

# Mejoras a la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos para estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica

## Enhancements to the subject Statistical Design of Experiments for students of the Mechanical Engineering career

Yans GUARDIA-Puebla [1](#); José MÁRQUEZ-Delgado [2](#); Víctor SÁNCHEZ-Girón [3](#); Edilberto Antonio LLANES-Cedeño [4](#); Juan Carlos ROCHA-Hoyos [5](#); Diana Belén PERALTA-Zurita [6](#)

Recibido: 01/03/2018 • Aprobado: 15/04/2018

### Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

#### RESUMEN:

El papel crucial que en la actualidad juega el diseño de experimentos la ha convertido en una herramienta fundamental en prácticamente todas las áreas de la ingeniería. El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad del nuevo plan temático para la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos a través de la inserción de diseño por superficie de respuesta (MSR) para la mejora del índice de calidad. Para el estudio, se tomaron como referencia cuatro años académicos de aplicación de la nueva propuesta, obteniendo un aumento sostenido en el índice de calidad con una razón de correlación potencial adecuada de 0.61.

**Palabras clave:** Diseño de experimentos, plan de estudios, Ingeniería Mecánica, optimización, estrategia secuencial.

#### ABSTRACT:

The crucial role currently played by the design of experiments has made it a fundamental tool in virtually all areas of engineering. The objective of the research was to evaluate the effectiveness of the new thematic plan for the subject Statistical Design of Experiments through the insertion of design by response surface (MSR) for improvement of the quality index. For the study, four academic years of application of the new proposal were taken as a reference, obtaining a sustained increase in the quality index with an adequate potential correlation reason of 0.61.

**Keywords:** Experimental design, curriculum, Mechanical Engineering, optimization, sequential strategy

## 1. Introducción

La sociedad demanda de la Universidad, en la actualidad, la formación de un profesional con una alta capacidad, caracterizados por sólidos conocimientos sobre su profesión y a la vez,

que posea el dominio de los modos de actuación más generales de dicha profesión (De Sousa, 2001). Se requiere que la labor de formación universitaria se realice mediante planes y programas de perfil amplio, flexibilidad en cuanto a las posibilidades de su modificación en el tiempo, en estrecha relación con la práctica social y que cuente con un adecuado sistema de educación de postgrado (LEYVA, 2008), todo lo cual garantice las respuestas rápidas que demanda el medio social.

El subsistema de Educación Superior en Cuba, ha podido introducir las necesarias modificaciones en los planes y programas de estudio de las carreras universitarias, para ir adecuándolos a cada una de las etapas del desarrollo educacional. Los diferentes perfeccionamientos realizados (Plan A, B, C), han perseguido entre otros aspectos de interés, el actualizar los currículos de las carreras según los avances de las ciencias y los cambios sociales que se producen en el ámbito nacional y mundial. Este proceso de perfeccionamiento ha sido consecuencia de la necesidad de enfrentar y dar solución a las insuficiencias señaladas en cada etapa (Horruitinier, 1994).

En la última etapa se ponen de manifiesto algunas tendencias principales entre las que se pudieran destacar: el papel rector de los objetivos dentro de los planes y programas, la búsqueda de la sistematicidad necesaria dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje y en general de todo el proceso docente-educativo, el incremento de las actividades práctico-profesionales, y la búsqueda de un profesional de perfil amplio. No obstante, a pesar de experimentarse sustanciales avances desde el punto de vista cualitativo en cada perfeccionamiento, aún existen algunas insuficiencias, entre las que se mencionan (MES, 2007):

- Aún la estructura de carreras y la formación del profesional de perfil amplio no está totalmente resuelta, debiéndose abordar de forma diferente en las distintas regiones del país para lograr cambiar de manera más armónica los documentos rectores con las características particulares de cada Centro de Educación Superior (CES).
- En la precisión del contenido de la enseñanza, las habilidades a formar no se conciben sistemáticamente.
- No se ha logrado la suficiente precisión de los contenidos en los objetivos, fundamentalmente a nivel de carrera y año, manifestándose con más fuerza en los objetivos educativos. La fragmentación en los objetivos es también otra insuficiencia, todos limitan en la práctica la efectividad del papel rector de los objetivos en el proceso.

El ingeniero mecánico es un profesional con conocimientos, habilidades y valores que le permiten poner al servicio de la humanidad el desarrollo de la ciencia y la tecnología, con racionalidad económica, optimización del uso de los recursos humanos y materiales, preservando los principios éticos de la sociedad, minimizando el consumo de naturaleza y el deterioro al ambiente.

---

## 2. Metodología

### 2.1. El plan de estudio D en la carrera de Ingeniería Mecánica

En Cuba, la formación de los Ingenieros Mecánicos comienza en la Universidad de Oriente, luego se inicia la carrera en la Universidad Central de Villa Clara y, posteriormente, en la Universidad de la Habana. El inicio de ésta carrera se caracterizó por la existencia de planes de estudio diferentes en cada universidad, pasándose posteriormente a un proceso de unificación. Desde la creación del Ministerio de Educación Superior (MES) se atendió con gran prioridad el proceso de desarrollo de los planes de estudio y surgieron, sucesivamente, los planes A, B, C y su perfeccionamiento actual (Plan de estudios "D").

En la elaboración y perfeccionamiento del plan de estudios D para el Ingeniero Mecánico cubano, que enfrenta las exigencias de los inicios del siglo XXI, se ha tenido en consideración no solo la proyección nacional de esta profesión, sino también, la situación que actualmente se plantea por las instituciones que marcan punta en el desarrollo de la Ingeniería Mecánica, manteniendo los principios rectores de la educación cubana expresados en los planes de estudio anteriores. Algunos elementos que fueron tomados en consideración para la elaboración de este plan fueron:

- Mantener el concepto de perfil amplio, sustentado en una sólida formación en las ciencias naturales, las matemáticas, la informática y las ciencias de la ingeniería.
- Garantizar la unidad entre los aspectos educativos, instructivos y los valores como bases del desarrollo integral de la personalidad.
- Propiciar el vínculo entre el estudio y el trabajo, donde el estudiante debe lograr, además de las habilidades profesionales, una elevada competencia profesional.

