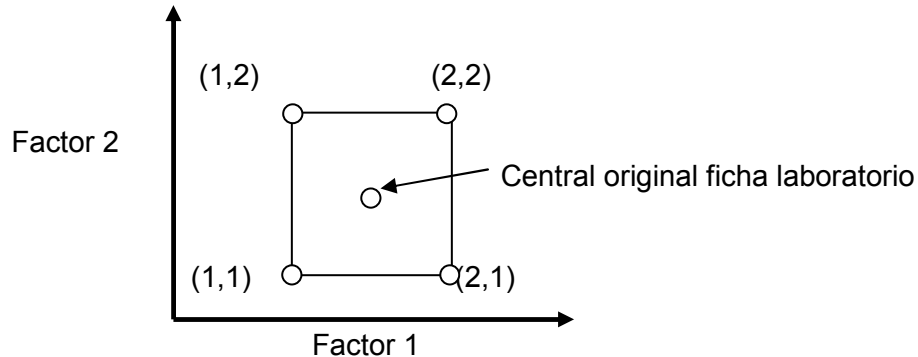
Diseño EVOP 2^2		
Factor 1	Nivel 1	Nivel 2
Factor 2	Nivel 1	Nivel 2

Fuente: Elaboración propia.

Para la ejecución del diseño experimental se deberán tener en cuenta los principios que rigen en diseño experimental como lo son la aleatorización y las réplicas. En este caso por limitaciones prácticas se realizará una sola réplica. Adicionalmente deberán ser evaluados los residuales para verificar la validez estadística de los resultados de manera que se confirmen las hipótesis del modelo experimental de distribución normal, media cero y varianza constante.

La elección de los niveles deberá ser llevada a cabo con los expertos pero manteniendo los principios del EVOP, donde se realizarían pequeñas variaciones sobre los niveles de la variable original establecida a través de la ficha técnica original de laboratorio y se mantendría el valor original como punto central, de acuerdo a como se expresa en la figura siguiente.

Figura 23. Representación gráfica del EVOP 2².



Fuente: Elaboración propia.

La variable de respuesta será la apariencia del producto y se determinará cuál de las corridas experimentales se acerca más al prototipo original de laboratorio. Esta variable de respuesta es un tanto subjetiva, sin embargo se tiene un punto de referencia claramente definido que es el prototipo de laboratorio aprobado. Para poder volver cuantitativa la variable de respuesta de manera de poder aplicar el EVOP se utilizará el sistema de evaluación de *scoring model* mencionado en el numeral 2.4, pero esta vez tomando como referencia la siguiente escala de calificación: 1-la corrida que más se aproxime al patrón, 2-la segunda corrida más próxima al patrón, 3-la tercera corrida más próxima al patrón y 4- la corrida menos próxima al patrón.

Una vez sean obtenidos los resultados de las corridas experimentales y de haber verificado su validez estadística se realiza revisión con los expertos para determinar cuáles serían los nuevos niveles a elegir para el próximo ciclo de mejoramiento experimental, a partir de la condición que mejor se aproximó al resultado deseado.

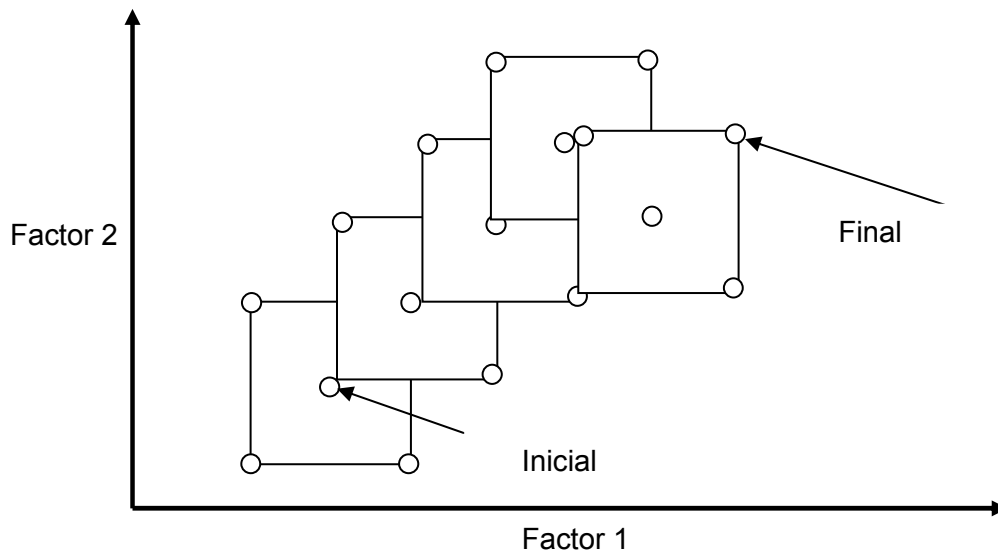
Por tanto, si por ejemplo la corrida (2,2) fue la que se acercó más al prototipo de laboratorio, este será el punto central para el próximo ciclo de mejoramiento. En el producto que se están realizando las pruebas se detiene el diseño experimental y si el producto todavía no está reproducido industrialmente, la puesta a punto se continúa de la manera tradicional como se ha venido realizando, debido a que si se siguiera el EVOP con cada producto hasta su reproducción, el número de corridas podría ser muy elevado, por lo cual el mejoramiento se realizará de manera paulatina entre producto y producto.

De esta manera se inicia un nuevo ciclo de mejoramiento con la elección de un nuevo producto y con la elaboración del respectivo prototipo de laboratorio y una vez se obtenga el prototipo aprobado se procederá a realizar la ficha técnica que se entrega a planta. Sin embargo, en este caso la ficha técnica no se pondrá como dio originalmente en el laboratorio, sino que se ajustará de acuerdo con los resultados del ciclo EVOP

anterior, pues en la ruta en que se realicen los ajustes es hacia donde apunta la ruta de mejoramiento. La ruta de mejoramiento se presenta en la figura siguiente.