Con el objetivo de dar respuesta a las exigencias de la sociedad y la profesión en el paradigma contemporáneo, se han tenido en consideración aspectos relacionados con la gestión de calidad y del conocimiento, el medio ambiente, la gestión económica y las habilidades de dirección, entre otras. También, este plan de estudio se caracteriza por el empleo de nuevos métodos en el proceso de enseñanza aprendizaje que centran la atención en el auto-aprendizaje con una consecuente racionalización de los contenidos que se imparten a lo esencial (Tamayo, 2006) y el empleo de técnicas informáticas, tanto para impartir la docencia como en el apoyo del auto aprendizaje. Asimismo, se incrementa el nivel de habilidades informáticas, no solamente relacionado con la propia disciplina de Ingeniería Mecánica. Del mismo modo, tiene un incremento sensible en las habilidades interdisciplinarias, fundamentadas en los proyectos y el trabajo de diploma. Un elemento importante incluido lo constituye la denominada Disciplina Integradora, cuyo carácter responde a las especificidades de la carrera, y que integra en el proceso la formación académica con la práctica laboral y el trabajo científico estudiantil (MES, 2007), contribuyéndose al desarrollo de las competencias blandas tan demandadas en la actualidad (Cedeño & Jimenez, 2017).

### **La Disciplina Integradora**

La Disciplina Integradora (DI) tiene sus antecedentes en la Disciplina "Introducción a la Especialidad" del antiguo Plan C, y a la realización de las prácticas de familiarización y de producción en los Planes de Estudios B en las diferentes especialidades de la Ingeniería Mecánica. Un objetivo fundamental de la DI es la vinculación de los estudiantes a la actividad productiva de la carrera desde los primeros años. Son elementos y objetos de estudio de esta disciplina todos los medios de producción (herramientas, instrumentos, dispositivos, máquinas y equipos) más generales y frecuentes en el trabajo del ingeniero mecánico a nivel de base en la construcción, explotación de máquinas y equipos e instalaciones industriales. El papel de esta disciplina se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Introducir al estudiante desde los primeros años de la carrera en las esferas de actuación del ingeniero mecánico, para identificarse con las manifestaciones más generales y frecuentes de los campos de acción de la ingeniería mecánica (Diseño, Fabricación, Operación, Mantenimiento y Energía).
- Elevar el nivel de orientación y motivación de los estudiantes en la carrera.
- Orientar al estudiante sobre métodos de estudio y planificación de su actividad personal.
- Desarrollar habilidades en la solución de problemas.
- Mostrar al estudiante, mediante el vínculo a la producción, aspectos de la realidad productiva y social del país.

El papel que ésta desempeña, desde el punto de vista metodológico, es consolidar e integrar conocimientos entre todas disciplinas de la carrera, desarrollar habilidades profesionales en el análisis y solución de tareas técnicas, en la elaboración de información, y en la búsqueda y elaboración de documentación técnica y científica (MES, 2007).

### **Programas de asignaturas**

La DI incluye 8 asignaturas y 4 proyectos esenciales; todas ellas inciden en todos los años académicos, desde el 1er año hasta el 5to año, con la característica que ninguna asignatura presenta examen final, siendo los proyectos de curso (PC) y los proyectos integradores, también denominados como Proyectos de Ingeniería Mecánica (PIM), las principales formas de evaluación. Un resumen de las asignaturas que integran esta disciplina se muestra a continuación (Tabla 1). En el período asignado para los PC se desarrollan simultáneamente el proyecto y un ciclo de formación de habilidades técnicas y profesionales vinculadas a la producción, las cuales, siempre que sea posible, estarán relacionadas con el proyecto y su

vinculación aumenta con el tiempo en función de la experiencia que se vaya adquiriendo (MES, 2007).

## 3. Resultados

### 3.1. Programa analítico de la asignatura diseño estadístico de experimentos

En la actualidad existe en el mundo una creciente tendencia a la aplicación de técnicas experimentales para el desarrollo de investigaciones en las áreas de ingeniería y, con ello, la utilización de las bondades del diseño y análisis de experimentos; ya que el empleo exitoso del mismo puede reducir notablemente el costo de la investigación y se obtienen resultados más confiables que los obtenidos con otros métodos. Con esta asignatura, se pretende que los estudiantes se familiaricen con los conceptos y la utilización de los métodos del diseño y análisis de experimentos, con los más disímiles propósitos y su aplicación en las investigaciones, innovaciones y desarrollo en el vasto campo de la Ingeniería Mecánica. En el actual plan D, esta asignatura se imparte en el tercer período del 4to año de la carrera (Tabla 1).

No obstante, aunque los estudiantes reciben en el 2do año de la carrera la asignatura Probabilidades y Estadística, la cual aporta conocimientos basados en métodos descriptivos e inferenciales sobre bases probabilísticas para enfrentar una investigación, estos se sienten indecisos y desorientados para seleccionar el Diseño Estadístico de Experimentos como asignatura optativa ofertada por la carrera en los años terminales (4to año/3er semestre). Es en ese momento cuando el profesor principal, el tutor y el colectivo del año juegan un papel muy importante tratando de encaminar a los educandos en la selección de dicha materia. Mediante un análisis metodológico del colectivo de la asignatura, y de profesores con experiencias en la docencia de pregrado y posgrado, se trazó una estrategia a seguir y se propuso un programa analítico para la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos, el cual lleva aplicándose 3 años en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma-Cuba, y que ha sido gradualmente perfeccionado. En este trabajo se pretende exponer algunas consideraciones sobre la necesidad de perfeccionar la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos en el currículo de la carrera Ingeniería Mecánica, también se muestran los principales resultados que se han obtenido durante el período que se ha impartido.

**Tabla 1**

Asignaturas que integran la DI en el Plan de Estudio D para la carrera de Ingeniería Mecánica.

CURRICULO BASE				
No.	Asignatura	Horas	Año/semestre	Evaluación
1	Introducción a la Ingeniería Mecánica	48	1/1	T*
2	Pedagogía	32	2/1	T
3	Metodología de la Investigación Científica	32	3/3	T
4	Proyecto Ingeniería Mecánica I	32	3/3	T
5	Práctica Profesional I	144	3/3	T
6	Proyecto Ingeniería Mecánica II	32	4/3	T
7	Práctica Profesional II	144	4/3	T

8	Diseño Estadístico de Experimentos	32	4/3	T
<b>Subtotal</b>		496		
<b>CURRICULO PROPIO</b>				
7	Proyecto Ingeniería Mecánica III	32	5/2	T
10	Práctica Profesional III	100	5/2	T
	Trabajo Pre-Diploma	24	5/2	T
11	Trabajo de Diploma	600	5/3	T
<b>Subtotal</b>		756		
<b>Total de horas de la Disciplina</b>		1252		
T* Trabajo de Curso				

Fuente: Elaboración propia

Los objetivos instructivos para esta asignatura se establecieron como sigue:

- Precisar el problema experimental en términos propios de la metodología de la investigación experimental.
- Seleccionar una estrategia experimental en correspondencia con las características de una situación experimental, los recursos disponibles y los objetivos experimentales, para lograr una experimentación eficiente de acuerdo a los intereses del problema propuesto.
- Plantear una secuencia experimental, a partir de la utilización de varios métodos y técnicas experimentales, haciendo uso de programas estadísticos profesionales.
- Interpretar los resultados obtenidos, haciendo uso del análisis de tablas y figuras, de los programas estadísticos utilizados.
- Desarrollar la capacidad de algoritmizar, a través de la utilización de asistentes matemáticos y de enfoques computacionales en la asignatura.

Con esta asignatura, se pretende que los estudiantes adquieran determinadas habilidades, tales como:

- Seleccionar una estrategia experimental para dar la solución a problemas de investigación.
- Utilizar programas estadísticos profesionales para la elaboración de la secuencia experimental y el análisis de los resultados.
- Identificar y utilizar el o los diseños estadísticos que deben utilizarse para lograr una experimentación eficiente.
- Interpretar los resultados obtenidos.

Para esto, el programa de esta asignatura presenta el siguiente sistema de conocimientos:

- Introducción al diseño y el análisis de experimentos: relación entre la metodología de la investigación científica y la metodología de la investigación experimental; introducción al diseño y análisis de experimentos; aplicaciones del diseño experimental; ejemplos de aplicación del diseño experimental; conceptos básicos del diseño de experimentos; directrices para el diseño de experimentos; uso de los métodos estadísticos en la experimentación.
- Experimentos con un solo factor: Programas estadísticos profesionales utilizados en diseño de experimentos; diseños con un solo factor: diseño completamente aleatorizado, diseños por bloques completos aleatorizados, diseños cuadrado latino.
- Experimentos factoriales: Principios y definiciones básicas de los experimentos factoriales, diseño factorial de 2 factores, diseño factorial general, experimentos multifactoriales con restricciones de aleatorización, diseños 2k, adición de puntos centrales al diseño 2k, técnica de confusión en el

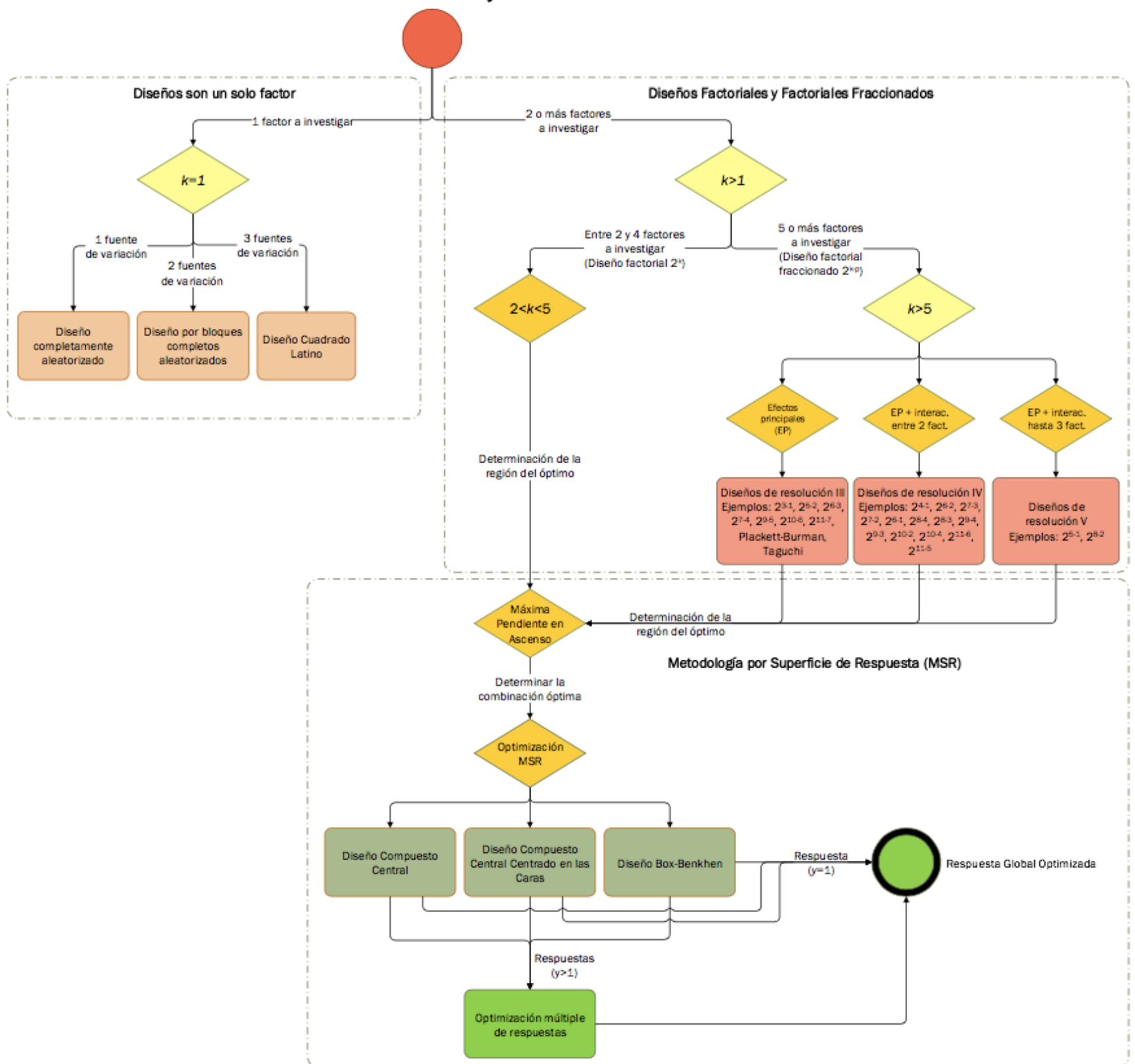
diseño factorial 2k: factorial 2k en 2p bloques, diseños factoriales fraccionados generales 2k-p, diseños de resolución III, IV, V: diseño Plackett-Burman, y diseño robusto de parámetros de Taguchi.

Con la organización de este sistema de conocimientos se han formado 3 temas a impartir a los estudiantes: Tema I Introducción al diseño y análisis de experimentos; Tema II Diseños con un solo factor; y Tema III. Diseños factoriales y factoriales fraccionados. De forma general, el sistema de evaluación de la asignatura se realiza mediante evaluaciones frecuentes, evaluaciones en los seminarios, evaluaciones en los laboratorios de computación (uso del software o paquete estadístico profesional) y presentación y defensa de un trabajo extra-clase. Entre todos estos temas existe una estrecha relación (Figura 1), y con este sistema de conocimientos, se pretende dar a la asignatura un enfoque secuencial. Es muy común en los experimentadores pretender que en una sola fase de experimentación contestar todas las interrogantes sobre un proceso o fenómeno en particular; generalmente esta tendencia no permite abarcar toda la extensión de la investigación. Además, esto puede llevar a experimentos muy extensos que retardan la generación de resultados; por ello, es importante considerar como alternativas las diferentes fases de la experimentación secuencial, la cual alcance paulatinamente una mayor precisión de conocimientos y soluciones (Montgomery, 2017). Por eso, la experimentación secuencial sigue una estrategia muy bien definida y pensada; por lo tanto, en cada fase se obtienen resultados y conclusiones importantes que permiten generar soluciones y conocimientos de mejor manera a plantear en la siguiente fase de experimentación (Lundstedta et al., 1998; Safdarnejad et al., 2015).