Luego de cierto número de ciclos, los cuales no son determinables a priori se encontrarán las mejores condiciones mediante las cuales el prototipo se reproduce más rápidamente en la planta, de tal manera que con la identificación de la ruta de mejoramiento se podrán ajustar los parámetros de la ficha para que la reproducción sea lo más inmediata posible.

Figura 24. Representación gráfica de la secuencia del EVOP.



Fuente: Elaboración propia.

Es posible que con los dos factores que se elijan de manera inicial no sea suficiente para llegar a la reproducción inmediata, pues si bien se logran encontrar los niveles que mejor reproducen el producto en la planta para esos dos factores, pueden existir otros que también tienen una alta influencia en el resultado, por lo cual una vez el EVOP original esté estancado, se deberá modificar en acuerdo con los expertos alguno de los factores o posiblemente los dos. Se deberá llegar a un punto mediante el cual se encontrarían con tal certeza los niveles ajustados para el escalado entre el laboratorio y la planta que posiblemente no sea necesario realizar el EVOP completo, sino que directamente se podría proceder a realizar el ensayo con una certeza muy elevada de que se reproduzca inmediatamente.

El EVOP planteado a través de la propuesta metodológica que se detalló permitirá que en la medida que se van haciendo los diferentes desarrollos, sin tener que parar el proceso para hacer muchas corridas experimentales permitirá ir encontrando la ruta de mejoramiento mediante la cual al ajustar los parámetros de ficha original de laboratorio para ser aplicada en planta, permitirá que la reproducción sea lo más rápida posible. La potencia de la propuesta metodológica supera con claridad la práctica de realizar ajustes a la ficha original de laboratorio para ser enviada a la planta como punto de partida a través de la experiencia y el ensayo y error en la puesta a punto industrial.

4.5 Ejemplificación numérica de la metodología.

A manera de ejemplo a continuación se realiza la presentación de la metodología con datos numéricos aproximados a la realidad del proceso, pero con datos supuestos, con el fin de tener una mejor idea de cómo se ejecuta la metodología.

4.5.1 Detección de diferencias.

- Elección del producto: los criterios de elección se expresan a continuación.

Tabla 14. Ejemplo elección de producto 1.

Producto 1	Ejemplo
Complejidad	2
Planta	SP
Técnica de decoración	Rotocolor
Técnica de esmaltado	esmaltado campana

Fuente: Elaboración propia.

- Ejecutar desarrollo de prototipo de laboratorio y puesta a nivel industrial: se realiza de manera tradicional.
- Recopilar información de las fichas técnicas definitivas de planta y contrastar contra las condiciones originales con las que se realizó el prototipo: a continuación se presenta tabla resumen de análisis comparativo entre ficha de laboratorio y ficha definitiva de planta. Se presenta el ejemplo de los posibles hallazgos en la tabla siguiente.

Tabla 15. Ejemplo de ejercicio de análisis comparativo condiciones de laboratorio y de planta.

Condiciones de ficha técnica de laboratorio			Condiciones de ficha técnica definitiva de planta			Diferencias
Factor	Nivel		Factor	Nivel		
Aplicación de engobe	20 gramos en bandeja 20x20		Aplicación de engobe	18 gramos en bandeja 20x20		Ninguna
Aplicación de esmalte	0.320 Kg/m2 sólidos secos		Aplicación de esmalte	0.380 Kg/m2 sólidos secos		Sí existe
Fórmula del esmalte	100		Fórmula del esmalte	100		Sí existe
Pigmento 1	2		Pigmento 1	4		
Pigmento 2	1		Pigmento 2	2		
Fórmula serigrafía color 1	Base serigráfica	100	Fórmula serigrafía color 1	Base serigráfica	100	Sí existe
	Pigmento 1	5		Pigmento 1	10	
	Pigmento 2	10		Pigmento 2	20	
	Pigmento 3	20		Pigmento 3	40	
	Vehículo serigráfico	70		Vehículo serigráfico	70	
Fórmula serigrafía color 2	Base serigráfica	100	Fórmula serigrafía color 2	Base serigráfica	100	Ninguna
	Pigmento 1	5		Pigmento 1	5	
	Pigmento 2	10		Pigmento 2	10	
	Pigmento 3	20		Pigmento 3	20	
	Vehículo serigráfico	70		Vehículo serigráfico	70	
Pantalla utilizada color 1	77 hilos		Tipo de rodillo utilizado	Intermedio 0345		Sí existe
Pantalla utilizada color 2	77 hilos		Tipo de rodillo utilizado	Intermedio 0345		Sí existe
Pantalla utilizada color 3	68 hilos		Tipo de rodillo utilizado	Intermedio 0445		Sí existe
Pantalla utilizada color 4	36 hilos		Tipo de rodillo utilizado	Intermedio 0445 DI		Sí existe
Conclusiones			Se detectaron 7 factores con diferencias. Con ayuda de los expertos se seleccionaron los dos factores que puedan tener mayor influencia en la reproducción y que tuvieron mayor cambio: aplicación esmalte y Fórmula serigrafía 1.			

Fuente: Elaboración propia.

Los factores elegidos del análisis comparativo realizado con los expertos se presentan a continuación.

Tabla 16. Factores elegidos ejemplo Producto 1.

Factores elegidos para primer ciclo EVOP	
Factor 1	Aplicación de esmalte
Factor 2	Fórmula serigrafía 1

Fuente: Elaboración propia.

Con esta información es posible definir en la etapa del ciclo de mejoramiento el diseño experimental con los respectivos niveles.

4.5.2 Ciclo de mejoramiento.

Para el inicio del ciclo de mejoramiento, se realiza elección de un nuevo producto con características similares al producto 1.

Tabla 17. Ejemplo elección producto 2.

Producto 2	Ejemplo 2
Complejidad	2
Planta	SP
Técnica de decoración	Rotocolor
Técnica de esmaltado	esmaltado campana

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el proceso de elaboración de prototipo y en el momento de realizar la ficha técnica para la entrega a planta, se plantea el diseño experimental EVOP 2² para ejecutar en la planta en reemplazo de la ficha tradicional. A continuación se presenta el diseño experimental.

Tabla 18. Primer diseño EVOP ejemplo numérico.

Diseño EVOP 2²		
	Nivel 1	Nivel 2
Factor 1	0,3 Kg/m ² sólidos secos	0,34 Kg/m ² sólidos secos
Factor 2	80% cantidad pigmentos	120% cantidad pigmentos

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la aleatorización respectiva de las corridas y ejecutar el diseño experimental, el resultado típico se presenta a continuación en la tabla 19.

Tabla 19. Resultado primer EVOP ejemplo.

Corrida	Nivel 1	Nivel 2	Variable respuesta
1	0,3	80%	4
2	0,34	80%	3
3	0,34	120%	1
4	0,3	120%	2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados del ejemplo del primer EVOP, la corrida que se aproximó más al resultado esperado fue la corrida 3, aquella donde los niveles altos de los dos factores fueron los que más se aproximaron al prototipo de laboratorio. En este punto

finaliza el primer ciclo EVOP y con la información de la dirección hacia dónde se encuentra el mejoramiento, se planteará el siguiente diseño experimental, el cual podría estar descrito de acuerdo con la tabla 20 y los resultados de la corrida experimental en el tercer producto elegido en la tabla 21.

Tabla 20. Segundo diseño EVOP ejemplo numérico.

Diseño EVOP 2 ²		
	Nivel 1	Nivel 2
Factor 1	0,32 Kg/m2 sólidos secos	0,36 Kg/m2 sólidos secos
Factor 2	110%	130%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Resultados segundo EVOP ejemplo.

Corrida	Nivel 1	Nivel 2	Variable respuesta
1	0,36	130%	1
2	0,36	110%	2
3	0,32	110%	4
4	0,32	130%	3

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados del segundo EVOP, nuevamente la corrida con los dos niveles altos fue la que arrojó el mejor resultado, por ende en esta dirección se seguirán planteando los diseños experimentales. De esta manera continúa el proceso, realizando los planteamientos experimentales de producto en producto, tomando como referencia los mejores resultados del ciclo anterior.

4.6 Discusión en torno a la propuesta.

La propuesta metodológica pretende dar solución a una problemática en la que como se ha mencionado a lo largo del trabajo, se mezclan varios ingredientes como son: la gran cantidad de desarrollos de nuevos productos, la diversidad de productos y las dificultades del proceso cerámico entre la etapa de prototipado y la puesta a punto a nivel industrial.

El beneficio de poder aplicar un ciclo de mejoramiento a través de diseño experimental EVOP es que no se requiere parar el proceso para poder realizarlo y que se puede realizar de una manera muy práctica pues se mitigan las dificultades que existen tradicionalmente en la manufactura donde es difícil parar para realizar numerosas corridas experimentales, siendo el EVOP propuesto un factorial 2² tradicional.

4.5.1 Elementos que incorpora la propuesta vs lo que existe.

La propuesta metodológica toma elementos del diseño experimental para ser aplicados entre las etapas de prototipo de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial. A través de la revisión del estado del arte se observó que en su mayoría las metodologías para el desarrollo de nuevos productos se realizan de manera secuencial y en todos los casos existen las etapas para realización de prototipos y para poner a punto en producción antes de iniciar con la fabricación, pero no se evidenció ninguna metodología particular para abordar estas dos etapas.

El elemento de escalado es independiente de si el proceso se realiza de manera secuencial o simultánea, pues a la postre habrá que realizar la transferencia de escala, a menos que se cuenten con recursos lo suficientemente altos como para ir directamente a la línea de producción con los riesgos que esto implica. Este no es el caso de Colcerámica S.A P&P, pues antes de poder realizar algunas inversiones importantes, es necesario tener un prototipo validado. En conclusión, se mantiene el elemento secuencial entre prototipo de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial, pero se añade dentro del proceso un método sistemático que reemplaza la forma actual de hacer la transferencia entre estas dos etapas vía ensayo y error.

El elemento novedoso de la propuesta radica en la aplicación sistemática de una de las herramientas del diseño experimental como lo es el EVOP y un ciclo de retroalimentación que permite obtener información de los resultados para continuar con el proceso en futuros productos para permitir su rápida reproducibilidad.

El diseño experimental por sí mismo como se discutió en el capítulo 1, se aplica para mejorar procesos, pero en muchos casos requiere un número de corridas importantes que lo hace inviable desde el punto de vista práctico, sobre todo para realidades como la de Colcerámica S.A donde existe un gran número de desarrollos. Sin embargo en este caso se ha podido encontrar una herramienta dentro del diseño experimental que de manera práctica puede ser incluida como parte del proceso sin entorpecerlo ni incrementar de manera importante los esfuerzos y recursos y por el contrario proporciona una herramienta sistemática de mejoramiento sin mayores cambios y con la certeza de que seguramente los resultados serán mejores que con el ensayo y error, además que no se detiene el proceso para realizar una gran cantidad de corridas experimentales, sino que se puede realizar de manera práctica pero metodológica.