### **Figura 1**

Estrategia general para una experimentación secuencial

## Definición de los factores y sus niveles



Fuente:Elaboración propia

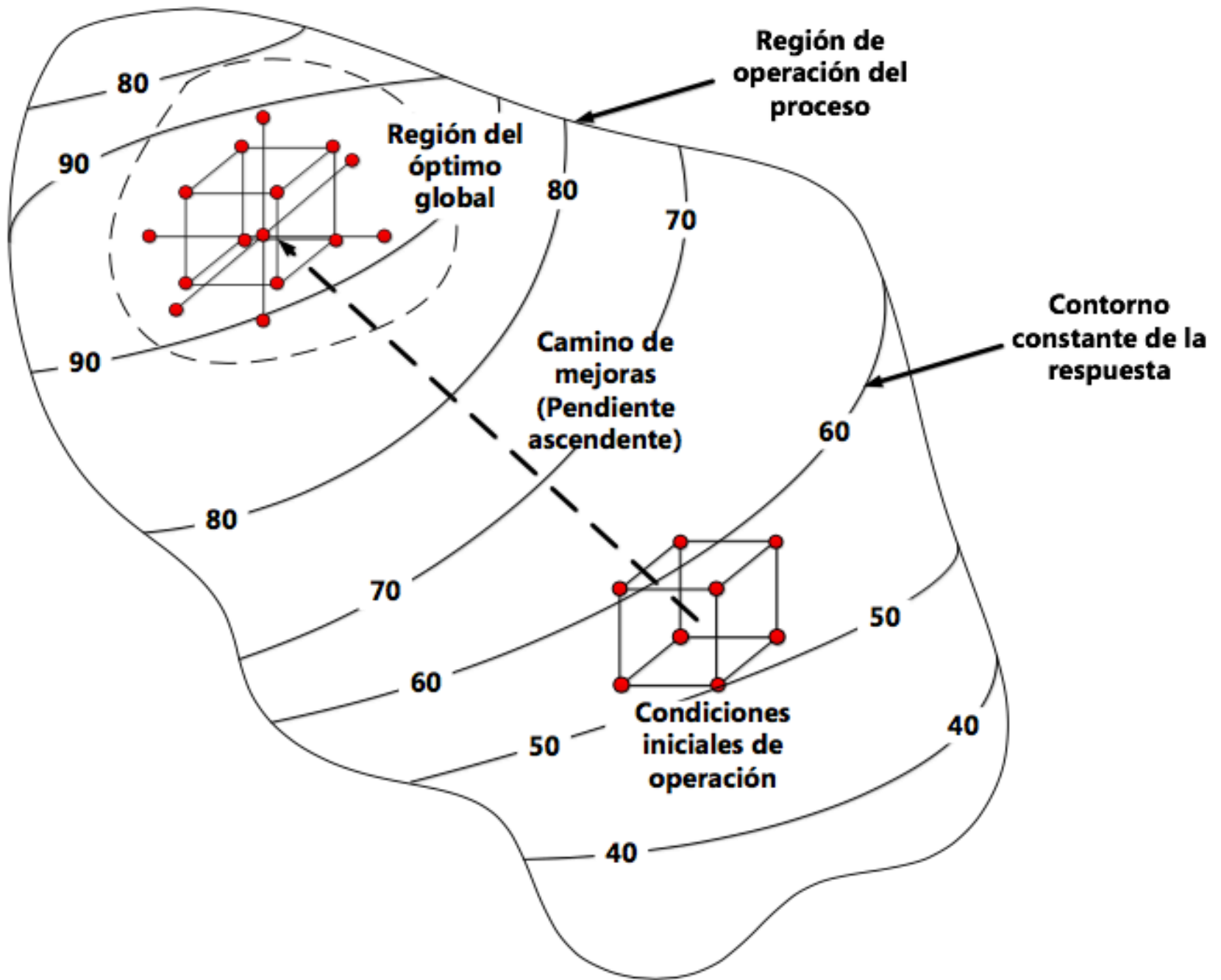
## 3.2. Mejoras a la asignatura

En esta asignatura se estudiará a profundidad la aplicación del diseño y análisis de experimentos como una herramienta de aplicación frecuente en los campos de acción del Ingeniero Mecánico. Muchas veces, hay experimentos en los cuáles no se obtienen las respuestas buscadas o el nivel de mejoras logrado no es suficiente, por lo que es necesario experimentar de manera secuencial hasta encontrar el nivel de mejoras deseado. En este caso, después de una primera etapa experimental quizá sea necesario desplazar la región experimental (moverse de lugar) en una dirección adecuada, o bien, explorar en forma más detallada la región experimental inicial (ver Figura 2). La forma de realizar ambas cosas es parte de la llamada metodología por superficie de respuesta (MSR). La MSR es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado "valores óptimos" de una o varias características de calidad del producto (Derringer, 1980; Swamy, Sangamithra, & Chandrasekar, 2014; Mohame, Masood, & Bhowmik, 2015).



**Figura 2**

Estrategia general para resolver el problema de encontrar las condiciones óptimas de un proceso.