Teniendo entonces de lado la simplicidad al ser incorporada dentro del proceso, se garantiza que la nueva propuesta es mejor, dado que bajo el diseño experimental se podrán encontrar los factores que tienen influencia sobre la variable de respuesta para que en los productos siguientes se pueda llegar más rápido al resultado esperado y este enfoque supera completamente a incertidumbre de la manera actual con el ensayo y el error.

Conceptualmente la mejora radica en la incorporación de una metodología que permite ir haciendo los ajustes del proceso sobre la marcha sin necesidad de pararlo. Esto en contraste con un proceso en el que dichos ajustes se realizan por ensayo y error y dónde no existe un ciclo de retroalimentación.

4.5.2 Impactos en el proceso.

Con la implementación de la metodología el proceso tendrá los siguientes impactos:

- El tiempo de desarrollo en planta se disminuirá.
- Se reducirán el número de ensayos en planta para poner a punto el producto. Indirectamente representará una llegada más ágil al mercado.
- Se aportará conocimiento metodológico al equipo de trabajo involucrado.
- Se adicionará una etapa al proceso macro que implica realización de actividades adicionales pero cuya inversión de tiempo deberá ser mínima y su retribución alta.

El impacto cuantitativamente hablando es complejo de estimar, sin embargo con el hecho de pasar de la realización de la puesta a punto de los productos en la planta vía ensayo y error a realizarlos de una manera metodológica, se puede estimar un mejoramiento de al menos el 50% de reducción en tiempos de desarrollo y números de ensayo. La magnitud de los ahorros son fundamentados en una apuesta con base en el conocimiento que se tiene del proceso por parte de los expertos y la potencia de la herramienta del diseño experimental descrita en el capítulo 1.

4.5 Planificación de la implementación en Colcerámica S.A P&P.

Dentro del alcance del presente trabajo, no se encuentra realizar un proceso de validación práctico, debido a que tomaría un tiempo considerable ya que los desarrollos de productos pueden tomar alrededor de 2-3 meses para su finalización y para poder tener resultados concluyentes se necesita realizar una cantidad de ciclos de mejoramiento suficientes para tener resultados, con el agravante de que existe incertidumbre en cuanto a la cantidad necesaria de ciclos de mejoramientos para que se evidencien resultados. Por tal razón, esto llevaría la etapa de implementación mínimo a 6 meses con dos o tres ciclos de mejoramiento.

Para la aplicación de la propuesta, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- **Elección de producto:** se elegirá un producto de complejidades 2 o 3 que son los de mayor frecuencia. Todos los ciclos realizados deberán ser de la misma complejidad.
- **Prototipo de laboratorio y puesta a punto en planta:** se realizará de manera tradicional tomando especial atención en la documentación de las condiciones de esmaltado, decoración y cocción que fueron identificadas por los expertos como las que mayor potencial de influencia tienen en la reproducibilidad. Adicionalmente, se buscará aislar todo el ruido experimental posible realizando la operación de prototipado con una sola persona y eligiendo una misma planta para la realización de los ciclos de mejoramiento. Adicional a esto antes de iniciar se realizarán actividades para verificar la repetitividad y reproducibilidad de los resultados de prototipado para que en caso que se encuentren algunas

dificultades se puedan corregir antes de iniciar. Todo el trabajo estará enmarcado dentro de los principios del diseño experimental.

- **Documentación:** se llevará una bitácora en la que se anotarán todas las condiciones de las 5M en cada uno de los productos trabajados. Se elaborará el prototipo de laboratorio y se elaborará su respectiva ficha técnica.
- **Variables para el DOE de partida:** se recopilará la información de la ficha definitiva de planta y se analizarán las diferencias respecto al prototipo. Las variables de partida a analizar para el primer EVOP 2^2 será para los siguientes criterios de decoración y esmaltado:
 - Formulaciones de color en esmaltes.
 - Formulaciones de color en serigrafías.

Una vez esté lista la ficha, se planteará el diseño experimental con los dos factores analizados en las diferencias del primer producto y en dos niveles representativos de acuerdo con la experiencia de los expertos. Los factores podrían ser iguales o diferentes para el EVOP planteado para cada planta, esto dependerá de la decisión que se tome en la etapa de análisis de diferencias y se plantee el diseño experimental con los expertos.

Se ejecutará el diseño experimental y se evaluarán los resultados en términos del qué más proximidad tuvo respecto al prototipo de laboratorio. El detalle de cómo realizar el diseño experimental y cómo abordarlo se encuentra en el numeral 4.4. Se revisarán los resultados con los expertos para determinar el siguiente ciclo de mejoramiento.

Se elegirá un nuevo producto y al final de dicho ciclo se deberá revisar cuántos ensayos se están teniendo que hacer en la planta para llegar al resultado deseado. Luego de cierto número de ciclos la reproducción del prototipo debe ser tan próxima que no se requeriría realizar ciclos de experimentación y el número de ensayos se vería considerablemente reducido.

- **Inversiones:** no se requieren inversiones, más allá del tiempo requerido para la capacitación en la metodología a las personas involucradas en el proceso.

Toda la información obtenida permitirá:

- Analizar la posibilidad de empezar a cambiar los factores iniciales por otros si se determina que ya se ha encontrado la relación suficiente entre los factores y la variable de respuesta.
- Permitirá la posibilidad de analizar diversas combinaciones dentro del ciclo de mejoramiento como son la sensibilidad o la pertinencia ante:
 - Variables de ruido.
 - Diversidad de las complejidades.
 - Diversidad de los procesos.