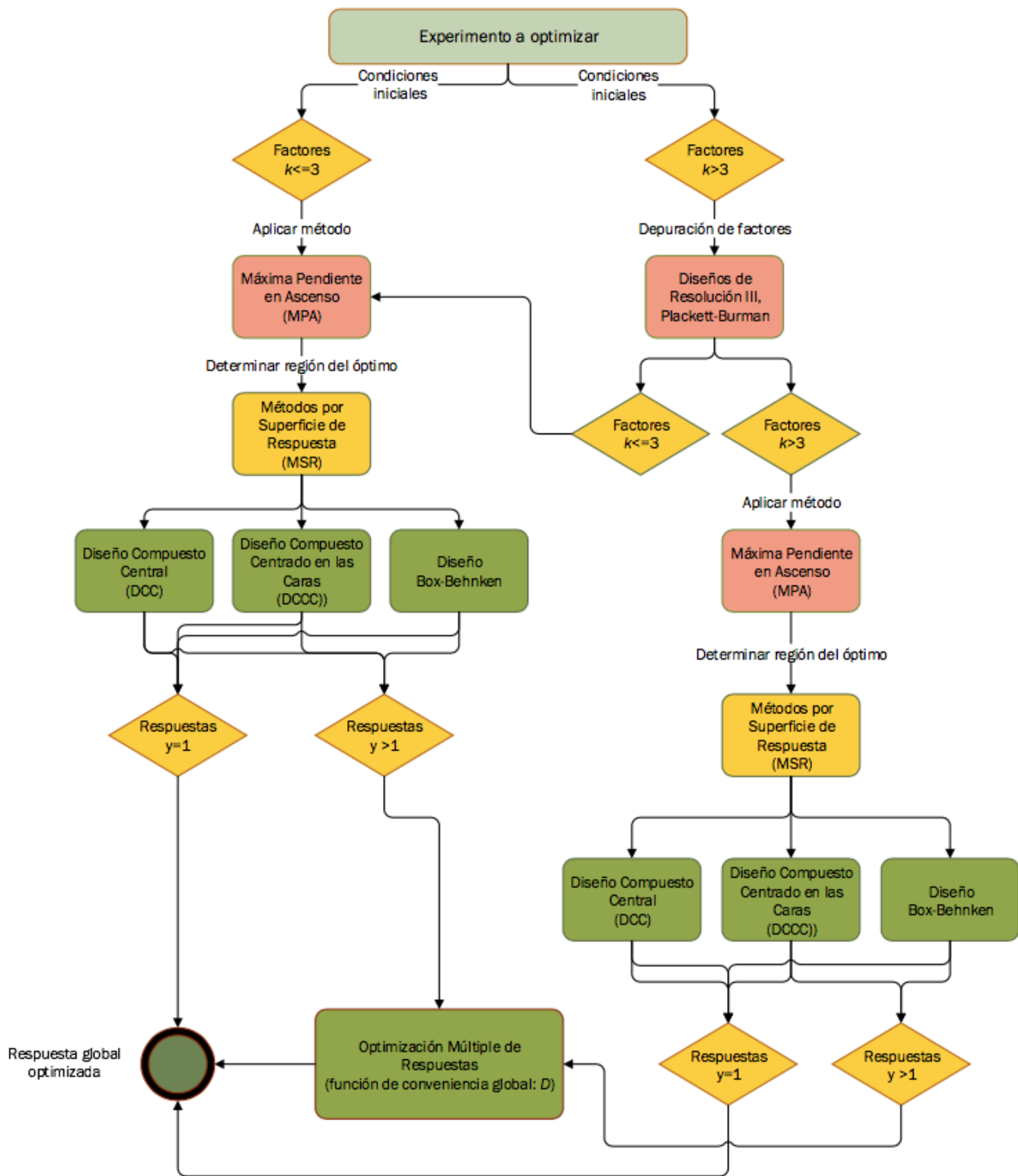
Fuente:Elaboración propia

Los orígenes de la MSR como tal, se remiten al trabajo de Box y Wilson (Box & Wilson, 1992), pero fue en los últimos 20 años que, debido en parte al desarrollo de la informática, esta metodología ha tenido un desarrollo considerable tanto en aspectos teóricos como en aplicaciones (Read et al., 2015). En la MSR es importante tener presente la visión de las regiones de operatividad y experimental, ya que, en principio, el punto óptimo que interesa encontrar pudiera localizarse en cualquier lugar de la región de operatividad, dentro o afuera de la región experimental inicial. En procesos ya establecidos y muy estudiados, es de esperarse que dicho punto óptimo se encuentre "no muy lejos" de las condiciones de operación usuales, posiblemente dentro de la región experimental inicial. En cambio, cuando el proceso es nuevo o cuando se está escalando o rediseñando, es más probable que el punto de interés se ubique fuera de la primera región experimental propuesta para el experimento inicial, y en ese caso primero será necesario acercarse a dicho punto para luego "atraparlo" (Campbell & Stanley, 2015; Montgomery, 2017).

En particular, en diseños factoriales y fraccionados completos el mejor tratamiento es el "tratamiento ganador", desde el punto de vista estadístico, de entre todos los que se probaron en el estudio. En cambio, el punto óptimo implica que es la mejor combinación posible en toda la región de operatividad (Bas & Boyaci, 2007). Así, determinar el punto óptimo plantea un reto más fuerte para el experimentador y requiere de una estrategia más completa, que incluye la posibilidad de realizar varios experimentos en forma secuencial y el uso de otras técnicas de análisis (Figura 3).

**Figura 3.**





Fuente:Elaboración propia

Valorando los aspectos antes señalados, y analizando las características del programa de la asignatura Diseños Estadísticos de Experimentos, se considera que existe una carencia de contenidos que limita el campo de acción del ingeniero mecánico del actual plan de estudio D. Por otro lado, se propone que esta asignatura se incluya en el 4to año del primer semestre debido a que muchos trabajos investigativos realizados a partir de éste año tienen la finalidad de ser usados como proyectos de culminación de estudios. Las técnicas y métodos de diseño experimental se aplican en las primeras fases de una investigación, por tanto, un proyecto temprano, digamos que comenzaría a inicios de primer período, carecería de los conocimientos por parte del estudiante para aplicar dicha técnica, la cual es parte esencial para cualquier investigación experimental, independiente del campo de

conocimientos aplicado (Sarıkaya & Güllü, 2014). Dentro del modelo profesional del ingeniero mecánico se pretende que el egresado cuente con un nivel de habilidades técnicas y profesionales que le permitan dar respuesta a problemas que se presenten a nivel de base desde el momento en que se gradúa; así como diseñar y evaluar sistemas afines con la profesión, a partir de la selección de los componentes comerciales apropiados y una adecuada integración sistémica, aplicando tecnologías de diagnóstico para un mantenimiento eficiente y de menor costo. Un aporte importante para el desarrollo de la actividad profesional del ingeniero mecánico sería aplicar las técnicas de la MSR y el uso de los diseños de optimización por superficie de respuesta para resolver problemas relacionados con la Ingeniería Mecánica en el campo de las Ciencias de la Ingeniería, con una alta competencia y pertinencia.