- Verificar que la propuesta metodológica esté cumpliendo con los propósitos. Para dicho fin, los indicadores que servirán como *benchmark*, serán: número de ensayos en planta hasta reproducción de prototipo de laboratorio y tiempo de desarrollo de producto en planta. El más representativo es el de número de ensayos y que impacta indirectamente el indicador de tiempo de desarrollo, pues este último lleva inmerso algunos ruidos que no son gestionables desde la propuesta metodológica como son las disponibilidades de las líneas de producción.

La validación de la propuesta deberá consistir al menos de dos ciclos de mejoramiento que podrán representar un tiempo aproximado de 6 meses, por tal razón se deja planteada dicha validación por efectos de tiempo para el cumplimiento de los plazos de entrega de dicho trabajo. Para facilitar el seguimiento de la implementación de la metodología se diseñó un formato que se presenta en el Anexo 2.

A continuación en la tabla 22, se detalla el cronograma de implementación. Este cronograma se realiza tomando como base metodológica, algunas de las herramientas para la gestión de proyectos GPAAC (Gestión para Asegurar y Acelerar el cambio) que es utilizada dentro de la Organización Corona.

4.5.1 Implicaciones de la implementación de la propuesta.

Para poder llevar a buen término el desarrollo de la propuesta en el proceso de desarrollo de nuevos productos en Colcerámica P&P existen tres grandes ejes sobre los cuales fundamentar la implementación.

- Entrenamiento: se debe realizar una serie de capacitaciones tanto a las personas que lideran el proceso de desarrollo de nuevos productos, como todas las personas involucradas durante la ejecución de las actividades desde la parte operativa. El entrenamiento debe ser tanto desde el punto de vista práctico como teórico y desde la óptica de la metodología y de los principios del diseño experimental. Para garantizar el éxito del entrenamiento se realizará su respectiva evaluación
- Acompañamiento metodológico: si bien el entrenamiento inicial da los elementos necesarios para entender la propuesta es clave tener el debido acompañamiento a la aplicación de manera que se llegue el momento en el que las personas involucradas tengan la capacidad de entender, aplicar y explicar a otras personas.
- Acompañamiento por parte de los expertos del proceso: es clave que los expertos del proceso estén acompañando el desarrollo de la metodología porque los planteamientos experimentales y las rutas de experimentos que se trazan a partir de los resultados que se van obteniendo idealmente deben estar fundamentados sobre argumentos de conocimiento del proceso.
- Otras consideraciones: dentro de la propuesta metodológica se están adicionando etapas al proceso actual, lo cual deberá ser revisado y analizado para que se haga de manera natural y no entorpezca el proceso de desarrollo.

Tabla 22. Cronograma de implementación de la metodología del proceso de desarrollo de nuevos productos P&P Colcerámica S.A.

Cronograma de implementación																								
Actividad/Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Planeación																								
Definición de equipo del proyecto con roles y responsabilidades	█																							
Negociar tiempos de participantes con jefes		█																						
Convocar equipo del proyecto		█																						
Marco de la ventana		█																						
Construir documento DDI		█																						
Discurso del ascensor		█																						
Definición de KPIs			█																					
AMFE de proyecto			█	█																				
Entrenamiento en la metodología		█	█	█																				
Ejecución																								
Inicio de primer ciclo de aplicación: elección de producto					█																			
Diseño gráfico					█																			
Prototipo de laboratorio						█	█																	
Puesta a punto a nivel industrial								█	█															
Análisis de diferencias										█														
Planteamiento DOE y elección segundo producto											█													
Diseño gráfico producto 2												█												
Prototipo de laboratorio producto 2													█	█										
Puesta a punto nivel industrial producto 2															█	█								
Evaluar resultados y retroalimentar ciclo para producto 3																	█							
Ciclo completo producto 3																		█	█	█	█	█		
Evaluación																								
Evaluación resultados																								█
Análisis , conclusiones y recomendaciones																								█

Fuente: Elaboración propia.

Como conclusión en el presente capítulo puede decirse que la metodología propuesta garantiza el éxito de la reproducción rápida de los productos a la hora de ponerlos a punto en la etapa industrial, debido a que aplica de manera sistemática la herramienta de diseño experimental con un enfoque práctico que no detiene el proceso y permite realizar pequeñas variaciones entre producto y producto para ir encontrando luego de varios ciclos de aplicación la ruta del mejoramiento.

Se dice que se garantiza el éxito debido a que existen evidencias de los beneficios del diseño experimental, y sobre todo si es contrastado contra la situación actual, donde todo el proceso se realiza vía ensayo y error.

La metodología incorpora desde el punto de vista macro una serie de actividades adicionales que si bien exigen un esfuerzo adicional en el proceso, retribuirán en el mejoramiento del proceso.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

5.1 Conclusiones generales.

Existen diversas aproximaciones metodológicas para abordar el proceso de desarrollo de nuevos productos y si bien se presentan algunas diferencias conceptuales entre las mismas, es el común denominador hacer explícita como una de sus etapas a la requerida para la experimentación (laboratorio e industrial); sin embargo no se especifica ningún tratamiento metodológico especial para esta etapa particular. Se destaca el hecho de que dentro del proceso de desarrollo de nuevos productos de P&P Colcerámica se incorpora un elemento metodológico para el abordaje de las etapas de prototipo de laboratorio y puesta a nivel industrial no evidenciado en ninguna de las metodologías de desarrollo de nuevos productos encontradas en la literatura.

El diseño experimental es una herramienta adecuada para abordar el mejoramiento de la reproducibilidad entre etapas de laboratorio e industrial dentro de un proceso de desarrollo de nuevos productos pues permite encontrar las variables que afectan el resultado, las sitúa dentro de los valores que obtengan el mejor resultado, reduciendo su variabilidad y mejorando la robustez. El impacto esperado de acuerdo con el conocimiento de los expertos en el proceso para el caso de P&P Colcerámica S.A es de al menos el 50% de reducción en los tiempos de desarrollo y la cantidad de ensayos entre las etapas de prototipo y puesta a punto a nivel industrial, por el hecho de pasar del ensayo y error a una metodología que utiliza una herramienta potente como es el diseño experimental.