Por tanto, con el objetivo de mejorar la calidad del egresado se propone la inserción de un nuevo tema en la asignatura Diseños Estadísticos de Experimentos que aborde los métodos y diseños de optimización por superficie de respuesta, y su uso y aplicación en la optimización de procesos mecánicos. El tema contaría con un total de 10 h. Un resumen de la propuesta del plan temático para esta asignatura se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

Organización del plan temático para la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos

# Plan temático de Diseño Estadístico de Experimentos (DEE)



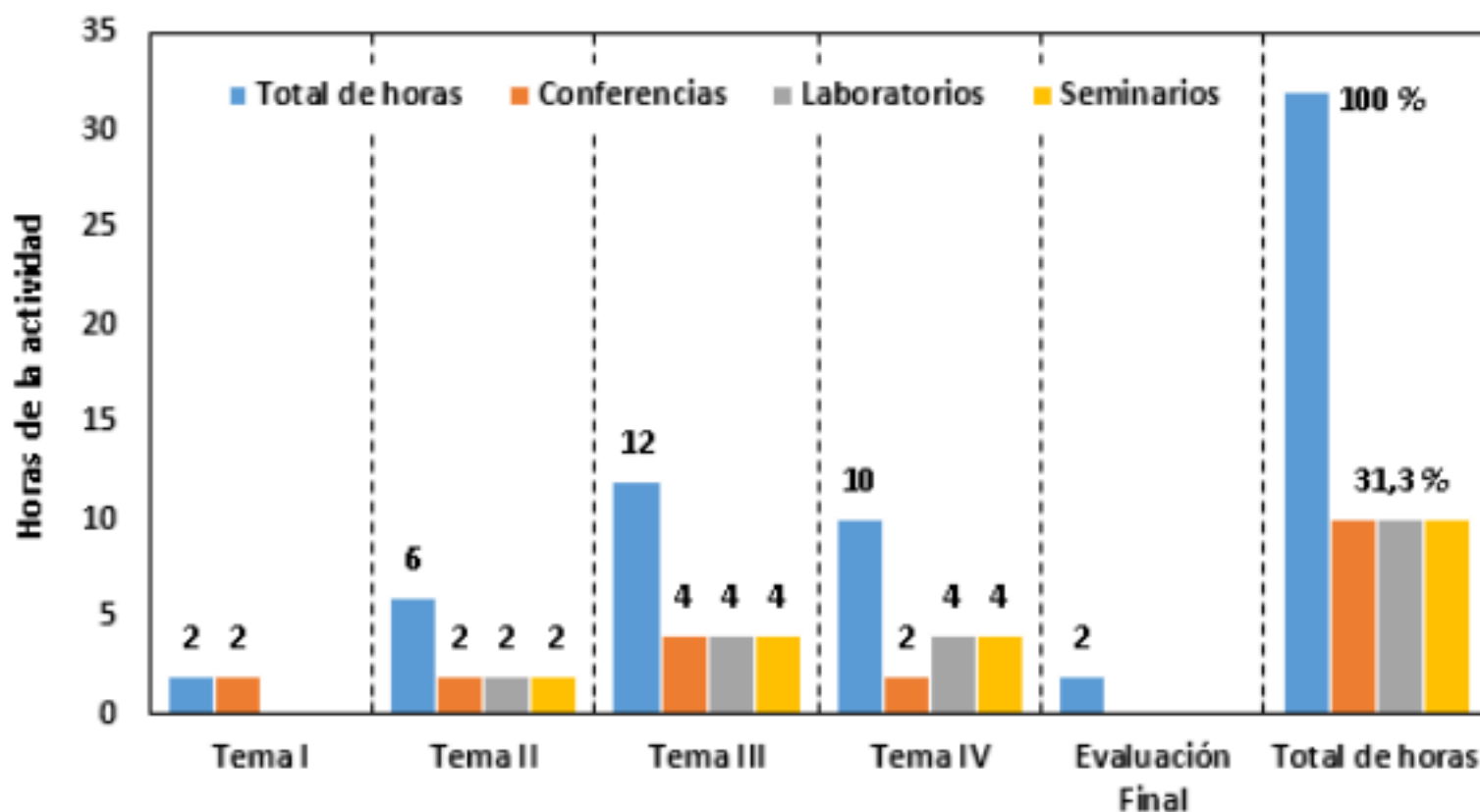
Fuente:Elaboración propia

Como se puede observar, el tema 4 (Diseños de optimización por superficie de respuesta) contaría de una conferencia introductoria que aborde las características fundamentales y los tipos de diseño de optimización por superficie de respuestas, así como la presentación de algunas aplicaciones en el ámbito de las Ciencias de la Ingeniería. Dicho tema abordaría aspectos tales como: una introducción a la optimización por superficie de respuestas, las técnicas de optimización por diseños de experimentos, diseños de optimización por superficie de respuestas: diseño compuesto central, diseño compuesto central centrado en las caras, diseño Box-Benhken, diseños de mezclas: simplex-lattice, simplex-centroide y vértices extremos y la técnica de optimización múltiple de respuestas. El total de horas de la asignatura se incrementaría hasta un total de 36 horas/clase (h/c), con 4 temas a impartir. La redistribución de las horas por tema sería como sigue: Tema I Introducción del diseño y análisis de experimentos (2 h/c); Tema II Diseños con un solo factor (6 h/c); Tema III Diseños factoriales y factoriales fraccionados (12 h/c); Tema IV Diseños de optimización por superficie de respuesta (10 h/c); evaluación del trabajo extra-clase (2 h/c).

La distribución de las horas por temas y tipos de actividades se muestra en la Figura 5. Con

esta organización, los estudiantes tendrían una activa participación en el transcurso de la asignatura, ya que más del 60 % del contenido de la asignatura correspondería a actividades en el laboratorio de computación y seminarios, incentivando el importante papel del trabajo independiente, y con ello, el empleo de diferentes vías de trabajo con la información científica lo cual se corresponde con los resultados obtenidos por Jacques (2017), donde a partir de proyecto fomentan la independencia y creatividad así como el trabajo en equipo, además del trabajo desarrollado por Zamora et al. (2017) donde se concluye que son los docentes que deben repensar la forma de construir los currículos actuales y mejorarlos. Por otro lado, en los seminarios, los estudiantes profundizarían en los temas generales impartidos en las conferencias, teniendo los conocimientos previos del manejo de un software profesional en el laboratorio de computación. Una característica de esta propuesta es la ausencia de clases prácticas, ya que se considera que los estudiantes resolverán ejercicios mediante la ayuda de un software estadístico profesional (ejemplos: Statgraphics, Minitab, DesingExpert, Statistica, entre otros). En el laboratorio de computación se aprenderá a diseñar, insertar e interpretar los resultados y el manejo de gráficos brindados por el software utilizado que servirán de herramientas para resolver los ejercicios - problemas propuestos, los cuáles se usarán como base científica - metodológica para proyectos posteriores y el ejercicio de la culminación de estudios, en este caso el trabajo de diploma, si así lo requiere. De esta forma, en el proceso de enseñanza aprendizaje se centrará la atención en el auto-aprendizaje por parte de los estudiantes, con una consecuente racionalización de los contenidos esenciales que se imparten apoyadas en el empleo de técnicas informáticas para impartir la docencia, además de fortalecer las competencias blandas coincidiendo con los resultados aportados por Cedeño & Jiménez (2017).