Dentro de las herramientas del diseño experimental, es el EVOP el que mayor pertinencia tiene para la situación particular del proceso de desarrollo de nuevos productos de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A, debido a que es un tipo de diseño que permite realizar pequeñas modificaciones sobre los niveles de los factores en estudio sin necesidad de parar el proceso y determina la ruta de mejoramiento hasta encontrar las condiciones adecuadas.

Se destaca la construcción de la propuesta metodológica incorporada dentro del proceso de desarrollo de nuevos productos actual y que permite que se realice sin tener que detener el proceso, sino como parte del desarrollo normal del mismo. Además, su desarrollo deja de lado la aleatoriedad asociada a los ajustes tipo ensayo-error e incorpora un método sistemático y ordenado con una herramienta potente para los procesos donde se realizan corridas experimentales.

Se destaca que la propuesta presenta un elemento innovador para mejorar la reproducción entre prototipo de laboratorio y puesta a punto a nivel industrial que no fue

evidenciada en ninguna de las metodologías para la gestión de desarrollo de nuevos productos que se encontraron en la literatura.

5.2 Conclusiones respecto a la metodología.

El presente trabajo desarrolla una metodología que de respuesta de solución a una problemática que actualmente se tiene dentro del proceso de desarrollo de nuevos productos de la unidad de negocio de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A. La metodología queda desarrollada luego de tener el análisis del proceso general y particular del desarrollo del producto y queda planteada como trabajo futuro la validación aplicada de la propuesta.

La metodología propuesta toma una de las herramientas del diseño experimental para ser aplicada dentro de un proceso de desarrollo de nuevos productos con una problemática de reproducibilidad en la escala industrial. Si bien la propuesta está enmarcada dentro de una situación particular, puede servir de base para otro tipo de aplicaciones.

5.3 Trabajos futuros.

Del presente trabajo se pueden derivar algunos trabajos futuros tanto desde el punto de vista de aplicación como de modificaciones conceptuales a la propuesta metodológica.

Desde el punto de vista de aplicación se podría realizar una investigación aplicada de la metodología en el proceso de desarrollo de nuevos productos de la unidad de negocios de Pisos & Paredes de Colcerámica S.A. Para dicho fin lo deseable es realizar varios ciclos de mejoramiento que permitan determinar si el ajuste de los parámetros entre prototipo de laboratorio y puesta a punto en planta van conduciendo hacia una reproducibilidad cada vez más rápida y por lo tanto más cercana al patrón aprobado a nivel de laboratorio.

También se puede considerar los resultados extensivos a otros negocios del grupo Corona e incluso explorar en procesos de desarrollo de productos de otros sectores que puedan presentar características de fundamentación similares a las que motivaron este trabajo.

Desde la perspectiva conceptual un trabajo futuro podría ser la evaluación del uso de alguno de los métodos EVOP modificados en sustitución del método EVOP simple con diseño factorial de 2^2 .

Desde la perspectiva de las aproximaciones metodológicas para abordar el proceso de desarrollo de nuevos productos sería interesante retar el proceso secuencial que actualmente se tiene para incorporar elementos de la ingeniería concurrente que permitan ir realizando las etapas de manera secuencial e involucrar a todas las áreas que participan en el proceso desde el inicio.

Anexo 1. Recopilación de las preguntas realizadas durante proceso de levantamiento de diagnóstico.

1. Describa el proceso completo de desarrollo de nuevos productos en Colcerámica S.A.
2. Describa cómo se realiza el subproceso de desarrollo de prototipo de laboratorio.
3. Describa cómo se realiza el subproceso de puesta a punto de productos en las plantas.
4. ¿Se pueden comparar desde el punto de vista de proceso cerámico la etapa de elaboración de prototipo de laboratorio y la puesta a punto industrial?. De ser así, ¿cuáles serían sus similitudes y diferencias?.
5. ¿Qué información es consignada en las fichas técnicas de prototipo que son enviadas a las plantas?.
6. ¿Cómo se construye la información que es consignada en las fichas técnicas que serán enviadas a la planta?.
7. ¿De acuerdo con su experiencia y conocimiento del proceso, cuáles son las variables que en términos generales puede decir tienen mayor influencia en la reproducción de un prototipo de laboratorio en la escala industrial?.
8. ¿Cuáles son las variables que con mayor frecuencia son ajustadas luego de los primeros ensayos en la escala industrial?. ¿Cómo se ajustan dichas variables?.
9. Desde el punto de vista de las materias primas, ¿considera que existe alguna diferencia significativa entre las materias primas utilizadas en el prototipado y en la planta de producción?.
10. ¿Se tienen procedimientos de aprobación de materiales que son usados tanto en las plantas como en el laboratorio de prototipado?.

11. Desde el punto de vista de la tecnología industrial, ¿cuáles son las principales limitantes para hacer el prototipado de laboratorio lo más cercano a la realidad de la escala industrial?.
12. ¿Se podrían considerar como homólogas técnicamente y desde el resultado obtenido, dejando a un lado las escalas, las adecuaciones industriales y tecnológicas?.
13. Considera que hay algún equipo o equipos en particular que sean críticos para la elaboración tanto del prototipo como de la producción cerámica?
14. Si tuviera que calificar el nivel de estandarización que se tiene en los procedimientos de prototipado de laboratorio de 1 a 10, ¿qué calificación otorgaría?.
15. Si tuviera que calificar el nivel de estandarización que se tiene en los procedimientos de prototipado de laboratorio de 1 a 10, ¿qué calificación otorgaría?.
16. Si tuviera que calificar el nivel de conocimiento para el desarrollo de las funciones de prototipado del personal de laboratorio de desarrollo de nuevos productos de 1 a 10, ¿en qué nivel lo calificaría?.
17. Si tuviera que calificar el nivel de conocimiento para la puesta a punto de los productos a nivel industrial del personal de laboratorio de las plantas industriales, ¿en qué nivel lo calificaría?, ¿realizaría alguna diferenciación de algún laboratorio en particular?.
18. Si tuviera que calificar el nivel de conocimiento para la operación de la producción industrial de los operadores de las diferentes plantas, ¿en qué nivel los calificaría?, ¿realizaría alguna diferenciación de alguna planta en particular?.
19. ¿Considera que el proceso cerámico es altamente reproducible, medianamente reproducible o levemente reproducible?.
20. ¿Considera que existe una alta homogeneidad técnica y de proceso de fabricación de todos los productos que se desarrollan?.
21. ¿Podría decirse que las rutas experimentales a la hora de reproducir el prototipo de laboratorio en planta que se han usado en una tipología de producto en particular con una ruta de fabricación en particular puede ser extensiva a otra tipología de producto con otra ruta de fabricación diferente?.

Bibliografía

- 12Manage- The Executive Fast 2011. Disponible en: www.12manage.com. Última visita: Junio de 2011.
- Ahmad, A.L. et al. (2009). "Optimization of membrane performance by thermal-mechanical stretching process using responses surface methodology (RSM)". Separation and Purification Technology Vol. 66, pp. 177–186.
- Ahuet, H. (2006). "Evolución de las metodologías de apoyo a la ingeniería concurrente". Centro de Innovación en Diseño y Tecnología (CIDyT). Tecnológico de Monterrey ITESM), México. Disponible en línea <http://upcommons.upc.edu/eprints/bitstream/2117/7851/2/Riba-Molina-2006-Ingenier%C3%ADa%20concurrente...secci%C3%B3n%20II-v5.pdf>. Última visita: febrero de 2012.
- Bratati B.; Banerjee, R y Bhattacharyya B.C. (2002). "Optimization of physicochemical parameters for gallic acid production by evolutionary operation-factorial design technique". Process Biochemistry, Vol. 37, pp. 1395-1401.
- Box, E. P. G (1957). EVOP. Series C (Applied Statistics)". Journal of the Royal Statistical Society, Vol. 6, pp. 81-101.
- Box, E.G.P y Draper N. R, (1968). "Isn't My Process Too Variable for EVOP?". Technometrics 10, No. 3, pp. 439–444.
- Carretero, M.A. et al (2002). "Metodologías de diseño para la industrial textil y cerámica, basadas en el concepto de ingeniería concurrente". XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España – 5-7 junio de 2002.
- Chang, C.Y. et al. (2011). "Application of a weighted Grey-Taguchi method for assessing the optimal mixture for recycled aggregate concrete". Cement & Concrete Composites, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2011.06.005.
- Colcerámica S.A. (2011). Empresa Colombiana de Cerámica S.A. Informe del Balanced Scored Card de Colcerámica S.A, división de P&P.
- Colcerámica S.A (2011). Informes de competitividad y CLACOM (Clasificación comercial) año 2011, P&P Colcerámica S.A.

- Colcerámica S.A. (2011). Empresa Colombiana de Cerámica S.A. Informes de gestión resumen de los años 2009 y 2010 de área de Desarrollo de Nuevos Productos P&P.
- Cooper. R.G.(1985). "Selecting winning new product projects: Using the NewProd System". Journal of Product Innovation Management, Vol. 2, pp. 34-44.
- Cooper, R. G. (1993). "Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch". 2nd Ed.,Cambridge, Mass: Addison-Wesley.
- Cooper, R.G. (1994). "New Products: The Factors that Drive Success". International Marketing Review, Vol.11, pp. 60-76.
- Cooper, R.G.; Edgett, S.J. y Kleinschmidt, E.J. (2001). Portfolio Management for New Product Development: Results of an Industry Practice Study. Working paper of Product Development Institute; article accepted in "R&D Management", Vol. 31, No.4, 2001.
- Darwin, J.D.; Mohan, D.L. y Nagarajan G. (2008). "Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by Taguchi method. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 195, pp. 241-247.
- Ellekjæer, M. R. y Bisgaard S. (1998). "The use of experimental design in the development of new products," International Journal of Quality Science 3, No. 3, pp. 254–274.
- Espinosa, M.E. (sin fecha). "La ingeniería concurrente, una filosofía actual con plenas perspectivas de futuro". Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales – UNED – Madrid. Disponible en: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/conceptoingenieriaconcurrente . Última visita febrero de 2012.
- Hahn, G. J. (1984). "[Experimental Design: Review and Comment]: Discussion". Technometrics, Vol. 26, No. 2, pp. 110–115.
- Harrington, J. (1993). "Mejoramiento de los procesos de la empresa": Editorial McGraw Hill, Colombia.
- Hsieh, K.L. et al. (2005). "Optimization of a multi-response problem in Taguchi's dynamic system". Computers & Industrial Engineering, Vol. 49, pp. 556-571.
- Hunter, W. G. y Kittrell J. R. (1966), "Evolutionary operation: a review," Technometrics 8, No. 3, pp. 389–397.
- Ibañez, J.M. (2000). La gestión del diseño en la empresa. McGrawHill, Madrid.
- Isa, K.M. (2011). "Thermogravimetric analysis and the optimisation of bio-oil yield from fixed-bed pyrolysis of rice husk using response surface methodology (RSM)". Industrial Crops and Products, Vol. 33, pp. 481–487.
- ISO 9000, 9001, and 9004. Plain English definitions. Disponible en <http://www.praxiom.com/iso-definition.htm#Process>. Última visita abril de 2012.

- Jung, K.W. et al. (2011). "Optimization of combined (acid D thermal) pretreatment for fermentative hydrogen production from *Laminaria japonica* using response surface methodology (RSM)". *International journal of hydrogen energy*, Vol. 36, pp. 9626-9631.
- Kim 1, D.H.; Kim 2, Y.C. y Choi, U.K. (2011). Optimization of Antibacterial Activity of *Perilla frutescens* var. *acuta* Leaf against *Staphylococcus aureus* Using Evolutionary Operation Factorial Design Technique. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 12, pp. 2395-2407.
- Kumar, S. et al. (2011). "Use of evolutionary operation (EVOP) factorial design technique to develop a bioprocess using grease waste as a substrate for lipase production". *Bioresource Technology*, Vol. 102, pp. 4909-4912.
- Lopes Nunes M. J. (2004). "Metodologias de Desenvolvimento de Novos Produtos Industriais". Dissertação submetida à Universidade do Minho para obtenção do grau de Doutor no Ramo de Engenharia de Produção e Sistemas na Área de Engenharia Económica, Departamento de Produção e Sistemas Escola de Engenharia da Universidade do Minho, pp.
- Lowe, B. C. W. (1974). "Evolutionary Operation in Action". *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, Vol. 23, No. 2, pp. 218-226.
- Manual de Oslo, guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación (2005). OCDE. 3ra edición. Disponible en www.oecd.org/dataoecd/35/61/2367580.pdf. Última visita Enero de 2012.
- Montgomery, D. C. (1999). "Experimental Design for Product and Process Design and Development", *Journal of the Royal Statistical Society, Series D (The Statistician)*, Vol. 48, No. 2, pp. 159-177.
- Montgomery, D. C. et al. (2000). "Using statistically designed experiments for process development and improvement: an application in electronics manufacturing", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, No. 16, pp. 55-63.
- Montgomery, D.C. (2001). "Design and Analysis of Experiments", 5th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Myers, R.H; Khuri, A.I y Carter, W.H (1989). "Response Surface Methodology:1966 - 1988". *Technometrics*, Vol.. 31, pp. 137-153.
- Myers R.H. et al. (2004). "Response surface methodology: a retrospective and literature survey," *Journal of Quality Technology*, Vol. 36, pp. 53-77.
- Negi, S. y Banerjee, R. (2006). "Amylase and Protease Production from *A. awamori*". *Food Technol. Biotechnol.* Vol. 44, pp. 257-261.
- Nuno et al. (2006). "Guidelines to help practitioners of design of experiments", *The TQM Magazine* 18, No. 4, pp. 386-399.

- Olusola, M. (2002). "Development and assessment of a methodology for business process improvement". Thesis for the degree of doctor in Philosophy. Cranfield University.
- Osorio, N.F. (2010). "Sistema de gestión por procesos en la unidad del servicio de nutrición y dietética del hospital de especialidades Eugenio Espejo". Tesis para optar a título en Master en Alta Gerencia. Disponible en <http://repositorio.iaen.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/24000/542/TESIS%20NEY%20OSORIO%20MOLINA.pdf?sequence=1#page=15>. Última visita: abril de 2012.
- Özer, A. et al. (2009). "Biosorption of copper (II) ions on *Enteromorpha prolifera*: Application of response surface methodology (RSM)". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 146, pp. 377–387.
- PDMA. Product Development and Management Association. Disponible en <http://www.pdma.org>. Última visita: Enero de 2012.
- Porter, M. (1991). "La ventaja competitiva de las naciones", *Revista Facetas* No. 91, pp.1-91.
- Tunga, R.; Banerjee, R. y Bhattacharyya B.C. (1999). "Optimization of n Variable Biological Experiments by Evolutionary Operation-Factorial Design Technique", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, No 87, pp. 224-230.
- Rintu, B. y Bhattacharyya B.C. (2003). "Evolutionary operation as a tool of optimization for solid state fermentation". *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 13, pp. 149–155.
- Shekarchizadeh H. et al. (2009). "Optimization of enzymatic synthesis of cocoa butter analog from camel hump fat in supercritical carbon dioxide by response surface method (RSM)". *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol. 49, pp. 209–215.
- Sistema de Gestión de Calidad Colcerámica S.A (2011). Caracterización del proceso de introducción de de nuevos productos al mercado.
- Sistema de Gestión de Calidad Colcerámica S.A (2011). Ficha técnica de complejidades de desarrollo de nuevos productos.
- Stage-Gate®. Stage-Gate International 2000-2011. Disponible en <http://www.stage-gate.com>. Última visita: Junio de 2011.
- Spendley, W. et al. (1962). "Sequential Application of Simplex Designs in Optimisation and Evolutionary Operation". *Technometrics*, Vol. 4, pp. 441-461.
- Syrcos, G.P. (2003). "Die casting process optimization using Taguchi method". *Journal of material process optimization*, Vol. 135, pp. 68-74.
- Sukthomya, W. y Tannock, J.D. (2005). "Taguchi experimental design for manufacturing process optimization using historical data and a neural network process model," *International Journal of Quality and Reliability Management* 22, No. 5, pp. 485-502.

Takeuchi, H. y Nonaka, I. (1986). "The new new product development game", Harvard Business Review. January-february, pp. 137-146.

Yusoff , N. et al. (2011). "Taguchi's parametric design approach for the selection of optimization variables in a refrigerated gas plant", Chemical Engineering Research and Design, Vol. 89, pp. 665-675.