**Figura 5**  
Distribución de horas por temas y tipos de actividad



Fuente:Elaboración propia

No obstante, para enriquecer el trabajo metodológico y la gestión del proceso docente educativo (PDE), se propone la previa coordinación con otras disciplinas de la carrera que cuenten con laboratorios aptos para mejorar las habilidades técnicas de los estudiantes, por ejemplo: laboratorios de resistencia de materiales, mecánica de los fluidos, metalografía, motores de combustión interna, entre otros, con el objetivo de seleccionar, diseñar, evaluar, procesar y analizar el uso de una estrategia experimental en la investigación. Esta metodología permitirá a los estudiantes aplicar en la práctica el alcance del diseño y el análisis de experimentos en varios campos de la Ingeniería Mecánica, incrementar la estrecha relación del trabajo interdisciplinario de la carrera y el trabajo de los grupos

científicos-estudiantiles; lo que incrementaría el rigor y el valor científico de las investigaciones. El sistema de evaluación se mantendría de igual forma que al presentado por el programa de la asignatura: el control de los conocimientos y habilidades de los estudiantes en las diferentes actividades docentes; las evaluaciones en los seminarios; la presentación y defensa de un proyecto o trabajo extra-clase por equipos de trabajo.

### 3.3. Resultados alcanzados por la metodología

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos durante los 4 años que lleva impartándose ésta metodología en la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos. El sistema empleado en Cuba para la evaluación universitaria está entre 2 - 5, siendo la nota mínima para aprobar el 3. En la Universidad esta evaluación es cualitativa y se corresponde con las siguientes categorías: 5 Excelente, 4 Bien, 3 Aprobado y 2 Suspenso. El índice de calidad es un indicador que permite evaluar la efectividad de los procesos de enseñanza y aprendizaje, el mismo se determina por el cociente entre el número de evaluaciones de 5 y 4 y el número de estudiantes matriculados.

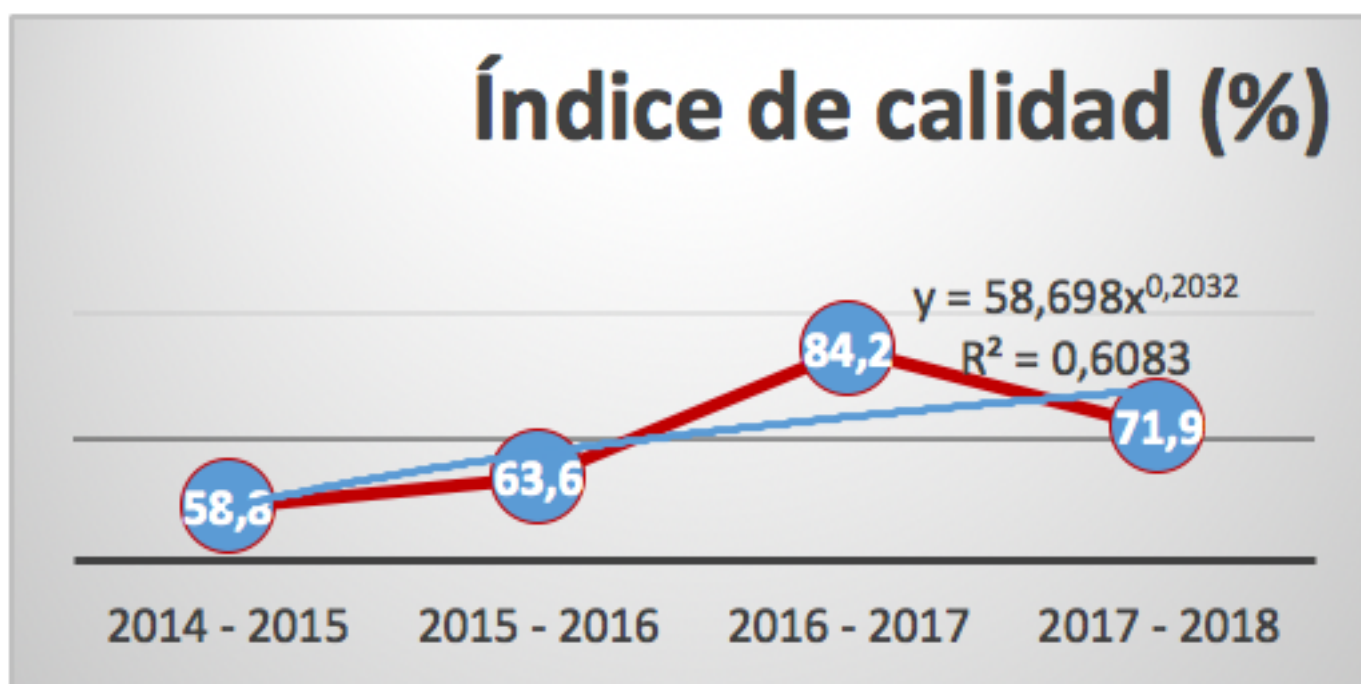
**Tabla 2**  
Resultados de promoción de estudiantes en 3 cursos de impartición de la asignatura.

Curso	Cantidad de estudiantes matriculados	Calificación				Porcentaje de aprobados (%)	Índice de calidad (%)
		5	4	3	2		
2014-2015	17	4	6	7	-	100	58.8
2015-2016	22	6	8	8	-	100	63.6
2016-2017	19	7	9	3	-	100	84.2
2017-2018	32	11	12	9	-	100	71.9
Total	90	28	35	27	-	100	70.0

Fuente:Elaboración propia

-----

**Figura 6**  
Resultado del índice de calidad y tendencia en el tiempo



Fuente:Elaboración propia



Como se observa en la Tabla 2 y Figura 6, índice de calidad cualitativo por cursos se proyecta en sentido creciente con una razón de correlación potencial adecuada de 0.61, lo cual indica una respuesta a partir del perfeccionamiento de la asignatura a través de los años académicos. Parte de este perfeccionamiento ha estado relacionado con la actualización de los contenidos estadísticos, la vinculación constante con ejemplos de investigaciones relacionadas con el perfil profesional, mejor uso del paquete estadístico, el trabajo de motivación para la selección de la asignatura optativa, el incremento en la calidad de la docencia con el empleo de técnicas de dinámica grupal, facilidades en el uso de bibliografía actualizada y la planificación de una dosificación de los contenidos con incremento de los tiempos de máquina en los laboratorios de computación para las clases prácticas.

En estos momentos se encuentra en fase de experimentación un entorno basado en objetos de aprendizaje, que permitirá un tratamiento diferente en esta asignatura como otra opción de facilidades que brindan las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs). Esta metodología de enseñanza ha mostrado resultados muy positivos en la calidad de las evaluaciones finales y donde la motivación de los estudiantes por las asignaturas ha sido 100 % de satisfacción. Las encuestas realizadas a los estudiantes durante los 4 años han mostrado un 100 % de satisfacción por los contenidos recibidos, las posibilidades que se brindan para su estudio independiente, y la vinculación directa de esta asignatura con las investigaciones de los proyectos de fin de carrera, han incrementado el número de tesis que aplican la experimentación secuencial con el objetivo final de alcanzar la meta de todo ingeniero: optimizar el proceso que estudia.

---

## 4. Conclusiones

En el programa de la asignatura Diseños Estadísticos de Experimentos del actual plan de estudios para Ingeniería Mecánica en Cuba, existe una carencia de contenidos que limita el campo de acción del ingeniero mecánico; un aporte importante sería aplicar las técnicas de la MSR y el uso de los diseños de optimización para resolver problemas relacionados a las Ciencias de la Ingeniería.

La asignatura Diseño Estadístico de Experimentos debe de tener un enfoque secuencial: un solo diseño o fase experimental no permite abarcar toda la extensión de una investigación experimental; por eso, la experimentación secuencial, con la aplicación de diferentes diseños experimentales, permite alcanzar paulatinamente una mayor precisión de conocimientos y soluciones.

Se propone que el total de horas de la asignatura se incremente desde 24 h/c hasta 36 h/c debido a la inserción de un nuevo tema que aborde aspectos sobre los métodos y diseños de optimización por superficie de respuesta, así como su uso y aplicación en la optimización de procesos mecánicos. Los estudiantes tendrían una activa participación en el transcurso de la asignatura debido a que más del 60 % del contenido de la asignatura correspondería a aprender el manejo de un software estadístico profesional y la profundización de los contenidos indicados en las actividades de tipo seminario.

Con la aplicación del nuevo plan temático en la asignatura Diseño Estadístico de Experimentos dentro de la Disciplina Integradora, se logra incrementar de forma sostenida en el tiempo el índice de calidad.

---

## Referencias bibliográficas

BAŞ, Deniz; BOYACI, Ismail H. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of food engineering*, 2007, vol. 78, no 3, p. 836-845. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024>

BOX, George EP; WILSON, Kenneth B. On the experimental attainment of optimum conditions. En *Breakthroughs in statistics*. Springer, New York, NY, 1992. p. 270-310.

CAMPBELL, Donald T.; STANLEY, Julian C. *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Ravenio Books, 2015.

CEDEÑO, Edilberto Antonio Llanes; JIMÉNEZ, Gustavo Adolfo Moreno. Concepción de la Formación de Competencia en la Educación Superior de los Ingenieros Mediante la Aplicación del Modelo Metodológico en T. *INNOVA Research Journal*, 2017, vol. 2, no 4, p. 148-154.

DE SOUSA, M. Análisis de necesidades de entrenamiento basado en el modelo de competencias. *Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Caracas*, 2001.

DERRINGER, George. Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 1980, vol. 12, no 4, p. 214-219.

FLOREZ-ROMERO, Marcela, et al. Henry A. Giroux y sus aportes a la modelización del currículo crítico: cuestiones y reflexiones. *Revista ESPACIOS*, 2018, vol. 39, no 05.

HORRUITINER, P. Fundamentos del diseño curricular en la Educación Superior cubana. *ISPJAM. Monografía*, 1994.

JACQUES, Sébastien. A Pedagogical Intensive Collaborative Electric Go-Kart Project. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 2017, vol. 7, no 4, p. 117-134.

SWAMY, Gabriela John; SANGAMITHRA, A.; CHANDRASEKAR, V. Response surface modeling and process optimization of aqueous extraction of natural pigments from Beta vulgaris using Box-Behnken design of experiments. *Dyes and Pigments*, 2014, vol. 111, p. 64-74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2014.05.028>

LUNDSTEDT, Torbjörn, et al. Experimental design and optimization. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 1998, vol. 42, no 1-2, p. 3-40. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(98\)00065-3](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(98)00065-3)

LEYVA, M. R. *DISEÑO CURRICULAR*. México: Creatividad Gráfica. 2008. doi:ISBN: 978-607-95035-0-5

MES. *Plan de estudios "D" para la Carrera de Ingeniería Mecánica*. Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba. 2007.

MOHAMED, Omar A.; MASOOD, Syed H.; BHOWMIK, Jahar L. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in Manufacturing*, 2015, vol. 3, no 1, p. 42-53. doi: <https://doi.org/10.1007/s4043>

MONTGOMERY, Douglas C. *Design and analysis of experiments*. John wiley & sons, 2017.

READ, Noriko, et al. Selective laser melting of AlSi10Mg alloy: Process optimisation and mechanical properties development. *Materials & Design (1980-2015)*, 2015, vol. 65, p. 417-424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.044>.

SAFDARNEJAD, Seyed Mostafa, et al. Initialization strategies for optimization of dynamic systems. *Computers & Chemical Engineering*, 2015, vol. 78, p. 39-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.04.016>

SARIKAYA, Murat; GÜLLÜ, Abdulkadir. Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, 2014, vol. 65, p. 604-616. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.040>

TAMAYO PUPO, JORJE. *Concepción didáctica integradora interdisciplinaria del proceso de enseñanza aprendizaje de la Física en la Ingeniería Mecánica*. 2006. Tesis Doctoral. Tesis en opción el grado científico de Doctor en Ciencias Pedagógicas. Holguín.

ZAMORA-MUSA, Ronald, et al. Implementación de un recurso educativo abierto a través del modelo del diseño universal para el aprendizaje teniendo en cuenta evaluación de competencias y las necesidades individuales de los estudiantes. *Revista ESPACIOS*, 2017, vol. 38, no 05.

---

1. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Granma, Carr, Manzanillo, km 17 ½, Peralejo, Bayamo, Granma, Cuba. Correo electrónico de contacto: [yguardiapuebla@gmail.com](mailto:yguardiapuebla@gmail.com)

2. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Granma, Carr, Manzanillo, km 17 ½, Peralejo, Bayamo, Granma, Cuba.

3. Departamento de Ingeniería Agroforestal-Mecanización, E.T.S.I. Agronómica, Alimentaria y Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Puerta de Hierro, 28040, Madrid, España.



4. PhD. Ciencias Técnicas, Docente-Investigador, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK – Quito y Universidad SEK Chile. Ingeniero Mecánico automotriz. [antonio.llanes@uisek.edu.ec](mailto:antonio.llanes@uisek.edu.ec)

5. MSc. en Sistema Automotrices, Docente-Investigador, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK – Quito. Ingeniero automotriz. [carlos.rocha@uisek.edu.ec](mailto:carlos.rocha@uisek.edu.ec)

6. MSc. en sistemas de manufactura, Docente-Investigador, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK – Quito. Ingeniero Diseño Industrial. [diana.peralta@uisek.edu.ec](mailto:diana.peralta@uisek.edu.ec)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 39 (Nº 30) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]

©2018. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados