



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 274 211**

⑤1 Int. Cl.:
G05B 19/418 (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **03707699 .9**
⑧6 Fecha de presentación : **04.02.2003**
⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1481294**
⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **01.12.2004**

⑤4 Título: **Sistema de análisis del diseño y del procedimiento de fabricación.**

③0 Prioridad: **04.02.2002 US 67704**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2007

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2007

⑦3 Titular/es: **Steve W. Tuszynski**
750 South Bundy Dr. 304
Los Angeles, California 90049, US

⑦2 Inventor/es: **Tuszynski, Steve W.**

⑦4 Agente: **Carpintero López, Francisco**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de análisis del diseño y del procedimiento de fabricación.

5 **Campo de la invención**

La presente invención está relacionada con la fabricación, diseño, maquinaria, e ingeniería de procesos y, en una modalidad, con procedimientos, aparatos y sistemas que facilitan el diseño, maquinaria, producción y/o tareas de medición asociadas con la fabricación y otros procesos. En una modalidad, la presente invención está relacionada con toma de decisiones y estructuras lógicas, implementadas en una aplicación de software informática, que facilita todas las fases de diseño, desarrollo, maquinaria, pre-producción, calificación, certificación, y procesos de producción de cualquier pieza u otro artículo que se produce con especificación.

Antecedentes de la invención

El mundo de la fabricación, incluyendo la ingeniería de procesos, ha estado bajo continua y acelerada presión para mejorar la calidad y reducir costos. Esta tendencia muestra signos de aceleración adicional en lugar de desaceleración. Desde la perspectiva de la fabricación, la calidad se refiere a producir piezas que 1.) sean cercanas a o a objetivos de diseño de ingeniería, y que 2.) muestran una variación mínima. El campo de ingeniería de diseño también ha estado bajo presión continua para mejorar la calidad y reducir costos. La ingeniería de diseño debe crear objetivos de diseño nominales y establecer límites de tolerancia en donde esto es posible para que la fabricación produzca piezas que sean 1.) del objetivo y 2.) que estén dentro de los límites de tolerancia del diseño. En otras palabras, los ingenieros no sólo tienen la tarea de diseñar artículos para obtener la forma, ajuste y función, sino de diseñarlos para la producibilidad.

En cualquier fabricación u otros procesos que dependen de leyes de ingeniería y física para producir un resultado útil, existen cinco elementos fundamentales (véase la Figura 1): 1) El proceso que elabora el producto (A); 2) Entradas hacia el interior del proceso (B); 3) La producción del proceso (C); 4) Variables de control del proceso ajustadas para influenciar la producción del proceso (D); y, 5) Variables del proceso no controladas que ejercen influencia sobre el proceso (E) (por ejemplo, variables no controladas o variables que se dejan sin control debido al tiempo, costo u otras consideraciones, denominadas “ruido” colectivamente).

El enfoque tradicional para producir artículos, tales como piezas u otros componentes, que reúnen las especificaciones de diseño es el enfoque lógico basado en la búsqueda de causalidad. Este enfoque se basa en el principio de que el control sobre las variables que ejercen influencia en el proceso controla la producción de ese proceso. En otras palabras, si puede controlarse la causa, entonces también puede controlarse el efecto. La Figura 2 ilustra este principio del estado de la técnica, en donde se intenta determinar las relaciones, vínculos, o correlaciones entre las variables de control y las características de la producción (por ejemplo, piezas fabricadas).

Desafortunadamente, muchos procesos de la fabricación actúan de forma similar a una caja negra. Puede ser difícil, en algunos de estos casos, determinar la relación entre las variables de control del proceso y los valores de la característica del artículo resultante. Además, las restricciones de tiempo y económicas pueden realizar tal determinación poco práctica aún cuando ésta pueda ser técnicamente posible.

El moldeado por inyección plástica es un ejemplo de esta situación. Con al menos 22 variables de control, aún cuando estos ajustes de control tengan sólo dos niveles cada uno (temperatura alta y baja, presión alta y baja, etcétera), existe, no obstante, más de 4 millones de combinaciones posibles. De hecho, existen billones de combinaciones posibles cuando se consideran tres niveles (ajustes alto, medio y bajo). Además, los cambios a las variables del proceso pueden tener efectos variables sobre las características del artículo resultante; por ejemplo, incrementar el ajuste de presión puede incrementar una primera característica del artículo, disminuir la segunda, y no afectar a una tercera. Las interacciones simples, interacciones complejas y no lineales complican la situación adicionalmente. Además, suelen existir múltiples cavidades de molde en un molde individual. Finalmente, existen numerosas características del artículo (dimensional, rendimiento u otros requisitos) que deben reunirse. A la luz de la discusión precedente, a menudo resulta extremadamente difícil establecer la combinación de factores a partir del gran número de objetivos de diseño de piezas, límites de tolerancia de piezas, características de diseño del molde y ajustes de presión de moldeado por inyección que producen artículos aceptables.

Se han hecho algunos progresos a este respecto. La metodología de Diseño de Experimentos (DOE, por sus siglas en inglés) reduce considerablemente el número de experimentos que deben realizarse para entender el impacto de un subconjunto seleccionado de variables de control en la producción resultante del proceso. Desafortunadamente, aún después de realizar el experimento designado, existe aún un gran número de variables de control que puede afectar los artículos resultantes. En cualquier evento, la medición extensiva de las piezas producidas es aún dirigida por ambos el proveedor y el cliente OEM para asegurar que se producen artículos aceptables.

Además, existen dos trayectorias principales para lograr la calidad de maquinaria mejorada. Lo primero es medir las piezas después de que éstas se producen y después comparar las piezas con la especificación de los requisitos (objetivos de diseño y tolerancias). Éste es un proceso “en línea” que utiliza retroalimentación. Las piezas se miden normalmente, en alguna región, por ambos el productor y el cliente (OEM, primer fabricante de la fila, segundo

fabricante de la fila, etcétera). La medición de las piezas, registro y análisis de datos, y resultados de informes, sin embargo, es un proceso muy caro y consumidor de recursos.

En sus esfuerzos por mejorar la calidad, muchos fabricantes han empezado a usar las técnicas de Control de Procesos Estadísticos (SPC, por sus siglas en inglés) y estudios de Capacidad de Procesos. Efectivamente, muchos clientes requieren que sus proveedores realicen SPC u otra medición equivalente, registrando, analizando y estableciendo informes de procedimientos. Según esta técnica, se toman muestras de la línea de producción, se miden y después se analizan para ver si surgen patrones anormales (no distribuidos anormalmente) o puntos de datos. Si se detectan tales puntos de datos anormales, el proceso se considera “fuera de control” (es decir, no produce una producción consistente predecible) y la producción se detiene inmediatamente para ajustar el proceso. La medición de datos desde las piezas fabricadas se analiza usando procedimientos estadísticos SPC sofisticados y mapas de herramientas contenidos en programas informáticos especializados. Puesto que la mayoría de las piezas tienen dimensiones diferentes, la medición y el análisis SPC han sido aplicados normalmente a un gran número de dimensiones de piezas para cada pieza, incrementando el tiempo y costo asociado con la producción. Sin embargo, el SPC es menos caro a largo plazo que enviar las piezas inaceptables y/o tener que ordenar las piezas aceptables de las piezas inaceptables.

También ha sido difícil para los fabricantes (y sus clientes) determinar 1.) el porcentaje de las dimensiones que deberían controlarse usando SPC y 2.) las dimensiones que deberían medirse si el conjunto completo de dimensiones no se controla. Normalmente, la mayor parte de las veces, si no todas, las dimensiones “críticas” llamadas por el ingeniero de diseño se miden y analizan usando técnicas SPC. Sin embargo, las restricciones económicas pueden provocar un número de dimensiones que se miden y analizan inferior al deseado. Entonces, se hacen conjeturas frecuentemente acerca de las dimensiones que deben seleccionarse para SPC u otro análisis.

Una segunda trayectoria para mejorar la calidad en la fabricación es reducir la variación natural en los artículos fabricados. La exactitud en el mantenimiento de los factores de control del proceso puede mejorarse y/o los factores de “ruido” pueden eliminarse o minimizarse. Esta es una mejora del proceso “fuera de línea” que usa el control anticipado. Reducir la variación natural también es una proposición cara, puesto que están presentes muchas causas de variación comunes relativamente pequeñas. El grado al cual la variación natural en las piezas producidas debe reducirse se determina normalmente a través de estudios de capacidad de proceso caros, que suelen realizarse en cada dimensión “crítica”.

La U.S. 5,850,339 describe un procedimiento para el análisis de un conjunto de datos y la determinación de las variables independientes de entrada y los valores de estas variables que están más relacionadas con un resultado específico. Un uso de este procedimiento es la determinación de variables de maquinaria y sus valores que tienden a tener como resultado un producto inaceptable.

Werner Stahel, Statistische Datenanalyse, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag 2000, divulga utilizando un análisis de regresión.

A la luz de la discusión anterior, existe una necesidad en la técnica para los procedimientos, aparatos y sistemas que faciliten el diseño y los procesos de maquinaria y, más particularmente, que traten los problemas discutidos anteriormente. Por ejemplo, existe la necesidad en la técnica para procedimientos y sistemas que permitan reducir el tiempo y costo asociados con la medición, registro, análisis e informes de procesos discutidos anteriormente en combinación con, por ejemplo, estudios SPC, estudios de Capacidad de Procesos, inspección de envío e inspección de recepción. Existe la necesidad en la técnica para procedimientos para determinar cómo ajustar las entradas del proceso para lograr las producciones deseadas. También existe la necesidad en la técnica para procedimientos y sistemas que faciliten la determinación de la cantidad de características del artículo (por ejemplo, dimensiones, medidas de rendimiento, etcétera) que deberían medirse para un proceso dado. Por último, existe la necesidad en la técnica para procedimientos y sistemas que permitan la evaluación de las características del artículo que deberían medirse para un proceso dado. Como se discute con más detalle a continuación, las modalidades de la presente invención satisfacen sustancialmente estas necesidades.

Resumen de la invención

La presente invención proporciona procedimientos, aparatos y sistemas que facilitan el diseño, producción y/o tareas de medición asociadas con la fabricación y otros procesos. En una modalidad, la presente invención está relacionada con toma de decisiones y estructuras lógicas, implementadas en una aplicación de software informática (conjunto de programas operativos que posibilitan el uso del ordenador), facilitando todas las fases de diseño, desarrollo, maquinaria, pre-producción, calificación, certificación, y procesos de producción de cualquier pieza u otro artículo que se produce con especificación. En una modalidad, la presente invención aporta el conocimiento de cómo las múltiples características de la producción del proceso dado se relacionan entre sí, en cuanto a los límites de especificación y las entradas de pre-proceso. Este conocimiento facilita la reducción en costos de medición, análisis e informe previo a y durante la producción. Éste también determina los cambios necesarios a entradas del pre-proceso para lograr la producción en los objetivos de diseño. Éste proporciona un orden de prioridad para relajar las tolerancias de diseño. Esto evalúa la factibilidad de producción de piezas que reúnen los límites de especificación. Esto evalúa la solución transaccional entre el rendimiento y la producibilidad y proporciona objetivos de diseño que mejoran la producibilidad. Esto proporciona la determinación de cuándo la variabilidad del proceso necesita reducción. Esto facilita la comparación y selección de material. Esto proporciona a los ingenieros de proceso y operadores las directrices de operación mejoradas.

La presente invención utiliza técnicas analíticas para lograr los objetivos precedentes y ventajas. Como se discute a continuación, las técnicas gráficas, en una modalidad, pueden usarse opcionalmente en lugar de las técnicas analíticas. Las técnicas gráficas, que incluyen los mapas, gráficos, y esquemas pero sin limitarse a éstos, también pueden usarse para mostrar los análisis de resultados. La presente invención emplea metodologías poderosas estadísticas que, en una modalidad, permiten la determinación de cuáles y cuántas características de artículo deberían medirse, reduciendo potencialmente el costo y los gastos de recursos asociados con la medición, registro, análisis e informes. Las modalidades de la presente invención también ayudan a los ingenieros de diseño a diseñar artículos para la producibilidad. Las modalidades de la presente invención también pueden configurarse para proporcionar información crítica necesaria para los ingenieros de diseño e ingenieros de maquinaria con el fin de modificar los requisitos de diseño de las entradas de proceso, para que la maquinaria pueda conseguir los objetivos de diseño y permanecer dentro de los límites de tolerancia de la especificación. Las modalidades de la presente invención también pueden emplearse para identificar, usando el enfoque de la ingeniería de sistemas, las características del artículo que tienen los objetivos y límites de tolerancia de especificación más restrictivos. Tal información, por ejemplo, permite que una evaluación de sí o no las tolerancias deberían incrementarse y, de ser así, qué tolerancias y qué característica de artículo. La presente invención también puede emplearse para reducir el costo de estudios de capacidad de ejecución del proceso reduciendo, en algunos casos dramáticamente, el número de estudios de capacidad del proceso que deberían realizarse. Estos y otros aspectos de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción de las modalidades preferidas de la presente invención.

En una modalidad, la presente invención proporciona procedimientos, aparatos y sistemas que facilitan el entendimiento y análisis de cómo la relación entre las características del artículo de predicción y una o más características del artículo predictor refleja la capacidad del proceso para lograr el objetivo deseado (por ejemplo, la producción de piezas en la especificación objetivo y/o dentro de las tolerancias de especificación). En una modalidad, la presente invención proporciona un sistema de análisis del proceso que genera un conjunto de gráficos y/o tablas (tales como Tablas de Restricción, Tablas de Desfasamiento y Tablas de Relajación) que permiten al usuario entender y analizar la relación entre las características del artículo para hacer decisiones poderosas y documentadas en lo que se refiera al potencial de diseño o maquinaria, o pre-proceso dimensional o cambios de proceso. Como se discute más detalladamente a continuación, la relación entre la característica del predictor y una o más características del artículo de predicción dado puede clasificarse generalmente en una de las tres situaciones posibles: 1) en donde es posible producir un artículo fuera de los límites de especificación en lo que se refiere a las características del artículo de predicción; 2) en donde la característica del artículo de predicción es robusta y siempre estará dentro de los límites de especificación; y 3) en donde la característica del artículo de predicción restringe las características del artículo del predictor. En una modalidad, la presente invención proporciona una metodología para el análisis de las relaciones posibles entre la característica del predictor y las características del artículo restantes para determinar, por ejemplo, qué características del artículo de predicción pueden ignorarse con seguridad, qué características del artículo de predicción restringirán el rango de operación o la ventana relativa a la característica del predictor, y qué características del artículo de predicción podrían provocar la producción de artículos fuera de los límites de especificación de diseño. Con tal clasificación de las características del artículo de predicción, los usuarios (tales como los ingenieros de diseño, ingenieros de maquinaria, ingenieros de proceso, inspectores y similares) están entonces en la posición de tomar decisiones en cuanto a cómo tratar cada característica del artículo de predicción. Por ejemplo, en el caso en el que es posible producir defectos, el usuario puede decidir relajar las tolerancias de la especificación, y/o modificar las entradas del pre-proceso, y/o variables de restricción del proceso. Además, si la característica del artículo de predicción dado es robusta (dentro de la especificación) para todos los valores posibles (al menos dentro de los límites de especificación de diseño) de la característica(s) del artículo predictor, la característica del artículo de predicción puede ignorarse, por ejemplo, durante las tareas de post-procesamiento tales como la medición de piezas y el análisis asociado con las actividades de pre-calificación, calificación, certificación y producción. La presente invención también facilita el análisis del impacto de las características del artículo de predicción que restringe el rango permisible para la característica(s) del artículo predictor. Como se discute más detalladamente a continuación, la presente invención permite que el usuario considere el impacto de una restricción de la característica del artículo de predicción, y el grado de restricción, sobre la producibilidad del artículo como se llama en la especificación de diseño dada, y también permite la evaluación de la aplicabilidad de un proceso dado para generar la producción que reúne los requisitos/especificaciones de diseño. Como se discute más detalladamente a continuación, las modalidades de la presente invención sirven para generar gráficos, tablas y mapas, tales como Mapas de Dispersión, Tablas de Restricciones, Tablas de Desfasamiento y Tablas de Relajación, que soportan las tareas analíticas y de toma de decisiones asociadas con la fabricación y otros procesos.

Descripción de las ilustraciones

La Figura 1 es un diagrama de flujo del proceso aplicable generalmente a la fabricación y otros procesos.

La Figura 2 es un diagrama de flujo del proceso que muestra el concepto asociado con la aplicación de técnicas de control de procesos del estado de la técnica a procesos de la fabricación.

La Figura 3 es un diagrama de flujo del proceso que muestra el concepto asociado con la presente invención como se aplica a procesos de la fabricación.

La Figura 4 es un diagrama de dispersión que muestra el modelo de regresión entre dos características de artículo.

La Figura 5 es un diagrama de dispersión que modela el efecto que un cambio de ajustes de control del proceso tiene en la producción del proceso.

La Figura 6 es un diagrama de dispersión que muestra el efecto de cambios en las entradas del proceso.

La Figura 7 es un diagrama de dispersión que muestra el efecto combinado de cambiar los ajustes de control del proceso y las entradas del proceso.

La Figura 8 es un diagrama de dispersión que incluye intervalos de predicción asociados con un modelo de regresión.

La Figura 9 proporciona una interfaz de usuario gráfica que facilita la entrada de datos de característica del artículo usados en combinación con una modalidad de la presente invención.

La Figura 10 es un diagrama de dispersión que muestra un modelo de regresión lineal simple de dos características del artículo.

La Figura 11 es un diagrama de bloque funcional que muestra una modalidad de un sistema de hardware (elementos mecánicos y electrónicos del ordenador) informático apropiado para su uso en conexión con la presente invención.

La Figura 12 es un diagrama de dispersión que muestra los conceptos asociados con una modalidad de la presente invención.

La Figura 13 es un diagrama de dispersión que incluye un modelo de regresión lineal, intervalos de predicción, la intersección objetivo, y límites de especificación superior e inferior.

La Figura 14 es un diagrama de dispersión que muestra la determinación del rango de operación permisible y el valor objetivo de operación para una característica del predictor.

La Figura 15 ilustra la arquitectura del sistema según una modalidad de la presente invención.

La Figura 16 muestra un diagrama de flujo que proporciona el procedimiento según una modalidad de la presente invención.

La Figura 17 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento asociado con la visualización del modelo de regresión y elementos de análisis asociados al usuario.

La Figura 18 es un diagrama de flujo que establece un procedimiento para permitir la selección de la característica del predictor.

La Figura 19 es una tabla de hoja de cálculo que incluye un conjunto de valores de característica de artículo para una pluralidad de características del artículo, coeficientes de correlación y un valor indicando la capacidad de predicción de cada característica de artículo.

La Figura 20 es un diagrama de flujo que proporciona un procedimiento para permitir la propagación de la tabla del coeficiente de correlación.

La Figura 21 es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento asociado con el uso de la presente invención según una modalidad.

Las Figura 22 ilustra una Tabla de Restricciones según una modalidad de la presente invención.

La Figura 23 es un diagrama de flujo, según una modalidad de la presente invención, que muestra un procedimiento dirigido a la generación de la Tabla de Restricciones.

La Fig. 24 es un diagrama que muestra el modelo de regresión para la característica del predictor y la característica de predicción que incluye los valores límite asociados con el modelo de regresión.

La Figura 25A a la 25G son diagramas que muestran los modelos de regresión entre la característica del predictor y la característica de predicción e ilustra varias circunstancias en donde puede existir un defecto de condición.

Las Figuras 26A y 26B son diagramas que muestran los modelos de regresión entre la característica del predictor y la característica de predicción e ilustra varias circunstancias en donde la característica de predicción es robusta dentro de los límites de especificación superior e inferior de la característica de predicción.

Las Figuras 27A a la 27F son diagramas que muestran los modelos de regresión para varias circunstancias en donde cualquier límite de predicción, superior, inferior, o ambos restringen el valor de característica del predictor permisible mínimo y/o máximo para producir piezas que estén dentro de los límites de especificación.

La Figura 28A es un diagrama de flujo que muestra el procedimiento dirigido para la generación de una Tabla de Desfasamiento según una modalidad de la presente invención.

La Figura 28B es una Tabla de Desfasamiento según una modalidad de la presente invención.

La Figura 29 es un diagrama de flujo que muestra el proceso completo asociado con la generación de la Tabla de Relajación según una modalidad de la presente invención.

La Figura 30 es la Tabla de Relajación generada por una modalidad de la presente invención.

La Figura 31 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento dirigido a la determinación de nuevos límites de especificación que resulta de la relajación de uno o ambos límites de especificación inferior y superior de la característica de predicción y, consecuentemente, los valores de característica del predictor mínimo y/o máximo asociados requeridos para producir piezas dentro de los límites de especificación.

Las Figuras 32A, 32B, 32C y 32D son figuras que ilustran gráficamente el incremento en P_{max} y la disminución en P_{min} que resulta de relajar los límites de la especificación superior e inferior para la característica de predicción.

Las Figuras 33A, 33B, 33C y 33D son figuras que ilustran gráficamente el área de cumplimiento, el área de regresión, el área de regresión limitada y la comparación del área de cumplimiento con el área de regresión.

Descripción de las modalidades preferidas

I. Antecedentes y Principios de Operación

A. Principios y Conceptos

La presente invención utiliza varias técnicas, gráficas, estadísticas y matemáticas para analizar la relación entre las características del artículo para lograr un diseño novedoso y un sistema de análisis del proceso de maquinaria. Entre éstos, están los diagramas de dispersión, coeficientes de correlación, coeficientes de determinación, lineal, no lineal y regresión multivariada, intervalos de predicción, intervalos de predicción ajustados, predicción usando regresión, predicción usando intervalos de predicción, DOE, promedios y promedios pesados. La Figura 3 es un diagrama del proceso que muestra cómo un aspecto de la presente invención difiere de las técnicas del estado de la técnica. En una gran variedad de procesos de la fabricación, y moldeado por inyección en particular, existe frecuentemente una relación fuerte entre las características del artículo que resultan de un proceso dado. La presente invención evalúa la validez estadística de estas relaciones y, cuando son lo suficientemente válidas, aprovecha su existencia para facilitar una variedad de tareas de diseño, producción y medición asociadas con los procesos de la fabricación.

Para entender la diferencia entre el estado de la técnica ejemplificado en la Figura 2 y la presente invención ejemplificada en la Figura 3, debería notarse que el enfoque principal de la Figura 3 es la relación que existe entre las características de la pieza. En el campo de moldeado por inyección, las diferentes producciones (#1, #2, etcétera) en la Figura 3 deberían referirse típicamente a diferentes dimensiones de la pieza. En la presente invención, las características diferentes de la pieza no están limitadas a dimensiones, sino que podrían ser cualquier atributo de la pieza. Además, las características diferentes de la pieza deben, de hecho, incluir la misma dimensión a través de piezas diferentes producidas en un ciclo individual del molde de cavidad múltiple.

La Figura 4 ilustra gráficamente la relación entre dos características de artículo como se publica en un diagrama de dispersión. La Fig. 4, en una forma, ilustra la relación entre la característica del predictor y la característica de predicción. Como se discute a continuación, los puntos de datos usados para generar el modelo de regresión se generan típicamente usando al menos dos procedimientos posibles.

El primer procedimiento consiste en la generación de piezas sin cambios hechos a los ajustes del proceso. Esto generalmente corresponde a un proceso de producción normal. Todos los procesos están sujetos a variación en las variables de control, condiciones ambientales, uso y desgaste, y muchos otros factores. Estas influencias en el proceso causan una variación natural en la producción del proceso. Se mide entonces la producción del proceso de este procedimiento. Un problema con este procedimiento es que el proceso de medición es similar a cualquier otro proceso en el que el proceso de medición tiene su propia fuente de variaciones, lo cual produce un error de medición. Si el tamaño de la variación natural en las características de la pieza es pequeño respecto al error de medición, entonces el error de medición dominará la variación natural. En este caso, no es probable que cualquier correlación significativa estadísticamente pueda establecerse entre las características de la pieza.

El proceso de moldeado por inyección dispone típicamente de variaciones naturales relativamente pequeñas respecto a las comparadas con el error de medición típico. Consecuentemente, el primer procedimiento para generar piezas usando moldeado por inyección para la evaluación de relaciones puede ser improductivo. Consecuentemente, el segundo procedimiento de generación de piezas se aplica más a piezas moldeadas por inyección. Sin embargo, otros procesos pueden mostrar una variación natural suficiente para usar el procedimiento identificado anteriormente.

Según un segundo procedimiento, se induce la variación en las características de la pieza. En el caso del moldeado por inyección, se induce la variación cambiando deliberadamente los ajustes de control del proceso. De esta manera, la variación en los valores de características de la pieza aumenta respecto al error de medición. Entonces, se hacen evidentes las correlaciones, en la proporción que existan.

Como se mencionó previamente, DOE es un procedimiento que ayuda a reducir un gran número de condiciones experimentales inmanejables a pocas condiciones experimentales manejables. Puesto que la variación debe inducirse en el campo de moldeado por inyección, resulta útil su uso en técnicas DOE para diseñar un experimento eficiente. El uso de este procedimiento tiene utilidad adicional porque existen aplicaciones informáticas disponibles comercialmente que analizan eficientemente los datos e informan de los resultados del análisis. Así, un subproducto beneficioso por usar DOE, es que la información útil puede extraerse a partir de un proceso experimental. En particular, es usualmente posible identificar al menos un ajuste de control del proceso que pueda ser usado para afectar significativamente las características de pieza de la producción resultante. La información obtenida a partir de DOE tiene utilidad cuando ésta puede usarse para reajustar el ajuste de control del proceso para lograr un cambio deseado en la posición de operación de la unión de los valores de característica de la pieza a lo largo del modelo de regresión, como se explica a continuación.

Existe una segunda ventaja para inducir variación en un proceso experimental que no está relacionada con cualquier medida de eficiencia asociada con el uso de DOE. Esta segunda ventaja consiste en el hecho de que la presente invención, en una modalidad, identifica los ajustes de control del proceso que tienen el mayor impacto o influencia sobre las características de la pieza. La presente invención también recae, en parte, en la experiencia de operadores de presión para moldeado por inyección y maquinaria asociada y personal de proceso para seleccionar aquellos ajustes de control de “alto impacto”. Debería notarse que, en el moldeado por inyección, el paradigma usual es para minimizar los cambios a los ajustes de presión. En contraste, la presente invención busca maximizar su impacto para propósitos de inducir la variación de la pieza para análisis adicional. En otras palabras, para el propósito de inducir la variación, la presente invención busca los “peores” ajustes de control. Los “peores” ajustes de control desde una perspectiva de producción se convierten en los “mejores” ajustes de control desde la perspectiva de inducir la variación.

Como se notó previamente, existe un gran número, típicamente 22 o más, ajustes de control de proceso en el campo de moldeado por inyección. La presente invención, en una modalidad, incorpora principios “científicos” o “moldeado desacoplado” para identificar los controles de presión de alto impacto. Como con DOE, no es necesario usar principios “científicos”/“moldeado desacoplado”, pero éste proporciona potencialmente ventajas de identificación adicional. Así, cuando varios, típicamente 3-5, ajustes de control de más alto impacto se cambian en el proceso experimental, la cantidad más grande de variación será introducida dentro de las características de la pieza. Esta variación será de dos tipos. La primera será la versión de la posición de unión de operación a lo largo de la línea de regresión. La segunda puede inducir dispersión de los puntos de datos alrededor de la línea de regresión. Es importante crear un conjunto de datos robustos para producir, a su vez, un modelo de regresión robusto para la predicción.

Finalmente, el uso de técnicas DOE proporciona información adicional. Específicamente, el uso de técnicas DOE para inducir variación de la pieza permite adicionalmente el entendimiento de cómo las variables de control del proceso que fueron cambiadas afectan a las características de la pieza y potencialmente cómo estas variables de control interactúan entre sí.

Como se discutió previamente, es difícil establecer la relación entre los ajustes de control de moldeado por inyección y las características de la pieza por varias razones que incluyen el gran número de variables de control, el número potencialmente largo de características de la pieza, interacciones simples, interacciones complejas, no linealidades y otros efectos. Una de las grandes utilidades de esta invención es que aún cuando pueden existir varias variables de control del proceso que ejercen influencia en la característica de la pieza, y esos cambios pueden influir en cualquier característica de la pieza de una manera muy compleja, los cambios en estas variables tienen un efecto predecible sobre la *relación* entre la característica del predictor y al menos una característica del artículo restante. En consecuencia, como se discute con mayor detalle a continuación, los sistemas y procedimientos de la presente invención permiten a los ingenieros de diseño y operadores de proceso confiar en los valores de la característica del predictor para determinar si una o más características de predicción cumplen con las especificaciones de diseño. Además, los sistemas y procedimientos de la presente invención permiten a los ingenieros de diseño y operadores de proceso centrarse en las características de predicción en esfuerzos para ajustar la producción del proceso para cumplir con las especificaciones de diseño. Estas y otras ventajas serán evidentes a partir de la descripción proporcionada a continuación.

El modelo de regresión de la Figura 4 asume una relación de línea recta entre las dos variables con todos los puntos de datos que se encuentran sobre la línea recta; sin embargo, un modelo perfectamente lineal se logra raras veces porque la correlación perfecta es rara en el mundo real. La Figura 10 ilustra la dispersión de los puntos de datos sobre un diagrama de dispersión. A pesar de que los puntos de datos muestran una dispersión, éstos también indican una fuerte tendencia o relación. En otras palabras, conociendo el valor de una de las dos variables, es posible predecir la otra variable con un grado de exactitud relativamente alto. Como se aplica a la presente invención, el conocimiento del valor de la característica del predictor puede producir conocimiento razonablemente preciso del valor de la característica del artículo de predicción. En la práctica, la dispersión entre los puntos de datos se produce por un número de factores. Estas variaciones incluyen el ruido causado por causa común, fluctuaciones de causa común en variables de control, variaciones de causa común en las entradas del proceso y variaciones de causa común en el sistema de medición usado para medir las características de la pieza. La Figura 10 también ilustra dos parámetros que se usan típicamente para

definir el modelo de regresión. Estos son la pendiente de la línea de regresión y la intersección en Y; sin embargo, pueden usarse otros parámetros. La modalidad mostrada en la Figura 10 también ilustra un modelo de regresión lineal. La presente invención, sin embargo, no está limitada al uso de un modelo lineal. Un modelo de regresión no lineal, tal como un modelo multivariado, también puede usarse en combinación con la presente invención.

La Figura 8 ilustra la adición de intervalos de predicción superior e inferior para el modelo de regresión. El área limitada por intervalos de predicción representa el área factible de producción del proceso, en cuanto a lo que se refiere a la característica del eje x y el eje y, cuando se incluye la variación natural y el error de medición. En otras palabras, todas las complejidades del proceso son “eliminadas” puesto que éstas se muestran como el área limitada de producción factible. Las complejidades que son “eliminadas” incluyen interacciones simples de la variable de control del proceso anteriormente mencionadas, interacciones complejas, no linealidades, etcétera.

De esta manera, el análisis de la producción del proceso proporciona una variedad de información útil que facilita el diseño y los procesos de la fabricación. Por ejemplo, la Figura 4, así como otras, también contienen una representación de la intersección entre el objetivo de diseño para la característica del predictor y la característica de predicción. La ubicación de la intersección objetivo proporciona una gran cantidad de información útil a los ingenieros de diseño y operadores del proceso, ya que ésta ilustra que, para la situación ilustrada en la Figura 4, es imposible que se cruce la intersección del objetivo independientemente de cómo se cambian los ajustes de control de proceso.

Para propósitos didácticos, la descripción de las modalidades preferidas principalmente detalla la aplicación de una modalidad de la presente invención para procesos de moldeado por inyección. La presente invención, sin embargo, tiene aplicación a una variedad de procesos de la fabricación, tales como enchapado, maquinaria del semiconductor, mecanizado, y otros procesos en donde el material se agrega, sustrae, o cambia de otra manera en forma o estructura. Además, la presente invención puede aplicarse para ayudar al diseño de un artículo fabricado, el desarrollo de un proceso para fabricar el artículo, y/o la reducción de costos de medición. Aún más, la presente solicitud tiene aplicación a una variedad de artículos, incluyendo artículos únicos o productos, así como artículos proyectados como componentes, elementos o piezas de una combinación. En consecuencia, la descripción de las modalidades preferidas publicadas en el presente documento se refiere a “artículos” y “piezas” intercambiabilmente.

La presente invención también tiene aplicación en evaluar el impacto de fuentes de variación, además de la variación causada en ajustes de control de presión. Virtualmente cualquier fuente de variación, si ésta causa suficiente variación en el valor de característica de la pieza, puede evaluarse. Los ejemplos seleccionados podrían incluir la determinación del efecto de variación de forma-a-forma, determinar el efecto de variación de presión-a-presión para el moldeado por inyección, determinar los efectos temporales, tales como el impacto de efectos estacionales, y evaluación del impacto de diferentes tipos de materias primas o el impacto de compra de cualquier materia prima o componentes de diferentes proveedores.

Además, las modalidades de la presente invención pueden realizarse sin la ayuda de un dispositivo informático, tal como el ordenador personal, para ejecutar varios cálculos matemáticos y estadísticos publicados en el presente documento. Para un pequeño número de características del artículo, es completamente factible realizar todo el análisis y/o gráficos a mano y/o con una hoja de cálculo. En una modalidad preferida, sin embargo, dadas las grandes cantidades de datos y requisitos informáticos, se ejecutan varias operaciones asociadas con la presente invención con un dispositivo informático configurado para ejecutar las operaciones descritas en el presente documento y desplegar los datos resultantes en un despliegue de interfaz de usuario.

B. Arquitectura Ejemplificante del Sistema

La Figura 15 es un diagrama de bloque simplificado que muestra la arquitectura del sistema según una modalidad de la presente invención. La Figura 2 proporciona una arquitectura del sistema que incluye la aplicación de un análisis del proceso 100 y un sistema operativo 130. El sistema de análisis del proceso 100 incluye el módulo de datos de entrada 102, módulo de regresión 104, módulo de correlación 106, módulo de despliegue 108, y módulo de aplicación de interfaz 110. El módulo de datos de entrada 102 sirve para recibir los datos de característica del artículo, así como el formato, y almacena los datos en un formato apropiado para la operación por otros módulos asociados con el sistema de análisis de proceso 100. El módulo de regresión 104 sirve para calcular un modelo de regresión dado un conjunto de entradas. El módulo de correlación 106 sirve para realizar operaciones relacionadas con las correlaciones entre las características del artículo como se describe más completamente a continuación. El módulo de despliegue 108, en una modalidad, sirve para generar visualizaciones gráficas de regresión y/o relaciones de correlación para un conjunto dado de datos, así como otros elementos de datos como se describe a continuación más completamente. El módulo de aplicación de interfaz 110 sirve para coordinar la operación de los otros módulos asociados con el sistema de análisis de proceso 100 basado en los comandos recibidos del usuario.

En una modalidad, la arquitectura del sistema descrito anteriormente opera en conexión con el sistema de hardware informático 800 de la Figura 11. El sistema operativo 130 maneja y controla la operación del sistema 800, incluyendo la entrada y salida de los datos hacia y desde la aplicación del proceso de análisis 100, así como otras aplicaciones de software (no se muestran). El sistema operativo 130 proporciona una interfaz, tal como una interfaz de usuario gráfica (GUI, por sus siglas en inglés), entre el usuario y las aplicaciones de software que se ejecutan en el sistema. Según una modalidad de la presente invención, el sistema operativo 130 es Windows® 95/98/NT/XP, que pone a disposición Microsoft Corporation de Redmond, Wash. Sin embargo, la presente invención puede usarse con otros

sistemas operativos convencionales, tales como el Sistema Operativo de Macintosh Apple, que pone a disposición Apple Computer Inc. de Cupertino, Calif., sistemas operativos UNIX, sistemas operativos LINUX, y similares.

La Fig. 11 ilustra una modalidad de un sistema de hardware informático apropiado para su uso en la presente invención. En la modalidad ilustrada, el sistema de hardware 800 incluye el procesador 802 y la memoria caché (zona de almacenaje de alta velocidad) 804 acoplados entre sí como se muestra. Adicionalmente, el sistema de hardware 800 incluye el bus (grupo de cables para transferencia de información) 806 de entrada/salida (E/S) de alto rendimiento y el bus 808 de E/S estándar. El servidor de enlace 810 acopla el procesador 802 al bus de E/S 806 de alto rendimiento, mientras que el bus de E/S de enlace 812 acopla los dos buses 806 y 808 entre sí. Acoplado al bus 806 está la red/interfaz de comunicación 824, la memoria del sistema 814, y la memoria de vídeo 816. A su vez, el dispositivo de despliegue 818 está acoplado a la memoria de vídeo 816. Acoplado al bus 808 está el almacenamiento masivo 820, el teclado y el dispositivo de señalamiento 822, y los puertos E/S 826. Colectivamente, estos elementos pretenden representar una amplia categoría de sistemas de hardware informáticos, que incluyen pero sin limitarse a éstos, sistemas informáticos de propósito general basado en el procesador Pentium[®] fabricado por Intel Corporation de Santa Clara, Calif., así como cualquier otro procesador apropiado.

Los elementos del sistema de hardware informático 800 ejecutan sus funciones convencionales que se conocen en la técnica. En particular, la red/interfaz de comunicación 824 se usa para proporcionar comunicación entre el sistema 800 y cualquier red de un amplio rango de redes convencionales, tales como Ethernet, anillo con paso de testigo, Internet, etcétera. El almacenamiento masivo 820 se usa para proporcionar el almacenamiento permanente de los datos e instrucciones de programación para ejecutar las funciones descritas anteriormente que se implementaron en el controlador del sistema, mientras que la memoria del sistema 814 se usa para proporcionar el almacenamiento temporal de los datos e instrucciones de programación cuando las ejecuta el procesador 802. Los puertos de E/S 826 son uno o más puertos de comunicación serial y/o paralelo usados para proporcionar comunicación entre dispositivos periféricos adicionales, los cuales pueden acoplarse al sistema de hardware 800.

El sistema de Hardware 800 puede incluir una variedad de arquitecturas del sistema y pueden reconfigurarse varios componentes del sistema de hardware 800. Por ejemplo, el caché 804 puede ser en chip con el procesador 802. Alternativamente el caché 804 y el procesador 802 pueden unirse como un “módulo procesador”, refiriéndose al procesador 802 como el “núcleo del procesador”. Adicionalmente, ciertas implementaciones de la presente invención pueden no requerir ni incluir todos los componentes anteriores. Por ejemplo, los dispositivos periféricos mostrados acoplados con el bus de E/S estándar 808 pueden acoplarse al bus de E/S 806 de alto rendimiento; adicionalmente, en algunas implementaciones solamente un bus individual puede existir con los componentes del sistema de hardware 800 siendo acoplado al bus individual. Además, pueden incluirse componentes adicionales en el sistema 800, tal como procesadores adicionales, dispositivos de almacenamiento, o memorias.

En una modalidad, los elementos de la presente invención están implementados como series de rutinas de software que corren por el sistema de hardware 800 de la Fig. 11. Estas rutinas de software comprenden una pluralidad de series de instrucciones que deben ser ejecutadas por un procesador en un sistema de hardware, tal como el procesador 802. Inicialmente, las series de instrucciones se almacenan en un dispositivo de almacenamiento, tal como el almacenamiento masivo 820. Sin embargo, las series de instrucciones pueden almacenarse en cualquier medio de almacenamiento convencional, tal como un disquete, CD-ROM, ROM, etcétera. Adicionalmente, las series de instrucciones no necesitan ser almacenadas localmente, y podrían recibirse desde un dispositivo de almacenamiento remoto, tal como un servidor sobre una red, por la vía de la red/interfaz de comunicación 824. Las instrucciones se copian desde el dispositivo de almacenamiento, tal como el almacenamiento masivo 820, en la memoria 814 y después se accede a éstas y ejecutan mediante el procesador 802. En una implementación, estas rutinas de software están escritas en el lenguaje de programación C++ y almacenadas, en forma compilada, en el dispositivo de almacenamiento masivo 820. Sin embargo, estas rutinas pueden implementarse en cualquier variedad de una amplia variedad de lenguajes de programación, incluyendo Visual Basic, Java, etcétera. En modalidades alternas, la presente invención se implementa en un hardware discreto o firmware (microprogramas). Por ejemplo, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) podría programarse con las funciones descritas anteriormente de la presente invención.

II. Operación de Modalidades Ejemplificantes

55 A. Generación de un Conjunto de Artículos que tienen Rango de Variación en una Pluralidad de Características de Artículo

Como se describió anteriormente, la presente invención evalúa la relación entre las características del artículo asociadas con un conjunto de artículos que tienen un rango de variación en lo que se refiere a las características del artículo. Según una modalidad de la presente invención, el usuario genera un conjunto de piezas que tienen un rango de variación en lo que se refiere a la pluralidad de características del artículo según un proceso dado. Por ejemplo, el usuario puede instalar una herramienta de moldeado por inyección en una máquina de moldeado por inyección y producir un conjunto de artículos. El conjunto de artículos, o una muestra de los mismos, son entonces medidos o examinados de otra manera o evaluados en lo que se refiere a las características de interés. El conjunto de datos resultante entonces se registra (por ejemplo, tal como en una tabla de hoja de cálculo Excel) y se usa para el siguiente análisis.

Puede medirse y analizarse una variedad de características del artículo. Por ejemplo, las características de artículo medidas o determinadas de otra manera pueden incluir las dimensiones del artículo (por ejemplo, longitud, altura,

anchura, circunferencia, diámetro total, etcétera, del artículo o una característica dada del artículo), dureza, porosidad, inclinación, tersura, características de espacio (si existen espacios y su número), color, resistencia, peso, y cualquier otra característica del artículo, incluyendo características de rendimiento, tales como el patrón de rocío de una boquilla o el índice de flujo a través de un restrictor hidráulico.

Como se discutió anteriormente, la presente invención puede aplicarse a un conjunto de artículos en donde la variación de las características del artículo ocurre naturalmente o se induce variando las variables de control del proceso asociadas con el proceso que crea el artículo. Cuando los artículos se producen con ajustes de control de proceso sin cambios, existe típicamente poca variación natural en las características del artículo resultante. Esto es particularmente verdadero para piezas plásticas moldeadas por inyección. La medición de error puede oscurecer o de otra manera rendir variación natural no confiable observada a partir de un conjunto de artículos dados. Si no es rentable usar instrumentos de medición precisos, entonces la variación debería inducirse en las piezas variando los ajustes del proceso. En consecuencia, en una modalidad preferida, la variación del artículo se induce cuando el error de medición es grande comparado con la variación natural de la pieza.

A.1. Inducción de Variación

La variación del artículo puede inducirse seleccionando y variando ajustes de presión en base a la experiencia del operador. Esto es, el operador puede usar su experiencia para determinar los ajustes del proceso que cambia para inducir la variación en las piezas. Para inducir variación en una forma preferida, el operador varía los ajustes del proceso durante el proceso de maquinaria y permite que el proceso llegue al equilibrio entre cambios de ajustes antes de seleccionar las piezas para la medición. Además, el operador, en una modalidad preferida del procedimiento, selecciona el conjunto o subconjunto de ajustes del proceso que incluyen la variabilidad más grande en las características de interés del artículo. En una modalidad preferida, los límites superior e inferior para los ajustes del proceso se eligen tal que el proceso produce piezas sin dañar el aparato del proceso o mecanización. Además, en una forma preferida, la magnitud de los cambios en los ajustes del proceso se elige para inducir la variación a través del rango completo entre los límites de especificación superior e inferior de la característica del artículo para cada una de las características del artículo de interés.

En lo que se refiere a procesos de moldeo por inyección, la variación de pieza, en una modalidad, también puede inducirse seleccionando y variando los ajustes de control del proceso usando técnicas de moldeo científico/desacoplado. Las técnicas de moldeo científico/desacoplado proporcionan un procedimiento para reducir el gran número de ajustes de presión a tres o cuatro variables significantes. Adicionalmente, las técnicas de moldeo científico/desacoplado pueden usarse en combinación con la experiencia del operador de presión de molde para determinar qué ajustes de presión deberían variarse. En una modalidad preferida, el conjunto de artículos producidos comprenden artículos de un número adecuado de repeticiones en cada conjunto de variables de control del proceso.

En una modalidad preferida, la metodología de Diseño de Experimentos (DOE) se emplea para generar un conjunto de artículos que tienen un rango de variación. DOE puede usarse sin tener en cuenta si la determinación de los ajustes del proceso que deben variarse se hace usando la experiencia del operador, principios de moldeo desacoplado/científico, o alguna combinación de los mismos. DOE define planes experimentales eficientes que permiten la extracción de la cantidad máxima de información por un esfuerzo experimental relativamente pequeño. Una vez que se ha determinado qué ajustes de presión deben cambiarse, DOE define planes experimentales eficientes que permiten la extracción de la máxima cantidad de información por un esfuerzo experimental relativamente pequeño. Esto se aplica a ambos el diseño del experimento (por ejemplo, combinaciones de ajustes del proceso, y el número de réplicas en cada combinación, etcétera) y al análisis de datos. Puede usarse una amplia variedad de técnicas conocidas DOE y herramientas de software disponible para diseñar el proceso experimental que induce la variación de la pieza.

Como se discute más detalladamente a continuación, el uso de DOE para producir un conjunto de artículos para el análisis proporciona información "de bonificación" que puede usarse, después del análisis según la presente invención, para transferir un artículo de producción dado más cercano al objetivo y reducir la variación en los artículos. Por ejemplo, tal información permite que el operador reajuste los ajustes de presión para lograr lo siguiente durante la producción: 1) transferir la producción del producto al objetivo, y/o 2) minimizar la variación del producto, y/o 3) minimizar el costo, y/o 4) minimizar el tiempo del ciclo de presión.

A.2. Recibir los Valores de la Característica del Artículo

En una modalidad, la presente invención se implementa por un dispositivo informático (tal como un ordenador de propósito especial o de propósito general) configurado para ejecutar la función descrita en el presente documento. Después de que se produzca un conjunto dado de artículos y se midan las características del artículo, en una forma preferida, un dispositivo informático configurado apropiadamente, que ejecuta un módulo de entrada de datos 102, recibe los valores de la característica del artículo asociados con el conjunto de artículos y los almacena en la memoria.

La Figura 9 muestra una interfaz de usuario gráfica proporcionada por una modalidad de la presente invención que permite al usuario ingresar un conjunto de valores de característica del artículo. Como la Figura 9 ilustra, una modalidad de la presente invención permite que el usuario abra una base de datos de entrada y manualmente proporcione el conjunto de características del artículo en la tabla. Una modalidad, sin embargo, permite que el usuario importe datos del valor de característica del artículo almacenado en varios formatos de archivo, tales como en una tabla de hoja

de cálculo Excel®, o cualquier otro formato de archivo apropiado. En una forma, el módulo de entrada de datos 102 sirve adicionalmente para validar el conjunto de datos, tales como verificar celdas en blanco y otros procedimientos de validación.

Además, como se discute a continuación, el módulo de datos de entrada 102 sirve para recibir otros datos asociados con la operación de modalidades de la invención. Por ejemplo, el módulo de datos de entrada 102 sirve para recibir valores de objetivo, así como límites de especificación superior e inferior, para todos o un subconjunto de características del artículo. En una modalidad, tales datos se usan para proporcionar a los usuarios la habilidad para evaluar la relación entre el proceso de producción y las especificaciones de diseño de un conjunto de entradas del proceso dado.

B. Evaluación de la Relación entre las Características del Artículo

Para permitir la evaluación de la relación entre características del artículo asociadas con un conjunto de artículos, la aplicación de análisis del proceso 100, en una implementación, genera un conjunto de diagramas de dispersión cada uno basado en un par de características del artículo. Véase la Figura 10. El conjunto de diagramas de dispersión puede representar todas las combinaciones posibles de características del artículo, o éste puede consistir en un subconjunto de todas las combinaciones posibles.

En una modalidad, el módulo de despliegue 108 genera visualizaciones gráficas incluyendo diagramas de dispersión para la presentación en el dispositivo de despliegue 818 para permitir que el usuario visualmente evalúe el grado de correlación entre las características del artículo. Véase la Figura 10. En una forma, la interfaz de usuario gráfica presentada en el dispositivo de despliegue 818 permite que el usuario seleccione, usando el teclado y el dispositivo de señalamiento 822, la primera característica del artículo para el eje x y ver sucesivamente los diagramas de dispersión basados en la primera característica del artículo y las características del artículo restantes en el eje y. El usuario puede usar la información recabada a partir de su inspección visual para evaluar la capacidad de que la primera característica sea un predictor adecuado de las características del artículo restantes (véase a continuación).

B1. Determinación de los Modelos de Regresión Entre las Características del Artículo

El sistema de análisis del proceso 100 también incluye el módulo de regresión 104 operativo para determinar el modelo de regresión entre las características del artículo seleccionado. Como se discutió anteriormente, el módulo de despliegue 108 sirve para generar una visualización gráfica de los modelos de regresión y presentarlos sobre el dispositivo de despliegue 818. Véase la Figura 10. Como la Figura 10 muestra, el modelo de regresión puede mostrarse en un gráfico y visualizarse con (u opcionalmente sin) los puntos de datos subyacentes. En una modalidad preferida, el módulo de regresión 104 calcula modelos de regresión usando procedimientos de ajuste de curvas por “mínimos cuadrados”. Sin embargo, también pueden usarse otros procedimientos. A pesar de que varias figuras muestran un modelo de regresión lineal, el modelo de regresión puede ser un modelo lineal, no lineal (polinomio de orden mayor) o multivariado.

La visualización de la relación entre dos características del artículo, de esta manera, proporciona información útil a los operadores del proceso, los ingenieros de diseño y otros asociados con el diseño y la maquinaria del artículo. La pendiente (inclinación) de la línea de regresión puede usarse para determinar la sensibilidad relativa de las características del artículo a cambios en los ajustes del proceso. Adicionalmente, la pendiente (inclinación) de la línea de regresión puede usarse para identificar las características del artículo que serán más restrictivas en (más sensibles a) el rango permisible de ajustes del proceso cuando se consideran los límites de especificación (véase a continuación).

B.1.a Ubicación de la Intersección Objetivo

Como se discutió anteriormente, el diseño del artículo generalmente produce un valor objetivo, así como, límites de especificación superior e inferior para cada característica del artículo (o al menos las características críticas del artículo). De una forma, el sistema de análisis del proceso 100 sirve para determinar la intersección de los valores objetivos para un par de características del artículo relativo al modelo de regresión correspondiente. La Figura 4 ilustra una visualización del modelo de regresión ejemplificante incluyendo la intersección objetivo ubicada relativa al modelo de regresión asociado con la primera (predictor, véase a continuación) característica y la segunda característica del artículo.

Como ilustra la Figura 4, la ubicación de la intersección objetivo permite una determinación visual y/o analítica de la dirección y magnitud que la línea de regresión está desfasada desde la intersección objetivo para cada característica del artículo. Además, cuando el modelo de regresión representa esencialmente todas las combinaciones posibles de ajustes del proceso (esto es, sin cambiar la entrada del proceso, tal como cambiar las dimensiones de una cavidad del molde), el diagrama resultante permite determinar si la producción de una pieza que tiene un par dado de características del artículo en valor objetivo es factible.

Además, como las Figuras 5 y 6 ilustran, la información proporcionada por la Figura 4 facilita el proceso de cambiar un aspecto del proceso (por ejemplo, entradas del proceso o ajustes de control) para desplazar la producción más cerca al diseño objetivo. Por ejemplo, como la Figura 5 ilustra, el operador puede cambiar la combinación de ajustes de control del proceso para desplazar la posición de operación de acoplamiento más cercana al punto deseado a lo largo del modelo de regresión. En una modalidad de la presente invención, los ajustes de control del proceso

pueden cambiarse para optimizar las posiciones de operación de acoplamiento de más de dos características de la pieza. En adición, cambiando las entradas del proceso, la línea de regresión puede desplazarse a una posición más cercana a la intersección objetivo o desplazarse hacia una posición tal que la que la línea de regresión pase a través de la intersección objetivo. Véase la Figura 6. En una modalidad de la presente invención, las entradas del proceso pueden cambiarse para optimizar la posición de más de una línea de regresión. Por último, como la Figura 7 proporciona, los cambios en ambos ajustes de control de proceso y entradas del proceso pueden usarse para desplazar los valores de característica de la pieza más cerca de la intersección objetivo. En una modalidad de la presente invención, los cambios en ambos ajustes de control de proceso y entradas de proceso pueden cambiarse para optimizar más de dos valores de característica de la pieza.

En una modalidad, una Tabla de Desfasamiento se crea en base a la distancia de la línea de regresión desde (desfasamiento desde) la intersección objetivo para cada característica del artículo. El desfasamiento se presenta en tres formatos: en la dirección X, la dirección Y y la dirección perpendicular a la línea de regresión.

B.1.b. Límites de Especificación

El sistema de análisis del proceso 100 también se configura para ubicar los límites de especificación superior e inferior para la característica del artículo del eje Y relativa al modelo de regresión entre la característica del artículo del eje Y y la característica del artículo del eje X. Véase la Figura 12. Ésta representación gráfica permite la capacidad de determinar si alguna característica del artículo del eje Y es robusta contra cambios en variables del proceso. En tales casos, la línea de regresión generalmente tendrá una pendiente pequeña y/o no se cruza con los límites de especificación del eje Y superior o inferior.

Además, el sistema de análisis del proceso 100 también sirve para ubicar los límites de especificación superior e inferior para las características del artículo del eje X relativo al modelo de regresión. Esta representación permite determinar si la línea de regresión pasa a través de la región limitada aceptable por los cuatro límites de especificación. En otras palabras, esta representación permite la determinación en lo que se refiere a si es aún posible, dado el proceso actual y entradas del proceso, fabricar las piezas dentro de los límites de especificación. Además, ubicando los límites de especificación relativo al modelo de regresión permite la determinación de los valores máximos y mínimos (y, por lo tanto, el rango) para la característica del eje X que producirá artículos en donde la característica del eje Y esté dentro de los límites de la especificación. Esta determinación del rango permite al fabricante, por ejemplo, determinar si la pieza cumple con los límites de especificación para las características de los ejes X y Y solamente midiendo la característica del eje X. Para calcular la característica del artículo del eje X mínima, el sistema de análisis de proceso 100 calcula el valor de la característica del artículo del eje X a la cual el modelo de regresión se cruza con el límite de especificación inferior para la característica del eje Y. de forma similar, para calcular la característica del artículo del eje X máxima el sistema de análisis del proceso 100 calcula el valor de la característica del eje X a la cual el modelo de regresión se cruza con el límite de especificación superior para la característica del eje Y. En cualquier caso, la característica del eje X puede no ser mayor que el límite de especificación superior para X y también puede no ser menor que el límite de especificación inferior para X.

B.1.c. Intervalos de Predicción

Como muestra la Figura 8, el sistema de análisis del proceso 100 también puede agregar intervalos de predicción superior e inferior al diagrama del modelo de regresión para permitir la determinación de la magnitud de la variabilidad del modelo de regresión. En una modalidad, el módulo de regresión 104 sirve adicionalmente para calcular los intervalos de predicción superior e inferior en base al conjunto de pares de valor de la característica del artículo usando los procedimientos estadísticos conocidos. Como ilustra la Figura 8, ubicar los intervalos de predicción también permite la evaluación de la variabilidad relativa a la intersección objetivo. Por ejemplo, la intersección objetivo puede encontrarse fuera de los intervalos de predicción sobre cualquier lado alto o bajo. En este caso, es virtualmente imposible obtener la intersección objetivo dadas las mismas entradas del proceso. Por ejemplo, asumiendo que la Figura 8 modela la relación entre dos características de artículo resultantes a partir del proceso de moldeado por inyección, ubicar la intersección objetivo revela que el uso del molde, en su estado actual, no obtendrá una pieza en el objetivo en lo que se refiera a las dos características de artículo. Adicionalmente, cuando la intersección objetivo se encuentra dentro de los intervalos de predicción, el porcentaje de piezas en donde la característica del artículo es mayor que el objetivo y menos que el objetivo puede determinarse a través del uso de técnicas estadísticas conocidas.

Además, los intervalos de predicción también pueden usarse en la determinación de los valores mínimo y máximo para la característica del eje X (véase la Sección II.B.1.b., *supra*). Como la figura 13 ilustra, para calcular la característica del artículo del eje X mínimo, el sistema de análisis del proceso 100 calcula el valor de la característica del artículo del eje X en la cual el intervalo de predicción inferior se cruza con el límite de especificación para la característica del eje Y. De forma similar, para calcular la característica del artículo del eje X máxima, el sistema de análisis del proceso 100 calcula el valor de la característica del eje X al cual el intervalo de predicción superior se cruza con el límite de especificación superior para la característica del eje Y. En cualquier caso, la característica del eje X puede ser no menor que su límite de especificación inferior y no mayor que su límite de especificación superior.

Una modalidad de la presente invención permite al usuario determinar la magnitud de los intervalos de predicción ingresando el porcentaje del área en la distribución que el usuario quiere incluir entre los intervalos de predicción.

B.2. Características del Predictor

Una modalidad de la presente invención aplica un análisis de correlación y regresión para determinar las características del predictor en los procesos de maquinaria. En una modalidad, la característica del predictor se selecciona de la pluralidad de características del artículo asociadas con la pieza y usada como la característica individual del eje X. Como se discute más detalladamente a continuación, la característica del predictor se elige en base a la evaluación de la capacidad de la característica del artículo dada para ser predictor de otras características del artículo. La selección de la característica del predictor, por lo tanto, reduce el número de combinaciones de la característica del artículo que debe analizarse a un subconjunto relativamente pequeño. Por ejemplo, la pieza que tiene 31 características de artículo debería requerir un análisis de más de 900 relaciones entre las características del artículo. La selección de la característica del predictor reduce ésta a 30 combinaciones. Además, la selección de la característica del predictor puede usarse en una variedad de formas para facilitar el diseño, producción, y tareas de mediciones asociadas con la maquinaria. Por ejemplo, la característica del predictor puede usarse para reducir enormemente el tiempo y costo asociado con la medición de piezas, ya que solamente la característica del predictor necesita medirse durante la producción para determinar si todas las otras características del artículo están dentro de la especificación.

La Figura 16 ilustra un procedimiento que involucra la selección de la característica del predictor según una modalidad de la presente invención. Como se discutió anteriormente, el módulo de datos de entrada 102 sirve para recibir y almacenar datos de la característica del artículo asociados con un conjunto de artículos (por ejemplo, valores de características de artículo y objetivos de diseño/límites de especificación paso 202). En una modalidad, el módulo de correlación 106, como se discute más detalladamente a continuación, sirve para ejecutar cálculos (por ejemplo, tales como la determinación de coeficientes de correlación entre todas las combinaciones de características de artículo, cálculo de capacidad global predictiva de cada una de las características del artículo, etcétera) para clasificar las características del artículo según sus capacidades predictivas relativas. En una modalidad, el módulo de despliegue 108 muestra la lista de clasificación de características del artículo y permite la selección de la característica del artículo como la característica del predictor (véase el paso 204). Como se discute a continuación, el usuario puede elegir la característica del predictor en base al número de consideraciones que incluye la capacidad predictiva relativa, factibilidad/costo de medición de la característica del artículo, etcétera. Aún adicionalmente, la selección de la característica del predictor puede basarse en otros procedimientos (véase a continuación).

Con la característica del predictor seleccionada, el módulo de aplicación de interfase 110 dirige el módulo de regresión 104 para determinar el modelo de regresión entre la característica del predictor (en una modalidad, como la característica del eje x) y todas o un subconjunto de las características del artículo restantes (véanse los pasos 206, 208, 210 y 211). Cuando es completo, se solicita al usuario seleccionar la característica del artículo de predicción (paso 212). El módulo de despliegue 108, en una modalidad, en base a la ecuación que define el modelo de regresión, genera una visualización gráfica del modelo de regresión entre la característica del predictor y la característica de predicción seleccionada (paso 214).

Además del modelo de regresión, el módulo de despliegue 108 sirve adicionalmente para agregar características adicionales a la representación gráfica presentada a los usuarios. La Figura 17 ilustra el procedimiento para generar la representación gráfica ilustrando la relación entre la característica del predictor y la característica de predicción con características adicionales discutidas anteriormente. El módulo de despliegue 108 recupera el modelo de regresión entre la característica de predicción seleccionada y la característica del predictor (paso 302). Como la Figura 17 muestra, el módulo de despliegue 108 también puede ubicar la intersección de los valores objetivos asociados con el predictor y las características de predicción relativas al modelo de regresión (paso 304) (véase la Sección II.B.1.a., *supra*). El módulo de despliegue 108 también puede ubicar los intervalos de predicciones asociadas con el modelo de regresión en la visualización (paso 306) (véase la sección II.B.1.c., *supra*). Aún adicionalmente, el módulo de despliegue 108 puede ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con la característica de predicción (paso 308), así como los límites de especificación superior e inferior asociados con la característica del predictor (paso 310). Véase la sección II.B.1.b., *supra*. El módulo de despliegue 108 también puede ilustrar gráficamente los valores límite mínimo y máximo para la característica de predicción en base a los límites de especificación y, opcionalmente, los intervalos de predicción (paso 312). Véanse las secciones II.B.1.b. y II.B.c., *supra*.

Es posible una variedad de visualizaciones de interfaz. Por ejemplo, puede mostrarse al usuario la ecuación que define el modelo de regresión. Además, pueden mostrarse al usuario los valores de característica del predictor máximo y mínimo, así como, cualquier otro dato asociado con las características del artículo y/o la relación entre éstos. En una modalidad, la interfaz de usuario gráfica presentada por el dispositivo de despliegue 818 permite que el usuario seleccione qué elemento gráfico anterior se muestra.

B.2.a. Selección de Características del Predictor

La característica del predictor puede seleccionarse usando cualquier enfoque el heurístico o con base estadística. Además, la selección de la característica del predictor puede basarse en la evaluación visual de las correlaciones entre las características del artículo o la evaluación basada en un proceso analítico.

B.2.a.1. *Selección Gráfica*

En una modalidad, el usuario puede usar los diagramas de dispersión para evaluar visualmente el grado de correlación, teniendo importancia para la estimación visual del coeficiente de correlación para cada diagrama de dispersión. Cuanto más se aproxime el límite o perímetro alrededor de los puntos de datos a una línea recta, el coeficiente de correlación será más alto. La excepción a esta regla es para situaciones en donde la línea de regresión es horizontal, o cercana a esto. Véase la sección II.B., *supra*. El usuario puede evaluar los diagramas de dispersión de todas las combinaciones posibles de características del artículo. Sin embargo, en otra modalidad, el número de diagramas de dispersión usados se podría reducir considerablemente eligiendo una característica del artículo para actuar como la variable base. Usando la variable base como la variable del eje X, el diagrama de dispersión podría entonces crearse para cada característica restante del artículo, las cuales podrían mostrarse en un gráfico en el eje Y. La elección de la característica del artículo “base” (equivalente al predictor) puede basarse en observar la “dispersión” de los datos, o puede elegirse aleatoriamente. Mientras que la evaluación visual puede ser práctica si está involucrado un número pequeño de características del artículo, los números mayores de características del artículo, resultando en combinaciones de miles, requieren (al menos para propósitos prácticos) el uso de un dispositivo informático para seleccionar analíticamente la característica del predictor.

B.2.a.2. *Selección Analítica de la Característica del Predictor*

Para facilitar la selección de la característica del predictor, en una modalidad, el módulo de correlación 108 calcula los coeficientes de correlación entre todos o un subconjunto de características del artículo; determina, en base a los coeficientes de correlación calculados, el valor indicando la capacidad predictiva de la primera característica del artículo relativa a todas las demás características del artículo; y repite este proceso para todas o un subconjunto de características del artículo. La Figura 18 proporciona el procedimiento que muestra el flujo del proceso asociado con la selección la característica del predictor. Como muestra la Figura 18, el módulo de correlación 106, como se describe más completamente a continuación, calcula los coeficientes de correlación entre todas o un subconjunto seleccionado de características del artículo (en base a un conjunto de valores de características del artículo, véase la Figura 19, Sección A) y propaga una tabla del coeficiente de correlación (Figura 19, Sección B) (paso 402). El módulo de correlación 106 calcula entonces un valor indicando la capacidad predictiva relativa de cada característica de artículo (paso 404). En una modalidad, este valor es el promedio de los valores absolutos de los coeficientes de correlación para la característica del artículo dado (véase la Figura 19, Sección C). Por supuesto, pueden usarse otros procedimientos para calcular este valor, tal como calcular el promedio sin valores absolutos, calcular el promedio pesado, etcétera.

El módulo de correlación 106 entonces clasifica las características del artículo de acuerdo con los valores calculados en el paso 404 (paso 406). El módulo de despliegue 108 entonces muestra la lista clasificada en el dispositivo de despliegue 818 para permitir que el usuario seleccione la característica del predictor en base, al menos en parte, a las capacidades predictivas de las características del artículo (paso 408). Según una modalidad, el usuario hace su elección (paso 410), lo que causa que el módulo de aplicación de interfaz 110 dirija el módulo de regresión 104 para calcular los modelos de regresión entre la característica del predictor seleccionado y las características del artículo restantes (de predicción) (véase arriba).

La tabla del coeficiente de correlación puede propagarse usando cualquier proceso apropiado o técnica. Sin embargo, en una modalidad preferida, el módulo de correlación 106 ejecuta la metodología descrita a continuación.

B.2.a.3. *Propagación de la Tabla del Coeficiente de Correlación*

De acuerdo con la práctica de la industria estándar, los datos para la característica de artículo individual (por ejemplo, una dimensión) se disponen verticalmente en la columna. Así, cada columna almacena los datos para una y solamente una característica de artículo. El arreglo de datos de medición resultante, por lo tanto, tendrá tantas columnas como características del artículo. Más frecuentemente, los datos se almacenan en una hoja de cálculo Excel o en cualquier otro formato de archivo apropiado.

Con esta convención, entonces, cada columna representa una característica de artículo diferente. Cada fila representa los datos de la característica del artículo (características del artículo múltiples) para una pieza individual. En el caso de moldeado por inyección, cada fila almacena los datos asociados con un ciclo de operación de presión individual. Si el molde es un molde de cavidad individual, cada fila contendrá los datos de medición para una pieza individual. Sin embargo, si el molde es un molde de 4 cavidades, cada fila almacena los datos de medición para las cuatro piezas producidas durante un ciclo de máquina. Típicamente, las mismas características del artículo se miden para cada pieza en un molde de cavidad múltiple; sin embargo, no existe ninguna restricción que requiera esto.

En una modalidad, el módulo de correlación 106 incluye la función para determinar los coeficientes de correlación (de acuerdo con los procedimientos estadísticos estándar) entre todas las características del artículo, calcula el valor indicativo de la capacidad predictiva de cada característica del artículo, y clasifica las características del artículo de acuerdo con sus capacidades predictivas relativas.

La Figura 20 ilustra un procedimiento para propagar la tabla del coeficiente de correlación discutida anteriormente. Como se muestra en la Figura 20, en una modalidad, el módulo de correlación 106 inicia la tabla del coeficiente de correlación (paso 502) y las variables asociadas con los parámetros de la celda de la tabla (A,B) (paso 504) y

las características del artículo (véanse los pasos 506 y 508). Para propósitos didácticos, asuma que el módulo de correlación 106 opera en los valores de característica del artículo de la Figura 19, Sección A. En una modalidad, el módulo de correlación 106 calcula el coeficiente de correlación entre la primera característica del artículo ($X=1$) y la segunda característica del artículo ($Y=2$) en base a los valores de la característica del artículo en las columnas correspondientes (paso 510). El módulo de correlación 106 entonces almacena el coeficiente de correlación calculado (en el ejemplo 0.999232) en la esquina superior a mano izquierda de la tabla ($A=1$, $B=1$) (paso 512). El módulo de correlación 106 entonces calcula los coeficientes de correlación entre el primer coeficiente del artículo ($X=1$) y los coeficientes restantes (Y), incrementando la posición de la fila (B) con cada cálculo sucesivo y almacenamiento (véanse los pasos 514, 516 y 518).

Después de que el módulo de correlación 106 alcanza la última característica del artículo restante (paso 514) éste carga los coeficientes de correlación calculados en la primer columna ($A=1$), transfiere la columna en fila, desplaza la fila por una relativa a la tabla del coeficiente de correlación y almacena los datos en las celdas apropiadas de la tabla (paso 518). El módulo de correlación 106 entonces incrementa la posición de la celda de columna ($A=2$) y los identificadores de la característica del artículo ($X=2$) (paso 522), ($Y=3$) (paso 508) y ajusta la posición de la celda de la fila igual a la posición de la columna ($B=2$) (paso 524). El módulo de correlación 106 entonces calcula el coeficiente de correlación entre la segunda característica del artículo ($X=2$) y la tercera característica del artículo ($Y=3$; paso 508) (paso 510) y almacena ésta en la celda apropiada ($A=2$, $B=2$) (paso 512). El módulo de correlación 106 repite este procedimiento hasta que se ha calculado y almacenado el coeficiente de correlación entre el segundo al último valor de característica del artículo y el último valor de la característica del artículo (véase el paso 520). Como ilustra la Figura 19, las columnas resultantes de coeficientes de correlación, cada columna correspondiente a la característica del artículo, permite el cálculo relativamente sencillo del valor (por ejemplo, el promedio) indicando las capacidades predictivas de las características del artículo (véase la Figura 19, sección C).

Como es evidente a partir de la descripción proporcionada anteriormente, el proceso de propagar la tabla de coeficientes de correlación logra una reducción del 50% en el número de coeficientes de correlación que deben calcularse, porque para cada correlación XY , existe una correlación correspondiente YX . También es evidente que la notación compacta de la tabla del coeficiente de correlación facilita enormemente la programación de la subrutina que propaga la tabla. Si los cálculos fueran hechos con sólo dos correlaciones en cada fila (XY y YX), habría más de 600 filas para 50 características de la pieza.

El procedimiento precedente para propagar la tabla del coeficiente de correlación es una modalidad del algoritmo de propagación/compresión de la tabla. Como se mencionó previamente, para mantener la convención usual y habitual consistente con los estándares de la industria, los datos para la característica del artículo individual se disponen verticalmente en una columna. Los procedimientos descritos en el presente documento podrían funcionar igualmente bien si los datos para la característica del artículo individual se dispusieran horizontalmente en una fila y el algoritmo se adaptara a esa estructura de datos. En este caso, el coeficiente de correlación promedio podría calcularse para tomar el promedio de la fila de coeficientes de correlación en lugar de la columna.

B.2.a.4 Modalidad Alternativa

En una modalidad, el usuario puede usar la funcionalidad discutida anteriormente para completar la selección de la característica del predictor y ver los diagramas de dispersión con la característica del predictor como la variable del eje x e incluir los límites de especificación, y opcionalmente los intervalos de predicción. En base a tales diagramas de dispersión, el usuario puede seleccionar las características de predicción que son robustas (insensibles a cambios en los ajustes del proceso) y eliminar tales características del artículo a partir del conjunto de datos para eliminar el “ruido”. Esta selección puede también llevarse a cabo analíticamente en base a la pendiente e intersección Y del modelo de regresión, la ubicación y pendiente de los intervalos de predicción y el valor de los límites de especificación superior e inferior para las variables del eje x y del eje y . En una manera, tales características del artículo tienen intervalos de predicción que no se cruzan con los límites de especificación de la característica del artículo de predicción. En este contexto, éstos constituyen “ruido” en la selección de la característica del predictor. El usuario entonces corre una vez más la selección del mejor predictor en base al conjunto de datos revisado (reducido).

B.2.b. Valores Mínimo y Máximo para la Característica del Predictor

Para facilitar el entendimiento de una modalidad de la presente invención, es útil considerar una situación simple en donde existen solamente dos características del artículo de interés. Una de las características del artículo se selecciona como la característica del predictor usando los procedimientos descritos anteriormente. El modelo de regresión establece la relación entre la característica del predictor y el artículo restante o característica de predicción. Esta situación se ilustra en la Figura 12. La intersección del modelo de regresión con los límites de especificación superior e inferior de la característica de predicción (Y) determina los valores de la característica del predictor (X) sobre la cual la característica de predicción no reúne la especificación. Véase la Sección II.B.1.b., *supra*. La intersección entre el modelo de regresión y el límite de especificación superior para Y está definida como P -max. Véase la Figura 12. La intersección entre el modelo de regresión y el límite de especificación inferior para Y se define como P -min. Puede verse fácilmente que mientras la característica del predictor (X) está entre los valores P -min y P -max, entonces la característica de predicción debe estar dentro de los límites de especificación. Para este modelo de regresión, donde existe correlación perfecta entre la característica del predictor y la característica de predicción, puede decirse definitivamente que si la característica del predictor es mayor que P -max o menor que P -min, entonces la característica de

predicción estará fuera de sus límites de especificación. Otra forma de expresar esto es definir la distancia entre P-min y P-max como P-rango. Puede entonces decirse que mientras la característica del predictor está dentro del P-rango, entonces la característica de predicción estará dentro de la especificación.

Debido a que el modelo de regresión raramente tiene un grado perfecto de correlación, existe incertidumbre en usar la característica de la pieza para predecir la otra. Los intervalos de predicción asociados con el modelo de regresión colocan límites en la incertidumbre asociada con la predicción de una característica de la pieza dando un valor para la otra característica de la pieza. La Figura 13 ilustra el uso de intervalos de predicción asociados con el modelo de regresión para quitar el efecto de tales incertidumbres. Como muestra la Figura 13, se muestran dos líneas ubicadas en la vecindad de y aproximadamente paralelas a la línea de regresión. Estas líneas son los intervalos de predicción superior e inferior que más o menos limitan los puntos de datos alrededor de la línea de regresión. Para propósitos didácticos, los intervalos de predicción superior e inferior se muestran como líneas rectas; en la práctica, sin embargo, éstas son generalmente curvilíneas. Como proporciona la Figura 13, debido a la dispersión de los puntos de datos, el máximo rango permisible para la característica del predictor está más restringido. Específicamente, la característica del predictor puede ser no mayor que el valor asociado con la intersección del intervalo superior de predicción y el límite superior de especificación para la característica de predicción, o el límite de especificación superior para la característica del predictor (cualquiera que sea más pequeña). En manera similar, la característica del predictor no puede ser más pequeña que el valor asociado con la intersección del intervalo de predicción inferior y el límite de especificación inferior para la característica de predicción, o el límite de especificación inferior para la característica del predictor (cualquiera que sea mayor). En otras palabras, P-max es el límite de especificación superior más restringido (más pequeño) para la característica del predictor y la intersección del intervalo de predicción superior con el límite de especificación superior para la característica de predicción. Similarmente, P-min es el límite de especificación inferior más restringido (mayor) para la característica del predictor o la intersección del intervalo de predicción inferior con el límite de especificación inferior para la característica de predicción. Mientras que la característica del predictor está entre P-min y P-max, la característica de predicción estará dentro de sus límites de especificación. En una modalidad, puede ser una materia de juicio en lo que se refiere a que tan “anchos” deberían ser los intervalos de predicción. En una modalidad, la aplicación de análisis del proceso 100 usa parámetros “anchos” típicos como ajustes por omisión. Sin embargo, el usuario tiene la opción de definir estos ajustes por omisión.

B.2.c. Tabla de Restricción para la Característica del Predictor

Como se discutió previamente, la discusión anterior en la sección II.B.2.b., *supra*, involucra una situación simplificada que implica solamente dos características del artículo. En la práctica actual, una pieza dada tienen un gran número de características del artículo de interés. En una modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 es adicionalmente operativo para crear una Tabla de Restricciones. La Tabla de Restricciones contiene, para cada característica del artículo de predicción, los valores mínimo (P-min) y máximo (P-max) para la característica del predictor como se determinó anteriormente (véase las Secciones II.B.1.b y c., II.B.2.b., *supra*).

A partir de la Tabla de Restricciones (véase la Figura 22), los valores más restringidos mínimo (P-min*) y máximo (P-max*) pueden determinarse para la característica del predictor. Véase la Figura 14. Esto es, el valor mínimo (P-min*) más restringido es el valor mínimo (P-min) más grande en la Tabla de Restricciones, mientras que el valor máximo más restringido (P-max*) es el valor máximo (P-max) más pequeño en la Tabla de Restricciones. La Figura 22 ilustra una Tabla de Restricciones según una modalidad de la presente invención, en donde “ninguno” significa que el límite de especificación superior o inferior para la característica del predictor es el valor más restringido en lo que se refiera a la característica del artículo correspondiente. En consecuencia, con la identificación de estos valores máximos (P-max*) y mínimo (P-min)* más restringidos, el fabricante puede estar confiado en que mientras la característica del predictor se encuentre entre éstos, las características de predicción restantes estarán dentro de los límites de especificación.

Como se describe más completamente a continuación, el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, sirve, para cada característica del artículo de predicción, para 1) determinar si existe el potencial para defectos; 2) determinar si la característica del artículo de predicción es robusta; y 3) si ninguna relación 1) ni 2) está presente, determina los valores permisibles de máximo y mínimo (Pmax y Pmin, respectivamente) para la característica de predicción. En términos gráficos y varios términos informáticos, el sistema de análisis del proceso 100 ubica, relativo al modelo de regresión (y el área que ésta define) entre la característica del predictor y la característica del artículo de predicción, un área de cumplimiento que consiste en el área limitada por los límites de especificación superior e inferior tanto para la característica del artículo de predicción como para la característica del predictor (véase la Figura 33A). El sistema de análisis del proceso 100 entonces identifica el área de regresión limitada, la cual es el área limitada por los límites de predicción superior e inferior del modelo de regresión y los límites de especificación superior e inferior para la característica del predictor. Como la Figura 33B ilustra, el área de regresión es la región limitada por el modelo de regresión, incluyendo los intervalos de predicción 252 y 254, entre la característica del predictor y la característica de predicción. La Figura 33C ilustra, un área de regresión limitada, como se define anteriormente, limitada por los límites de especificación inferior (LSL(X)) y superior (USL(X)) de la característica del predictor.

El sistema de análisis del proceso 100 entonces compara el área de regresión limitada con el área de cumplimiento para evaluar la relación entre las dos áreas. Si el área de regresión limitada se encuentra completamente dentro de la región de cumplimiento, la característica del artículo de predicción es robusta. Como para esta relación, el sistema de análisis del proceso 100 ajusta los valores de característica del predictor mínimo y máximo asociados con la primera

característica restante del artículo a los límites de especificación inferior y superior, respectivamente, de la característica del predictor. Si alguna parte del área de regresión limitada se extiende sobre y/o bajo el área de cumplimiento sobre el rango límite de especificación de la característica del predictor, existe un defecto potencial, causando que el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, informe de la condición de defecto. La Figura 33D ilustra la circunstancia donde existe un defecto potencial. Adicionalmente, si cualquier segmento horizontal del área de regresión limitada se extiende completamente dentro del área de cumplimiento y cualquier segundo segmento horizontal se extiende parcialmente o completamente fuera del área de cumplimiento, la característica de predicción y la característica del predictor tienen una relación de restricción. En la relación de restricción, el sistema de análisis del proceso 100 calcula los valores de característica del predictor mínimo y máximo para la característica de predicción.

Además, una persona experta en la técnica reconocerá que 1) debe existir una de las tres posibles relaciones (robusta, defecto, y constricción) discutidas anteriormente, 2) las tres posibles relaciones discutidas anteriormente son mutuamente excluyentes, y 3) si se conoce que no existen dos condiciones, la tercera condición debe existir. En consecuencia, cuando una de las posibles relaciones se identifica como existente, el sistema de análisis del proceso 100 no necesita probar la existencia de las otras relaciones. Adicionalmente, el sistema de análisis del proceso 100 puede probar estas relaciones en cualquier orden deseado.

Una persona experta en la técnica reconocerá que existen muchas maneras de probar las relaciones discutidas anteriormente. Por ejemplo, el sistema de análisis del proceso 100 informa de un defecto potencial en lo que se refiere a la característica del artículo de predicción, si todas las secciones transversales verticales del área de regresión limitada están completa o parcialmente fuera del área de cumplimiento. La característica del artículo de predicción también puede determinarse como robusta, si todas las secciones transversales verticales del área de regresión limitada se encuentran completamente dentro del área de cumplimiento. Por último, la característica de predicción restringe la característica del predictor cuando al menos una sección transversal vertical del área de regresión limitada está completamente dentro del área de cumplimiento y al menos una sección transversal vertical del área de regresión limitada está completa o parcialmente fuera del área de cumplimiento.

El sistema de análisis del proceso 100 también puede determinar si las fronteras de predicción superior e inferior se cruzan con el área de cumplimiento usando procedimientos informáticos conocidos. Por ejemplo, si los límites superior e inferior del área de regresión limitada se encuentran dentro del área de cumplimiento, la característica de predicción del artículo es robusta en lo que se refiere a la característica del predictor. Si cualquiera o ambos de los límites superior e inferior del área de regresión limitada no se cruzan con el área de cumplimiento, entonces existe un defecto potencial. Si el límite superior del área de regresión limitada se cruza con el límite superior del área de cumplimiento y el límite inferior del área de regresión limitada se encuentra dentro del área de cumplimiento, existe una relación de restricción. Por último, si el límite inferior del área de regresión limitada se cruza con el límite inferior del área de restricción y el límite superior del área de regresión limitada se encuentra dentro del área de cumplimiento, existe una relación de restricción.

En otra modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 puede probar a determinar los valores del límite de predicción superior e inferior en los límites de especificación superior e inferior de la característica del predictor y determinar si estos valores (coordenadas) se encuentran dentro del área de cumplimiento. Los siguientes ejemplos ilustrativos proporcionan ejemplos para un propósito didáctico. La Figura 23 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para la generación de la Tabla de Restricción según una modalidad de la presente invención. En una modalidad, muchas variables y otras entradas usadas en el cálculo de la tabla de restricción se toman a partir de la producción de otros procesos analíticos. Por ejemplo, el paquete de correlación y otros procedimientos calculan el modelo de regresión e ingresan la pendiente, intercepción y desfaseamiento de intervalos de límites del modelo de regresión, en una modalidad, dentro de un arreglo, tal como el archivo de hoja de cálculo. La pendiente, intercepción y desfaseamiento de intervalos de límites, así como, otros valores calculados previamente, se usan por el sistema de análisis del proceso 100 para calcular P_{min} y P_{max} y propagar la Tabla de Restricción. Como ilustra la Figura 23, el sistema de análisis del proceso 100, que comienza con la primera característica de predicción (véase el paso 702), calcula los valores (límites) del intervalo de predicción superior e inferior para la característica de predicción en los límites de especificación superior (USL) e inferior (LSL) de la característica del predictor (paso 704). Para propósitos didácticos, la Figura 24 ilustra el valor del límite superior izquierdo 241, el valor del límite superior derecho 242, el valor del límite inferior izquierdo 243 y el valor del límite inferior derecho 244. En una modalidad, el procedimiento calcula los valores límites en los límites de especificación superior e inferior de la característica del predictor en base al modelo de regresión, incluyendo los intervalos de predicción superior e inferior, entre la característica del predictor y la característica de predicción. El sistema de análisis del proceso 100 determina después si estos valores límite (véase la Figura 24) están dentro de las cuatro esquinas del área de cumplimiento 250 definida por los límites de especificación superior e inferior del predictor y las características de predicción. En una modalidad, se accede al procedimiento o función para determinar si los valores del límite calculados anteriormente exceden las cuatro esquinas del área de cumplimiento 250. En una modalidad, este procedimiento devuelve cuatro valores Bulianos correspondientes a las esquinas respectivas del área de cumplimiento 250 e indican si los valores límite están dentro de sus respectivas esquinas. El sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, usa estos valores Bulianos para determinar si existe potencial para defectos (véase el paso 706). Las Figuras 25A-G gráficamente ilustran las condiciones de defecto potencial entre la característica del predictor y la característica de predicción (es decir, el potencial de la característica de predicción excederá el límite de especificación dentro de los límites de especificación de la característica del predictor). Las Figuras 25A-G incluyen un área de cumplimiento 250 definida por los límites de especificación superior (USL) e inferior (LSL) del predictor y la característica de predicción. Como ilustran las

ES 2 274 211 T3

Figuras 25A-C, el defecto puede resultar a partir del intervalo de predicción superior 252 encontrándose dentro de la región limitada por el área de cumplimiento 250. Las Figuras 25D-F proporcionan ejemplos de dónde el intervalo de predicción inferior 254 asociado con el modelo de regresión entre el predictor y la característica de predicción no cae dentro del área de cumplimiento 250. Por último, la Figura 25G ilustra la circunstancia en donde ni el intervalo de predicción superior 252 ni el intervalo de predicción inferior se cruza con el área de cumplimiento 250. En una modalidad, el sistema de análisis del proceso evalúa los valores Bulianos discutidos anteriormente para determinar si existe la condición de defecto. En una modalidad, si las dos esquinas superiores, las dos esquinas inferiores o las cuatro esquinas se exceden, existe potencial para defecto. Sin embargo, si solamente se excede una esquina de cada par, existirá una relación de restricción (véase a continuación).

Si existe defecto potencial, el sistema de análisis del proceso 100 informa, en una modalidad, del defecto potencial ajustando P_{min} y P_{max} a "DEFECTO" en el instante de predicción de la característica (paso 708). Si no se detecta una condición de defecto, el sistema de análisis del proceso 100 determina entonces, en una modalidad, si la característica de predicción es robusta, al menos dentro del recuadro de límites de especificación 250 (paso 710). En una modalidad, un procedimiento separado o función prueba tal robustez determinando si los valores límite discutidos anteriormente se encuentran dentro de los límites de especificación de la característica de predicción. Adicionalmente, las Figuras 26A y 26B ilustran gráficamente circunstancias en donde la característica de predicción es robusta relativa a la característica del predictor. Si la característica de predicción es robusta, el sistema de análisis del proceso 100 ajusta P_{min} al límite de especificación inferior de la característica del predictor y P_{max} al límite de especificación superior de la característica del predictor (paso 712).

Por el contrario, si no se detecta ninguna condición de defecto y la característica de predicción no es robusta, el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, calcula P_{min} y P_{max} (paso 714). Véase la Sección II.B.2.b., *supra*. Como ilustra la Figura 23, el sistema de análisis del proceso 100 entonces repite el proceso descrito anteriormente para todas las características de predicción restantes (véanse los pasos 716 y 718). Las Figuras 27A a la 27F ilustran gráficamente varias circunstancias en donde los intervalos de predicción superior y/o inferior restringen P_{min} y/o P_{max} a valores dentro de los límites de especificación inferior y superior de la característica del predictor. Como ilustran las Figuras 27A a la 27F, tanto el intervalo de predicción superior como el inferior asociados con el modelo de regresión pueden restringir P_{min} y P_{max} . Como ilustran las Figuras 27A y 27B adicionalmente, la pendiente del modelo de regresión puede influir si el intervalo de predicción superior o inferior establece o determina P_{min} o P_{max} . Además, las Figuras 27C y 27D ilustran gráficamente circunstancias en donde el intervalo de predicción superior restringe P_{min} o P_{max} . De forma similar, las Figuras 27E y 27F ilustran gráficamente circunstancias en donde el intervalo de predicción inferior restringe P_{min} o P_{max} . En una modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 determina primero el signo de la pendiente de los intervalos de predicción del modelo de regresión. El sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, entonces determina el valor de la característica del predictor en la intersección del intervalo de predicción superior y el límite de especificación superior para la característica de predicción. De forma similar, el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, también calcula el valor de la característica del predictor en la intersección del intervalo de predicción inferior y el límite de especificación inferior para la característica de predicción. El sistema de análisis del proceso 100 entonces determina si el intervalo de predicción superior y/o inferior restringe P_{min} y/o P_{max} y, si es así, calcula el valor de P_{min} y P_{max} . En una modalidad, si la pendiente del intervalo de predicción es positiva, entonces el sistema de análisis del proceso 100 ajusta el valor de la característica del predictor máxima asociada con la primera característica del artículo restante con el límite de especificación superior menor de la característica del predictor o el valor de la característica del predictor al cual el intervalo de predicción superior corresponde con el modelo de regresión que se cruza con el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante, y ajusta el valor de característica del predictor mínimo asociado con la primera característica del artículo restante con el límite de especificación inferior mayor de la característica del predictor o el valor de la característica del predictor al cual el intervalo de predicción inferior corresponde con el modelo de regresión que se cruza con el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante. Por el contrario, si la pendiente del intervalo de predicción es negativa, entonces el sistema de análisis del proceso 100 ajusta el valor de la característica del predictor máximo asociado con la primera característica del artículo restante con el límite de especificación superior menor de la característica del predictor o el valor de la característica del predictor, al cual el intervalo de predicción inferior corresponde con el modelo de regresión que se cruza con el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante, y ajusta el valor de la característica del predictor mínimo asociado con la primera característica del artículo restante al límite de especificación inferior mayor de la característica del predictor o el valor de la característica del predictor al cual el intervalo de predicción superior corresponde con el modelo de regresión que se cruza con el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante.

B.2.d. Determinación de Producibilidad de Objetivos y Rangos

Los parámetros adicionales pueden derivarse a partir de P_{min}^* y P_{max}^* que serán útiles para facilitar el diseño de artículos y entradas de proceso y para ajustar las variables de control del proceso. El rango máximo permisible (P_{rango}^*) puede calcularse restando el valor (P_{min}^*) mínimo más restrictivo del valor (P_{max}^*) máximo más restrictivo. La Figura 14 ilustra gráficamente la determinación de los valores mínimo y máximo más restrictivos y el rango para el caso simplificado de dos características de predicción.

Además, el objetivo de producción del predictor ($P_{objetivo}^*$) puede determinarse. $P_{objetivo}^*$ es el punto que podría escogerse como el objetivo para la producción promedio del proceso. Este es, en una modalidad, el punto de

mejor “producibilidad” que maximizará las oportunidades de producir piezas que cumplen los límites de especificación. Cuando se selecciona apropiadamente, P-objetivo* minimizará el porcentaje de puntos de datos que están fuera de P-rango* durante la producción.

Para evitar la confusión entre el objetivo de diseño y el objetivo para la dimensión del predictor (P-objetivo*), debería notarse una diferencia en la terminología. La característica del predictor (P) casi siempre tendrá un objetivo de diseño de ingeniería (P-objetivo). El objetivo de diseño de ingeniería (o valor nominal) es un valor llamado así por el ingeniero de diseño (por ejemplo, un número en una figura o en una especificación). En contraste, P-objetivo* es un punto de operación objetivo para el proceso que optimizará la producción de salida, como se describió anteriormente.

En una modalidad, el objetivo de producción del predictor (P-objetivo*) se selecciona como el punto medio de P-rango*. Véase la Figura 14. Esto podría ser apropiado para situaciones en donde la producción del proceso de producción fue simétrica alrededor de su media. Los procesos típicos tienen una distribución simétrica que es aproximadamente normal. Si la distribución de la característica del artículo no es simétrica, el valor de la característica del predictor objetivo puede ajustarse al valor de la característica del artículo promedio.

B.2.e. *Tabla de Desfasamiento*

Como se discute más detalladamente a continuación, el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, sirve adicionalmente para generar la Tabla de Desfasamiento indicando la cantidad por la cual la dimensión del pre-proceso podría tener que ajustarse para lograr el objetivo de diseño dado. En otras palabras, la Tabla de Desfasamiento proporciona el valor correspondiente a la distancia que la línea de regresión tendría que moverse para pasar a través de la intersección objetivo. Por ejemplo, en procesos de moldeo por inyección, un valor de desfasamiento es la cantidad por la cual la dimensión del molde dado tendría que cambiarse (por ejemplo, añadiendo acero a través de soldadura o extrayendo acero a través de mecanizado) así podría ser posible lograr la intersección objetivo entre la dimensión del predictor y la dimensión de predicción dada). Esta es la información crítica para piezas fabricadas para la industria médica, por ejemplo, en donde los moldes son algunas veces modificados para mejorar la dimensión de la pieza tan poco como 0,003 centímetros (0.001 pulgadas). Esta información puede usarse por el diseñador del molde y el fabricante del molde. Para otros propósitos como el enchapado, la Tabla de Desfasamiento puede informar a los ingenieros de los cambios requeridos para las dimensiones de pre-enchapado de la pieza.

En una modalidad de la presente invención, la magnitud y dirección de los desfasamientos en la Tabla de Desfasamiento se calculan determinando la distancia vertical entre la intersección objetivo y el modelo de regresión. En una segunda modalidad de la presente invención, la magnitud y dirección de los desfasamientos en la Tabla de Desfasamiento se calculan determinando la distancia horizontal entre la intersección objetivo y el modelo de regresión. En una tercera modalidad de la presente invención, la magnitud y dirección de los desfasamientos en la Tabla de Desfasamiento se calculan determinando la distancia entre la intersección objetivo y el modelo de regresión en la dirección perpendicular al modelo de regresión.

La información contenida en la Tabla de Desfasamiento es también útil a partir de otra perspectiva. Si el valor de la característica de predicción está sobre, en, o debajo del valor objetivo de diseño para que la característica de predicción dependa de los valores específicos seleccionados para cada uno de los ajustes del proceso. En otras palabras, el desfasamiento del valor de predicción logrado a partir del valor objetivo de diseño es dependiente de los valores seleccionados para los ajustes del proceso. Para un conjunto de ajustes del proceso, puede tomarse la decisión de incrementar la dimensión del molde extrayendo acero. Para un conjunto diferente de ajustes del proceso, puede tomarse la decisión de disminuir la misma dimensión del molde agregando acero. Como puede imaginarse, esto es un estado indeseable de acontecimientos. Usando la nueva tecnología descrita en el presente documento, se calculan desfasamientos determinando la distancia y dirección del modelo de regresión a partir de la intersección objetivo. Usando la metodología descrita en el presente documento, pueden determinarse los desfasamientos que son independientes de los valores seleccionados para los ajustes del proceso.

La Figura 28A muestra un procedimiento destinado a la generación de una Tabla de Desfasamiento según una modalidad de la presente invención. La Figura 28B proporciona la tabla de desfasamiento resultante según una modalidad de la presente invención. Como la Figura 28A ilustra, el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, inicia primero un arreglo de la tabla de desfasamiento (paso 802). En una modalidad, la tabla de desfasamiento es un arreglo de dos columnas que incluye identificadores de la característica del artículo en una columna y los valores de desfasamiento correspondientes en la segunda columna. Las entradas al procedimiento o función de la tabla de desfasamiento incluyen los valores objetivos de las características del artículo y los modelos de regresión respectivos entre la característica del predictor y las características de predicción restantes. Como muestra la Figura 28A, el sistema de análisis del proceso 100, para todas las características de predicción (véase el paso 804), calcula el valor de la característica de predicción a partir del modelo de regresión en el valor objetivo de la característica del predictor (paso 806). El sistema de análisis del proceso 100 entonces determina el valor de desfasamiento para la característica de predicción calculando la diferencia entre el valor calculado de la característica de predicción y el valor objetivo (especificación de diseño) de la característica de predicción (paso 808). El sistema de análisis del proceso 100 almacena entonces el valor de desfasamiento en un arreglo u otra estructura de datos apropiada (paso 810) y repite el proceso para la siguiente característica de predicción.

B.2.f. *Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño*

En muchos casos es más rápido y más barato relajar las tolerancias de diseño de una pieza dada en lugar de cambiar los elementos del pre-proceso, tal como las dimensiones del molde. El ingeniero de diseño debe, desde luego, tomar la decisión en lo que se refiere a si es factible o no a la luz del impacto potencial de la relajación de la tolerancia para cualquier característica del artículo dado en forma, ajuste o función. Además, en algunos casos, el rango de operación (P-rango*, *supra*) puede ser tan pequeño que puede hacer difícil, improbable, o aún imposible producir piezas o ensamblajes que tengan todas las características del artículo dentro de los límites de especificación. Si se toma la decisión de incrementar la producibilidad incrementando el rango de operación mediante la relajación de las tolerancias, entonces una modalidad de la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño facilita la evaluación de las tolerancias de diseño que se relajan proporcionando una lista de prioridad del orden óptimo en el cual las tolerancias deberían relajarse, así como el análisis del incremento en el rango de operación logrado para cada relajación de tolerancia en aumento.

En una modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 sirve para generar una Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño la cual facilite el análisis de las ganancias logradas en el rango de operación asociadas con relajar las tolerancias de diseño de cada característica de predicción del artículo. La característica de predicción más restrictiva (es decir, que tiene el Pmin más alto o Pmax menor) debería relajarse primero. Dicho de otra manera, la primera tolerancia que debe relajarse es la tolerancia en la característica del artículo que más restringe la característica del predictor. La Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño sugiere entonces al ingeniero qué incremento debería haber en el rango de operación (la diferencia entre P-min* y P-max*) como resultado de relajar la tolerancia. La Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño también sugiere al ingeniero la ganancia acumulativa lograda por relajar cada variable en turno.

La Figura 30 proporciona la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño según una modalidad de la presente invención. Como ilustra la Figura 30, la Tabla de Relajación, en una modalidad, está dividida en dos piezas principales, a saber, la lista clasificada de características del artículo por el valor Pmin más restrictivo, y la lista clasificada de las mismas características del artículo por el valor Pmax más restrictivo. En este ejemplo, Var12 es la característica del predictor y se ubica en la última posición de ambas listas. Para cada característica del artículo en cualquier columna Pmin o Pmax, la tabla de Relajación incluye los siguientes campos: 1) el identificador de la característica del artículo; 2) el valor Pmin/Pmax calculado, 3) la ganancia individual en el rango operativo lograda relajando la tolerancia de la característica del artículo correspondiente, y 4) la ganancia acumulativa asociada con relajar la tolerancia de la característica del artículo correspondiente. Una persona experta en la técnica reconocerá a partir de la descripción proporcionada en el presente documento, la ganancia individual asociada con cada característica del artículo asumiendo que Pmin/Pmax se han relajado a los valores Pmin/Pmax asociados con la siguiente característica del artículo. La ganancia acumulativa correspondiente a la característica del artículo dado indica la ganancia agregada en el rango de operación logrado relajando Pmin/Pmax al valor asociado con la siguiente característica del artículo. Por ejemplo, para lograr una ganancia acumulativa de 0,0080 centímetros (0.0030 pulgadas) en el rango de operación, los límites de especificación correspondientes a las características del artículo Var16, Var13, Var11, Var9, y Var10 deberían relajarse al punto en donde Pmin es igual a 16,19 centímetros (6.3741 pulgadas). Alternativamente, para lograr la ganancia acumulativa de 0,011 centímetros (0.0043 pulgadas) en el rango de operación, los límites de especificación correspondientes a las características del artículo Var2 y Var4 deberían relajarse al punto en donde Pmax es igual a 16,21 centímetros (6.3819 pulgadas). Alternativamente, la ganancia de 0,0134 centímetros (0.0053 pulgadas) en el rango de operación podría lograrse relajando las tolerancias apropiadas en Var16, Var2 y Var4. La ganancia de 0,0127 centímetros (0.005 pulgadas) en el rango de operación puede ser muy significativa y útil en ciertas circunstancias. Por ejemplo, si el rango de operación fue 0,0127 centímetros (0.005 pulgadas) previo a la relajación de tolerancia, entonces el incremento de 0,0127 centímetros (0.005 pulgadas) iguala al doble del rango de operación o, efectivamente, hace el doble de sencillo lograr los ajustes del proceso que producen las características del artículo que están dentro de los límites de especificación.

La Figura 29 ilustra un procedimiento ejemplificante destinado a generar la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño según una modalidad de la presente invención. Como ilustra la Figura 29, el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, formatea o inicia la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño (paso 830) y transfiere los valores Pmin y Pmax calculados anteriormente (véase las Secciones II.B.2.b., c., anteriores) a la tabla de relajación (paso 832). El sistema de análisis del proceso 100 entonces calcula las ganancias individuales logradas relajando Pmin para las características del artículo (paso 834). En una modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 ordena las características del artículo a partir del valor Pmin (el más alto) menos restrictivo y entonces agrega el identificador de la característica del predictor y el límite de especificación asociado al final de la lista ordenada. El sistema de análisis del proceso 100 entonces calcula la ganancia individual lograda por relajar el límite de especificación para cada característica del artículo al valor correspondiente Pmin de la característica del artículo siguiente en la lista ordenada. Por ejemplo, la ganancia individual lograda relajando el límite de especificación de Var16 al nivel de Pmin correspondiente a Var13 es la diferencia entre Pmin de Var16 y Pmin de Var13. En este caso, la diferencia es 0,00127 centímetros (0.0005 pulgadas); la Tabla de la Figura 30 muestra 0,00101 centímetros (0.0004 pulgadas) debido a un redondeo de la hoja de cálculo de ordenador de los valores de P-min. Las ganancias individuales sucesivas para las características del artículo restantes se calculan de manera similar hasta que la última característica (predictor) se alcanza.

El sistema de análisis del proceso 100 entonces calcula las ganancias individuales logradas relajando Pmax y, por consiguiente, los límites de especificación para las características de predicción del artículo (paso 836). En una

modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 ordena las características del artículo por el valor Pmax (el menor) más restrictivo y entonces agrega el identificador de característica del predictor y el límite de especificación superior asociado al final de la lista ordenada. El sistema de análisis del proceso 100 entonces calcula la ganancia individual lograda relajando el límite de especificación de una característica dada del artículo al valor correspondiente Pmax de la siguiente característica del artículo en la lista ordenada. Por ejemplo, la ganancia individual lograda relajando el límite de especificación de Var2 al nivel de Pmax correspondiente a Var4 es la diferencia entre Pmax de Var2 y Pmax de Var4. Esta diferencia es 0,00152 centímetros (0.0006 pulgadas); nótese que no existe ningún redondeo de ordenador en este caso para los valores de Pmax. Las ganancias individuales siguientes para las características del artículo restantes se calculan de manera similar hasta que se alcanza la última característica (predictor). El sistema de análisis del proceso 100 entonces calcula las ganancias acumulativas asociadas con cada relajación de tolerancia sucesiva para ambas relajaciones Pmin y Pmax (paso 838).

Como una persona experta en la técnica reconocerá, la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño no muestra los límites de especificación inferior/superior para las características de predicción resultantes a partir de la relajación de estos límites a un Pmin o Pmax dado; en lugar de eso, la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño publicada en la Figura 30 facilita la determinación de cuáles y cuántas tolerancias de diseño de características del artículo deben relajarse para lograr la ganancia deseada en el rango de operación.

En una modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 sirve para calcular los límites de especificación inferior y/o superior resultantes después de que el usuario ha seleccionado los límites de especificación de característica del artículo que vayan a relajarse. Por ejemplo, el usuario puede elegir relajar solamente los límites de especificación inferiores, solamente los límites de especificación superiores, o una combinación de límites de especificación superior e inferior para incrementar el rango de operación permisible (P-rango*). En una modalidad, el sistema de análisis del proceso 100 solicita al usuario la selección de la característica de artículo a partir de la columna Pmin y/o la característica de artículo a partir de la columna Pmax de la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño y entonces calcula los nuevos límites de especificación inferior o superior para cada característica de artículo en la lista(s) ordenada hasta la característica(s) del artículo seleccionado. Especialmente, para cada característica del artículo en la lista ordenada hasta la característica del artículo seleccionada, el sistema de análisis del proceso 100, que utiliza el modelo de regresión, calcula los valores de característica del artículo en donde los límites (intervalos de predicción superior e inferior) del modelo de regresión se cruzan con Pmin o Pmax de la manera apropiada. Para propósitos didácticos, las Figuras 32A, 32B, 32C y 32D ilustran gráficamente el cálculo de los nuevos límites de especificación superior e inferior a partir de la relajación Pmin y Pmax. Como ilustran estas Figuras, la pendiente del modelo de regresión determina si la relajación de Pmin/Pmax produce la relajación del límite de especificación superior o inferior asociado con la característica del artículo dado. Como ilustra la Figura 32A, para un modelo de regresión con pendiente positiva, la relajación de USL(Y) a USL'(Y) produce la relajación de Pmax a Pmax'. El rango de operación incrementará en magnitud por una cantidad igual a Pmax'-Pmax. De forma similar, la Figura 32B ilustra, para un modelo de regresión con una pendiente positiva, que la relajación de LSL(Y) a LSL'(Y) produce la relajación de Pmin o Pmin'. El rango de operación incrementará en magnitud por una cantidad igual a Pmin-Pmin'. Para modelos de regresión con pendiente negativa, la relajación de USL(Y) a USL'(Y) produce la relajación de Pmin a Pmin' (véase la Fig. 32C) y la relajación de LSL(Y) a LSL'(Y) produce la relajación de Pmax a Pmax' (véase la Fig. 32D).

Como ilustra la Figura 31, el sistema de análisis del proceso 100, en una modalidad, recibe la característica de predicción seleccionada a partir de la columna de Relajación de Pmin y/o Pmax (paso 850). Si el usuario selecciona la característica del artículo de predicción para relajar Pmin (paso 852), el sistema de análisis del proceso 100 ajusta Pmin al valor Pmin correspondiente a la siguiente característica del artículo en la lista ordenada (paso 854). Por ejemplo y con referencia a la Figura 30, Pmin debería ajustarse a 16,195 centímetros (6.3761 pulgadas) (correspondiente a Var11), si Var13 fue la característica del predictor seleccionada. El sistema de análisis del proceso 100, para cada característica del artículo hasta e incluyendo la característica del artículo seleccionada (véase el paso 856), entonces calcula los nuevos límites de especificación resultantes. Especialmente, el sistema de análisis del proceso 100 determina la pendiente del modelo de regresión para seleccionar el intervalo de predicción inferior o superior, como corresponda (véase arriba) (paso 857) y calcula el valor en Pmin del intervalo de predicción (por ejemplo, inferior o superior) apropiado (límite) del modelo de regresión entre la característica del predictor y la característica de predicción (paso 858) y almacena el nuevo límite de especificación en la tabla en asociación con la característica del artículo de predicción correspondiente (paso 860) para la visualización final al usuario.

Si el usuario selecciona la característica del artículo de predicción para relajar Pmax (paso 862), el sistema de análisis del proceso 100 ajusta Pmax al valor Pmax correspondiente a la siguiente característica del artículo en la lista ordenada (paso 864). El sistema de análisis del proceso 100, para cada característica del artículo hasta e incluyendo la característica del artículo seleccionada (véase paso 866), entonces calcula los nuevos límites de especificación resultantes. Especialmente, el sistema de análisis del proceso 100 determina la pendiente del modelo de regresión para seleccionar el intervalo de predicción inferior o superior, según corresponda (véase arriba) (paso 867) y calcula el valor en Pmax del intervalo de predicción apropiado (límite) del modelo de regresión (paso 868) y almacena el nuevo límite de especificación en una tabla u otra estructura de datos (paso 870) para la visualización final al usuario. Como una persona experta en la técnica reconocerá, el uso de la Tabla de Relajación de Tolerancia de Diseño, de esta manera, producirá nuevos valores Pmin* y/o Pmax*.

ES 2 274 211 T3

C. Uso del Rango Máximo Permisible (P-rango*) y el Objetivo de Producción del Predictor (P-objetivo*)

Para propósitos didácticos, será útil aclarar y definir ciertos parámetros como sigue:

1. P-rango* es el rango máximo permisible para la característica del predictor. Este es el rango dentro del cual la característica del predictor debe asegurar que las características de la pieza restantes mantengan el cumplimiento de los límites de especificación;
2. P-objetivo* es el valor de la característica del predictor del valor objetivo de producción. P-objetivo* puede ajustarse a varios valores dentro de P-rango*. P-objetivo* normalmente se ajustará al punto medio de P-rango*;
3. VAR es el rango de variabilidad de la característica del predictor asociado con la salida del proceso actual bajo condiciones de producción. Esto se determina evaluando la salida de producción;
4. X-BAR es el valor promedio de la característica del predictor bajo condiciones de producción. Este se determina evaluando la salida de producción;
5. P-objetivo* es el valor del objetivo de ingeniería de diseño para la característica del predictor. Éste se determina por el ingeniero de diseño para optimizar la forma, ajuste y función; y,
6. USL y LSL son los límites de especificación superior e inferior para la característica del predictor en base a las tolerancias de ingeniería de diseño. Éstos se determinan por el ingeniero de diseño y típicamente consideran un número de factores incluyendo el historial de las tolerancias usadas por la organización, criticidad de la pieza, capacidad de la organización de la fabricación, y otros factores.

Conocer el rango máximo permisible (P-rango*) para la característica del predictor es extremadamente útil. La producción del proceso actual mostrará cierta cantidad de variabilidad (VAR) y existirá un valor que representa la producción (X-BAR) del proceso promedio de la característica del predictor. Tener esta información facilita cambiar al menos un ajuste de control del proceso, de una manera que maximiza la probabilidad de que el proceso genere piezas que cumplan con la especificación.

Si se ha decidido que P-rango* está demasiado “restringido”, entonces una segunda característica de la pieza puede medirse hasta “abrir” las “restricciones” de P-rango*.

También es de gran utilidad comparar el tamaño de la variabilidad del proceso actual (VAR) para la característica del predictor con el rango máximo permisible (P-rango*). Las siguientes situaciones son posibles:

1. Si la variabilidad del proceso actual (VAR) es mayor que el rango máximo permisible (P-rango*), entonces una parte de las piezas producidas por el proceso siempre estarán fuera del cumplimiento.
2. Si la variabilidad del proceso actual (VAR) es igual al máximo rango permisible (P-rango*) y la producción del proceso promedio (X-BAR) está centrada dentro del rango máximo permisible, entonces aproximadamente todas las piezas producidas por el proceso estarán en cumplimiento, pero no habrá capacidad para ningún error ni para desplazamientos en la producción del proceso.
3. Si la variabilidad del proceso actual (VAR) es menor que y se encuentra dentro del rango máximo permisible (P-rango*), entonces aproximadamente todas las piezas estarán en cumplimiento y habrá un margen mayor de seguridad contra errores o desplazamientos en la producción del proceso.

La presente invención crea, para la situación número 3 una excelente oportunidad al ingeniero del proceso de investigar el desplazamiento de la producción del proceso promedio (X-BAR) más cercana al objetivo de ingeniería de diseño (P-objetivo) para la característica de la pieza del predictor.

También es de gran utilidad comparar la producción del proceso promedio (X-BAR) para la característica del predictor con su objetivo de producción (P-objetivo*). Las siguientes situaciones son posibles, asumiendo que la distribución de producción del proceso es simétrica y el valor objetivo de la característica del predictor (P-objetivo*) se ajusta al punto medio de su rango máximo permisible:

1. Cuanto más cercana sea la producción del proceso promedio (X-BAR) para la característica del predictor al objetivo de producción del predictor (P-objetivo*), mayor es la probabilidad de que el proceso produzca piezas que estén en cumplimiento.
2. Cuando la producción del proceso promedio (X-BAR) es igual al objetivo de producción del predictor (P-objetivo*), las oportunidades de que el proceso produzca piezas que están en cumplimiento se maximizan.

Conclusiones similares pueden alcanzarse aún si la distribución de producción del proceso no es simétrica. En esta situación, P-objetivo* debería ajustarse al punto en donde la cola de la distribución tiene áreas iguales fuera de P-objetivo*.

Así, la presente invención facilita determinar la diferencia entre la producción del proceso promedio (X-BAR) y el objetivo de producción del predictor (P-objetivo*). Esta diferencia establece tanto la magnitud como la dirección que la producción del proceso promedio (X-BAR) debe desfasarse. Con este conocimiento, es entonces posible ajustar uno o más ajustes de control del proceso para mover la producción del proceso promedio a lo largo de la línea de regresión o más cercana al objetivo de producción del predictor (P-objetivo*).

La presente invención proporciona utilidad adicional. Ahora es posible determinar si la variabilidad del proceso actual (VAR) es demasiado grande relativa al rango máximo permisible (P-rango*). Si este es el caso, entonces la primera opción es reducir la variación del proceso. La segunda opción es incrementar la magnitud de tolerancias de diseño. La tercera opción es hacer una combinación de las dos alternativas previas. La presente invención puede facilitar enormemente los ahorros respecto a la eficiencia y costo requiriendo que el análisis de la capacidad de varios procesos discutidos en esta sección se ejecute solamente una vez por solamente la característica del predictor en lugar de las 30 ó 40, o en cambio muchas características de la pieza total, involucradas.

Además, los valores de la Tabla de Restricción proporcionan otra información útil al ingeniero de diseño. Por ejemplo, si se toma la decisión de incrementar el tamaño de las tolerancias del diseño, la Tabla de Restricciones facilita que la determinación con prioridad se haga en lo que se refiere a 1.) qué especificación debe limitarse (superior o inferior) 2.) qué característica del artículo es la más restringida y debería ser la primera en relajarse. Este paso puede repetirse tan frecuentemente como se desee, trabajando "hacia el exterior" a partir de la característica de la pieza más restringida hacia la menos restringida. El ingeniero de diseño también puede evaluar el impacto de relajar cada tolerancia en el rendimiento del producto y tener en cuenta esta información en el proceso de toma de decisiones.

La presente invención crea aún más utilidad. El ingeniero de diseño ahora tiene información que posibilita el estudio que evalúa el desfasamiento entre el rendimiento del producto y la producibilidad. Además, el ingeniero de diseño también puede, si las circunstancias lo permiten, cambiar el objetivo de diseño por el objetivo de la característica del predictor predeterminada (P-objetivo*), y hacer los cambios en alguna otra parte del sistema para compensar (si la compensación aún se requiere, para el cambio en el objetivo de diseño).

Para resumir la siguiente serie de comentarios, P-rango*, VAR y TOL (la diferencia entre los límites de especificación superior e inferior), se representarán por A, B, y C. De manera similar, P-objetivo*, X-BAR y P-objetivo se representarán por X, Y, y Z. La presente invención facilita las siguientes comparaciones:

1. A contra B;
2. A contra C;
3. B contra C;
4. X contra Y;
5. X contra Z; y
6. Y contra Z

Como se notó previamente, existe información excepcionalmente valiosa que puede obtenerse a partir de estas comparaciones.

D. Visión General de la Aplicación y Sumario

La Figura 21 resume los conceptos discutidos anteriormente e ilustra el procedimiento según una modalidad de la presente invención. Para propósitos didácticos, se describe un proceso de moldeado por inyección. Como muestra la Figura 21, el diseño de la pieza, por ejemplo, produce varios objetivos de diseño y límites de especificación para las características del artículo (602), las cuales producen el diseño y maquinaria de un molde que incluye al menos una cavidad definiendo la pieza (604). Otras entradas al proceso incluyen variables de ruido (606) y ajustes de control del proceso (607). El proceso (208) produce la salida experimental (610) o salida de producción (630), como se discute a continuación.

Como muestra la figura 21, las modalidades de la presente invención pueden usarse para facilitar el diseño y los procesos de ingeniería asociados con el diseño de la pieza y/o ingeniería del proceso que, por último, producirá piezas aceptables para la salida de producción. Como se discutió anteriormente, en una modalidad, el operador del proceso genera un conjunto de piezas que tienen un rango de variación en lo que se refiere a la pluralidad de características del artículo (salida experimental 610). Las características asociadas con la salida experimental 610, o muestras de éstas, se evalúan y analizan usando los procedimientos de análisis de correlación y regresión discutidos anteriormente (612). Con la información recabada a partir de estos procedimientos de análisis, el usuario, ayudado por las Tablas

de Restricción y/o Relajación discutidas anteriormente, puede decidir cambiar los límites de tolerancia (618) y/o los objetivos de diseño (620). Además, el usuario, ayudado por el conjunto de información mostrada en la Tabla de Desfasamiento discutida anteriormente, puede decidir cambiar las entradas del proceso (616) y/o ajustar las variables de control (614).

5 Como se discutió anteriormente, en una modalidad, la variación se induce en las características de la pieza durante el proceso de la producción experimental. Uno de los subproductos de ese proceso de producción experimental es que el usuario aprende qué ajustes del proceso tienen mayor impacto en las características de la pieza. Este conocimiento capacita al usuario a reajustar un pequeño número de ajustes del proceso para ubicar la producción del producto
10 en cualquier punto predeterminado a lo largo del modelo de regresión. En el caso del moldeado por inyección, por ejemplo, el usuario puede encontrar que cambiando sólo un ajuste de presión, o un ajuste de temperatura, o un ajuste de velocidad será suficiente para trasladar la salida de acoplamiento de las características del artículo a lo largo de la línea de regresión.

15 Además, el usuario puede seleccionar la característica del predictor (636) en base al análisis de correlación y regresión (612) para facilitar la medición de la salida de producción (630). Por ejemplo, analizando las características del artículo restantes en relación a la característica del predictor el usuario puede identificar las características de predicción robustas (es decir, las características del artículo que siempre estarán dentro de los límites de tolerancia) y eliminarlas de la medición (paso 634). Alternativamente, o en combinación con esto, el usuario puede determinar
20 el rango máximo permisible para la característica del predictor y determinar si la salida de producción 630 cumple con los límites de especificación midiendo una característica del artículo individual (la característica del predictor) (632).

Como se discutió anteriormente, para desplazar la salida a lo largo de la línea de regresión, el operador de moldeado por inyección puede cambiar una o más variables de control del proceso, tal como la presión, temperatura, velocidad, etcétera. Para propósitos ilustrativos, el ejemplo de cambiar las entradas del proceso en la industria de moldeado por inyección podría ser cambiar la dimensión interna de una cavidad del molde. La línea de regresión puede desplazarse verticalmente. En la Figura 6, esto podría lograrse cambiando el tamaño de la característica del artículo restante. La reducción en tamaño podría lograrse agregando material al interior del molde en la ubicación de esa característica del
30 artículo. Esto podría disminuir el tamaño del artículo producido y podría desplazar la línea de regresión verticalmente hacia abajo. El tamaño del desplazamiento requerido podría calcularse determinando la distancia a la que se desplazó la línea de regresión a partir de la intersección del objetivo. Así, la ubicación de la línea de regresión relativa a la intersección objetivo proporciona información que puede usarse para determinar en qué dirección necesita desplazarse la línea de regresión y la magnitud de ese desfasamiento.

35 Un procedimiento alternativo de desplazamiento de la línea de regresión en la Figura 6 podría ser desfasarla horizontalmente. Para que la línea de regresión pase a través de la intersección objetivo en la Figura 6, ésta debe desfasarse a la derecha. Este desfasamiento debería realizarse cambiando la dimensión del molde para la característica del predictor. El desfasamiento a la derecha significa que el tamaño de la característica del predictor se incrementa. El incremento en el tamaño requiere el incremento en el tamaño de la cavidad del molde para la característica del predictor (aquí, una dimensión). Esto puede lograrse extrayendo material del interior del molde. El tamaño del desplazamiento requerido se determina calculando la distancia horizontal entre la línea de regresión y la intersección objetivo.

Aún otro procedimiento para desfasar la línea de regresión es crear el desfasamiento cambiando alguna combinación de las dimensiones del molde para ambos el predictor y al menos una de las características del artículo restantes. En el ejemplo específico mostrado en la Figura 6, la línea de regresión se desplaza en la dirección perpendicular a sí misma. Este, en efecto, es el desplazamiento más corto posible que puede hacerse para ubicar la línea de regresión a través de la intersección objetivo. En este caso, el desplazamiento podría lograrse por una disminución en el tamaño de la característica predicha y un incremento en el tamaño de la característica del predictor. En el caso de la pieza enchapada, el ejemplo de las dos características del artículo podrían ser las dimensiones de la longitud pos-enchapado y ancho de la pieza. En este caso, la longitud pre-enchapada y las dimensiones del ancho de la pieza podrían considerarse como las entradas del proceso.

La Figura 7 ilustra un procedimiento usado para producir artículos que tienen características que están superpuestas sobre o congruentes con la intersección objetivo. La modalidad ilustrada en la Figura 7 consiste en un proceso de dos pasos. En el paso uno, la línea de regresión se desplaza, de modo que ésta se cruza con la intersección objetivo. En este ejemplo, la línea de regresión se desplaza hacia abajo y a la derecha. Como se indicó anteriormente, la línea de regresión puede desplazarse horizontalmente, verticalmente, o ambas. En el paso dos, la posición de la característica se desplaza, para este ejemplo particular, a lo largo de la línea de regresión en la dirección de las dimensiones más pequeñas hasta que la posición es congruente con la intersección objetivo. En la práctica, desde luego, la dirección en que la posición de la característica necesitará desplazarse dependerá de la ubicación de la característica inicial relativa a la intersección objetivo y la pendiente de la línea de regresión.

Para propósitos didácticos, el lenguaje contenido en esta aplicación se refiere al uso de técnicas para “ubicar” o
65 “colocar” o “determinar la intersección” o “determinar el rango” u otra terminología que pueda usarse desde una perspectiva gráfica. Virtualmente todas las técnicas analíticas descritas en el presente documento pueden lograrse gráfica o analíticamente. Debe apreciarse que las técnicas analíticas pueden usarse cuando las técnicas gráficas informan y las técnicas gráficas pueden usarse cuando las técnicas analíticas informan. De hecho, una modalidad preferida de la

presente invención realiza todos los cálculos, ubicaciones y determinaciones usando técnicas analíticas. Las visualizaciones gráficas se crean para conveniencia y entendimiento del usuario.

También, para propósitos didácticos, el lenguaje en esta aplicación se refiere a la línea de regresión. Se nota arriba que la “línea” de regresión no necesita ser una línea recta, también puede ser curvilínea. Debería notarse también que el modelo de regresión se muestra frecuentemente, para propósitos didácticos, como una línea única. Debería notarse que el modelo de regresión en una modalidad preferida de esta invención incluye el uso de intervalos de predicción.

Debe notarse que para propósitos didácticos, el efecto de cambios en ajustes de control del proceso se ha ilustrado en términos de sus efectos sobre la característica del artículo (de predicción) restante individual. Debe entenderse que el efecto de los cambios en los ajustes de control del proceso pueden determinarse para más de dos características del artículo. De forma similar, debe entenderse que el efecto de los cambios en las entradas del proceso se ha ilustrado en términos de sus efectos en un modelo de regresión individual. Debe entenderse que el efecto de los cambios en los ajustes de control del proceso pueden determinarse para más de un modelo de regresión.

Para propósitos didácticos, se ha asumido que el objetivo de introducir cambios en cualquiera de los ajustes de control del proceso y/o entradas del proceso han sido para mover la posición(es) de operación de acoplamiento y/o modelo(s) de regresión más cerca de una o más intersecciones objetivo. Debe entenderse adicionalmente que estos cambios pueden hacerse para mover la posición(es) de operación de acoplamiento y/o modelo(s) de regresión a cualquier posición deseada.

Para propósitos didácticos, los límites de especificación superior e inferior asociados con las características del artículo se han descrito como valores constantes, lo que resulta en un área de cumplimiento rectangular. La presente invención, sin embargo, también puede aplicarse a circunstancias en donde uno o más de estos límites de especificación varían en base a uno o más factores, lo que resulta en un área de cumplimiento que tiene una forma trapezoidal (por ejemplo) u otra forma.

Finalmente, para propósitos didácticos, como se notó justo antes, se ha asumido que los cambios han sido introducidos para optimizar las características del artículo relativo a uno o más criterios. Debe entenderse que los algoritmos, modelo y conceptos publicados en el presente documento pueden usarse para lograr el efecto opuesto. Por ejemplo, es posible determinar el cambio requerido en un punto de operación de acoplamiento y/o posición del modelo de regresión necesario para lograr un cambio deseado en ajustes del y/o proceso de entrada. Un objetivo para hacer esto podría ser mover un ajuste de control del proceso lejos de un ajuste peligroso o nocivo. Otro objetivo para hacer esto podría ser igualar los procesos de producción y/o parámetros de ingeniería de diseño a entradas del proceso específicas tal como pre-configurar las formas de materia prima.

Por último, aunque la presente invención se haya descrito en combinación con procesos de moldeado por inyección, la presente invención, como se discutió anteriormente, tiene aplicación en una variedad de procesos. Por ejemplo, la presente invención tiene aplicación para enchapar y fabricar semiconductores, así como cualquier otro proceso en donde se agrega material, extrae, o cambia en forma o estructura. La presente invención tiene aplicación para otros procesos que no son de fabricación en donde las características de producción están relacionadas. Consecuentemente, la presente invención se ha descrito con referencia a modalidades específicas. Otras modalidades de la presente invención serán evidentes para una persona experta en la técnica. Se pretende, por lo tanto, que las reivindicaciones publicadas a continuación no se limiten a las modalidades descritas anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para facilitar los procesos de diseño y maquinaria, **caracterizado** porque comprende

la utilización de un módulo (102) de datos de entrada para recibir la pluralidad de valores de característica del artículo asociados con un conjunto de artículos que tienen un rango de variación en lo que se refiere a la pluralidad de características del artículo resultante de un proceso;

la utilización de un módulo de correlación (106) para seleccionar la característica del predictor a partir de la pluralidad de características del artículo; y,

la utilización de un módulo de regresión (104) para determinar el modelo(s) de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes en la pluralidad de características del artículo.

2. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprende

la utilización del módulo (102) de datos de entrada para recibir el valor objetivo para la característica del predictor y el valor objetivo para al menos una característica del artículo restante; y

la utilización del módulo de regresión (104) para determinar la intersección del valor objetivo para la característica del predictor y el valor objetivo de la primera característica del artículo restante relativa al modelo de regresión entre la característica del predictor y la primera característica del artículo restante.

3. El procedimiento de la reivindicación 2 adicionalmente comprende

determinar los intervalos de predicción superior e inferior respectivos asociados con el modelo(s) de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes y recibir los límites de especificación superior e inferior para la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes;

ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con al menos una característica del artículo restante; y

ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con la característica del predictor.

4. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprende

recibir los límites de especificación inferior y superior para al menos una de las características del artículo restantes; y

ubicar los límites de especificación inferior y superior asociados con al menos una característica del artículo restante respecto al modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restante.

5. El procedimiento de la reivindicación 4 adicionalmente comprende determinar el valor de la característica del predictor al cual el modelo de regresión correspondiente se cruza con el límite de especificación superior para al menos una de las características del artículo restantes.

6. El procedimiento de la reivindicación 4 ó 5 adicionalmente comprende determinar el valor de la característica del predictor al cual el modelo de regresión correspondiente se cruza con el límite de especificación inferior para al menos una de las características del artículo restantes.

7. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprende

determinar los intervalos de predicción superior e inferior correspondientes asociados con el modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes;

recibir los límites de especificación superior e inferior para al menos una de las características del artículo restantes; y

ubicar los límites de especificación asociados con al menos una de las características del artículo restantes respecto al modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes.

8. El procedimiento de la reivindicación 4 ó 6 adicionalmente comprende

recibir los límites de especificación superior e inferior para la característica del predictor; y ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con la característica del predictor.

9. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprende

determinar los intervalos de predicción superior e inferior correspondientes asociados con el modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes;

recibir los límites de especificación inferior y superior para al menos una de las características del artículo restantes;

ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con al menos una característica del artículo restante;

recibir los límites de especificación inferior y superior para la característica del predictor;

ubicar el límite de especificación superior asociado con la característica del predictor; y

determinar un valor máximo de característica del artículo para la característica del predictor seleccionando el más pequeño de 1) el límite de la especificación superior para la característica del predictor y 2) el valor de la característica del predictor al cual el intervalo superior de predicción se cruza con el límite de especificación superior para al menos una de las características del artículo restantes.

10. El procedimiento de la reivindicación 9 adicionalmente comprende

recibir los límites de especificación inferior y superior para al menos una de las características del artículo restantes;

ubicar el límite de especificación inferior asociado con la característica del predictor; y

determinar un valor mínimo de la característica del artículo para la característica del predictor seleccionando el mayor de 1) el límite de especificación inferior para la característica del predictor y 2) el valor de la característica del predictor al cual el intervalo de predicción inferior se cruza con el límite de especificación inferior para al menos una característica del artículo restante.

11. El procedimiento de la reivindicación 10 adicionalmente comprende

repetir la determinación de un paso del valor mínimo de la característica del artículo para un número deseado características del artículo restantes en la pluralidad de las características del artículo; y

determinar el valor mínimo de características del artículo más restrictivo para la característica del predictor seleccionando el mayor valor mínimo de característica del artículo.

12. El procedimiento de la reivindicación 11 adicionalmente comprende determinar el rango permisible máximo para la característica del predictor restando el valor de la característica del artículo mínimo más restrictivo al valor de característica máxima más restrictivo y determinar el valor de maquinaria objetivo para la característica del predictor seleccionando un valor entre los valores de características del artículo mínimo y máximo más restrictivos para la característica del predictor.

13. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprende

determinar el rango permisible máximo para la característica del predictor restando el valor de la característica del artículo mínimo más restrictivo al valor de característica máxima más restrictivo;

determinar el valor de maquinaria objetivo para la característica del predictor seleccionando el valor del punto medio entre los valores mínimo y máximo más restrictivos para la característica del predictor;

recibir un valor objetivo para la característica del predictor y un valor objetivo para al menos una de las características del artículo restante; y

determinar la intersección del valor objetivo para la característica del predictor y el valor objetivo de la primera característica del artículo restante relativa al modelo de regresión entre la característica del predictor y la primera característica del artículo restante.

14. El procedimiento de la reivindicación 1 **caracterizado** porque la selección de la característica del predictor comprende la evaluación de la capacidad de cada característica del artículo para predecir todas o un subconjunto de características del artículo en la pluralidad de características del artículo.

15. El procedimiento de la reivindicación 14 **caracterizado** porque la selección de la característica del predictor comprende

calcular el coeficiente de correlación entre todas o un subconjunto de las características del artículo;

determinar, en base a los coeficientes de correlación calculados, un valor que indica la capacidad de predicción de una primera característica del artículo relativa a todas las demás características del artículo;

repetir la determinación de un valor indicativo de una capacidad de predicción para todas o un subconjunto de las características del artículo; y

seleccionar una característica del predictor basada al menos en parte en los valores que indican las capacidades de predicción de las características del artículo.

16. El procedimiento de la reivindicación 15 **caracterizado** porque la determinación de un valor indicativo de una capacidad de predicción comprende calcular el promedio de los valores absolutos de los coeficientes de correlación para cada característica del artículo y continuar con la clasificación de las características del artículo basadas en los valores calculados indicativo de una capacidad de predicción, caracterizado porque la selección de la característica del predictor se basa adicionalmente en factores económicos o técnicos asociados con la evaluación de cada característica del artículo.

17. El procedimiento de cualquier reivindicación 1 a 16 **caracterizado** porque adicionalmente comprende la visualización del modelo de regresión en una visualización de interfaz de usuario.

18. El procedimiento de la reivindicación 1 adicionalmente comprende

generar un conjunto de artículos que tienen un rango de variación en lo que se refiere a la pluralidad de características del artículo; y

evaluar el conjunto de artículos para todas o un subconjunto de la pluralidad de características del artículo, **caracterizado** porque al menos dos de las características del artículo tienen un valor objetivo y límites de especificación superior e inferior.

19. El procedimiento de la reivindicación 18 adicionalmente comprende determinar la intersección del valor objetivo para la característica del predictor y el valor objetivo de al menos una característica del artículo restante relativa al modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes.

20. El procedimiento de la reivindicación 1, 2, 18 ó 19 adicionalmente comprende determinar los límites de predicción superior e inferior correspondientes asociados con el modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes.

21. El procedimiento de la reivindicación 20 adicionalmente comprende ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con al menos una característica del artículo restante; ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con la característica del predictor.

22. El procedimiento de la reivindicación 18 adicionalmente comprende ubicar los límites de especificación asociados con al menos una característica del artículo restante.

23. El procedimiento de la reivindicación 22 adicionalmente comprende determinar el valor de la característica del predictor en el cual el modelo de regresión se cruza con el límite de especificación superior para al menos una característica del artículo restante.

24. El procedimiento de la reivindicación 22 ó 23 adicionalmente comprende determinar el valor de la característica del predictor en el cual el modelo de regresión se cruza con el límite de especificación inferior para al menos una característica del artículo restante.

25. El procedimiento de la reivindicación 20 adicionalmente comprende ubicar los límites de especificación asociados con al menos una característica del artículo restante.

26. El procedimiento de la reivindicación 7 ó 25 adicionalmente comprende determinar el valor de la característica del predictor en el cual el intervalo de predicción superior asociado con el modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una característica del artículo restante se cruza con el límite de especificación superior para al menos una característica del artículo restante.

27. El procedimiento de la reivindicación 7, 25 ó 26 adicionalmente comprende determinar el valor de característica del predictor en el cual el intervalo de predicción inferior asociado con el modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una característica del artículo restante se cruza con la lista de especificación inferior para al menos una característica del artículo restante.

28. El procedimiento de la reivindicación 22 ó 24 adicionalmente comprende ubicar los límites de especificación inferior y superior asociados con la característica del predictor.

29. El procedimiento de la reivindicación 20 adicionalmente comprende:

ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con al menos una característica del artículo restante;

ubicar el límite de especificación superior asociado con la característica del predictor; y

determinar un valor máximo de la característica del artículo para la característica del predictor seleccionando el más pequeño de (1) el límite de especificación superior para la característica del predictor y (2) el valor de la característica del predictor en el cual el intervalo de predicción inferior se cruza con el límite de especificación superior para al menos una característica del artículo restante.

30. El procedimiento de la reivindicación 9 ó 29 adicionalmente comprende

repetir el paso de determinar el valor de característica del artículo máximo para el número deseado de características del artículo restantes en la pluralidad de características del artículo; y

determinar el valor máximo de característica del artículo más restrictivo para la característica del predictor seleccionando el valor máximo menor de característica del artículo.

31. El procedimiento de la reivindicación 29 adicionalmente comprende

ubicar el límite de especificación inferior asociado con la característica del predictor; y

determinar el valor de la característica del artículo mínimo para la característica del predictor seleccionando el mayor de (1) el límite de especificación inferior para la característica del predictor y (2) el valor de la característica del predictor en el cual el intervalo de predicción inferior se cruza con el límite de especificación inferior para al menos una característica del artículo restante.

32. El procedimiento de la reivindicación 10 ó 31 adicionalmente comprende determinar un rango máximo permisible para la característica del predictor restando el valor mínimo de la característica del artículo al valor máximo de la característica.

33. El procedimiento de la reivindicación 31 adicionalmente comprende

repetir el paso de determinar el valor de característica del artículo mínimo para el número deseado de características del artículo restantes; y

determinar el valor mínimo de característica del artículo más restrictivo para la característica del predictor seleccionando el valor mínimo mayor de la característica del artículo.

34. El procedimiento de la reivindicación 11 ó 33 adicionalmente comprende determinar el rango permisible máximo para la característica del predictor restando el valor de característica del artículo mínimo más restrictivo al valor de característica máxima más restrictivo.

35. El procedimiento de la reivindicación 33 adicionalmente comprende determinar el valor de maquinaria objetivo para la característica del predictor seleccionando un valor entre los valores de características del artículo mínimo y máximo más restrictivos para la característica del predictor.

36. El procedimiento de la reivindicación 20 ó 33 adicionalmente comprende determinar el valor de maquinaria objetivo para la característica del predictor seleccionando el valor del punto medio entre los valores de características del artículo mínimo y máximo más restrictivos para la característica del predictor.

37. El procedimiento de la reivindicación 36 **caracterizado** por determinar la intersección del valor objetivo para la característica del predictor y el valor objetivo de al menos una característica del artículo restante relativa al modelo de regresión entre la característica del predictor y al menos una característica del artículo restante.

38. El procedimiento de la reivindicación 28 **caracterizado** por seleccionar la característica del predictor en base, al menos en parte, a la evaluación de la capacidad de cada característica del artículo para predecir las demás características del artículo en la pluralidad de características del artículo.

39. El procedimiento de la reivindicación 38 **caracterizado** porque la selección de la característica del predictor comprende calcular los coeficientes de correlación entre todas o un subconjunto de las características del artículo; determinar, basado en los coeficientes de correlación calculados, un valor que indica la capacidad de predicción de una primera característica del artículo relativa a todas las demás características del artículo; repetir la determinación de

un valor que indica la capacidad de predicción de todas las características del artículo; y seleccionar una característica del predictor basada al menos en parte en los valores que indican las capacidades de predicción de las características del artículo.

5 40. El procedimiento de la reivindicación 15 ó 39 **caracterizado** porque la característica del predictor se selecciona como la característica del artículo asociada con el valor que tiene la capacidad de predicción mayor.

10 41. El procedimiento de la reivindicación 15 ó 39 adicionalmente comprende clasificar las características del artículo en base a los valores calculados en la determinación de un valor que indica la capacidad de predicción.

42. El procedimiento de la reivindicación 15 ó 39 **caracterizado** porque la determinación de un valor que indica la capacidad de predicción comprende el cálculo de un promedio de coeficiente de correlación para cada característica del artículo.

15 43. El procedimiento de la reivindicación 15 ó 39 **caracterizado** porque la determinación de un valor que indica la capacidad de predicción comprende el cálculo de un promedio de los valores absolutos de los coeficientes de correlación para cada característica del artículo.

20 44. El procedimiento de la reivindicación 14 ó 38 **caracterizado** porque la selección de la característica del predictor comprende la determinación gráfica de la característica del artículo que tiene las capacidades de predicción mayores.

25 45. El procedimiento de la reivindicación 14 ó 38 **caracterizado** porque la selección de la característica del predictor se basa adicionalmente en factores asociados con la evaluación de cada característica del artículo.

46. El procedimiento de la reivindicación 45 **caracterizado** porque los factores comprenden los factores económicos asociados con la evaluación de cada característica del artículo.

30 47. El procedimiento de la reivindicación 45 **caracterizado** porque los factores comprenden los factores técnicos asociados con la evaluación de cada característica del artículo.

35 48. El procedimiento de la reivindicación 1 **caracterizado** porque adicionalmente comprende evaluar el grado de correlación entre las características del artículo y seleccionar la característica del predictor de una pluralidad de características del artículo basadas en un paso de evaluación.

40 49. El procedimiento de la reivindicación 48 adicionalmente comprende determinar el máximo rango permisible para la característica del predictor y, después de la determinación del modelo de regresión, verificar que los artículos generados a continuación cumplan con al menos una especificación de diseño asociada con el artículo en base a la evaluación de la característica del predictor.

50. El procedimiento de la reivindicación 1 **caracterizado** porque el modelo de regresión incluye los límites de predicción inferior y superior, recibiendo los límites de especificación inferior y superior para la característica del predictor y la primera característica del artículo restante; el procedimiento comprende adicionalmente:

45 ubicar, relativo al modelo de regresión entre la característica del predictor y la primera característica del artículo restante, el área de cumplimiento limitada por los límites de especificación superior e inferior asociadas con la primera característica del artículo restante y la característica del predictor;

50 ubicar el área de regresión limitada por la primera característica restante definida por los límites de predicción superior e inferior del modelo de regresión y los límites de especificación superior e inferior para la característica del predictor; e

identificar la relación entre el área de regresión limitada y el área de cumplimiento

55 51. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque la relación identificada caracteriza la estructura de la relación geométrica entre el área de regresión limitada y el área de cumplimiento.

60 52. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque la relación identificada caracteriza la relación entre los elementos del perímetro que define el área de regresión limitada y los elementos del perímetro que definen el área de cumplimiento.

53. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque la relación identificada es una del grupo que consiste en una relación potencial de defecto, una relación robusta y una relación de restricción.

65 54. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende determinar si el área de regresión limitada se encuentra completamente dentro del área de cumplimiento.

55. El procedimiento de la reivindicación 54 adicionalmente comprende si el área de regresión limitada se encuentra completamente dentro del área de cumplimiento, ajustar los valores de la característica del predictor mínima y máxima asociados con la primera característica del artículo restante a los límites de especificación inferior y superior, respectivamente, de la característica del predictor.

56. El procedimiento de la reivindicación 43 ó 55 **caracterizado** porque los pasos de identificación comprenden determinar si el área de regresión limitada se extiende sobre, abajo, o ambas arriba y abajo del área de cumplimiento sobre el rango límite de especificación de la característica del predictor; y si es así, informar de la condición de defecto para la primera característica del artículo restante.

57. El procedimiento de la reivindicación 50 ó 56 adicionalmente comprende determinar si cualquier segmento horizontal del área de regresión limitada está contenido completamente dentro del área de cumplimiento y si el segundo segmento horizontal se extiende parcial o completamente fuera del área de cumplimiento; y, si es así, calcular los valores de la característica del predictor mínimo y máximo para la primera característica del artículo restante.

58. El procedimiento de la reivindicación 57 adicionalmente comprende almacenar las características del predictor máxima y mínima resultantes en asociación con la característica del artículo restante correspondiente en la estructura de datos.

59. El procedimiento de la reivindicación 58 **caracterizado** porque la estructura de datos es un arreglo.

60. El procedimiento de la reivindicación 58 **caracterizado** porque el paso de informar de la condición de defecto comprende almacenar el identificador del defecto en asociación con la correspondiente característica del artículo restante.

61. El procedimiento de conformidad con la reivindicación 59 **caracterizado** porque adicionalmente comprende desplegar los valores de la característica del predictor mínimo y máximo resultantes y/o identificadores del defecto en asociación con la correspondiente característica del artículo restante.

62. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende determinar si todas las secciones transversales verticales del área de regresión limitada se encuentran dentro del área de cumplimiento.

63. El procedimiento de la reivindicación 62 adicionalmente comprende si todas las secciones transversales verticales del área de regresión limitada se encuentran dentro del área de cumplimiento, ajustar los valores de la característica del predictor mínima y máxima asociados con la primera característica del artículo restante a los límites de especificación inferior y superior, respectivamente, de la característica del predictor.

64. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de comparación comprende determinar si todas las secciones transversales verticales del área de regresión limitada están completa o parcialmente fuera del área de cumplimiento; y, si es así, informar de la condición de defecto para la primera característica del artículo restante.

65. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de comparación comprende determinar si al menos una sección transversal vertical del área de regresión limitada está completamente dentro de la región de cumplimiento y si al menos una sección transversal vertical está parcial o completamente fuera del área de cumplimiento; y, si es así, calcular los valores de la característica del predictor mínimo y máximo para la primera característica del artículo restante.

66. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende determinar si los límites superior e inferior del área de regresión limitada están completamente dentro de la región de cumplimiento.

67. El procedimiento de la reivindicación 66 adicionalmente comprende si los límites inferior y superior del área de regresión limitada están completamente dentro del área de cumplimiento, ajustar los valores de la característica del predictor mínimo y máximo asociados con la primera característica del artículo restante a los límites de especificación inferior y superior, respectivamente, de la característica del predictor.

68. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende determinar si alguno de los límites inferior y superior del área de regresión limitada no se cruza con el área de cumplimiento; y, si es así, informar de la condición de defecto para la primera característica del artículo restante.

69. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende determinar si la frontera superior del área de regresión limitada se cruza con el límite superior del área de cumplimiento y el límite inferior del área de regresión limitada se cruza con el área de cumplimiento; y, si es así, calcular los valores de la característica del predictor mínimo y máximo para la primera característica del artículo restante; de otra manera, determinar si el límite inferior del área de regresión limitada se cruza con el límite inferior del área de cumplimiento y

el límite superior del área de regresión limitada se cruza con el área de cumplimiento; y, si es así, calcular los valores de la característica del predictor mínimo y máximo para la primera característica del artículo restante.

70. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende calcular los valores del límite de predicción superior e inferior para la primera característica del artículo restante a los límites de especificación superior e inferior de la característica del predictor; determinar si los dos valores del límite de predicción superior en el paso de cálculo son menores que el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante, y si los dos valores del límite de predicción inferior en el paso de cálculo son mayores que el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante.

71. El procedimiento de la reivindicación 70 adicionalmente comprende si los dos valores del límite de predicción superior en el paso de cálculo son menores que el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante, y los dos valores del límite de predicción inferior en el paso de cálculo son mayores que el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante, entonces ajustar los valores de la característica del predictor mínimo y máximo asociados con la primera característica del artículo restante a los límites de especificación inferior y superior, respectivamente, de la característica del predictor.

72. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende calcular los valores del límite de predicción superior e inferior para la primera característica del artículo restante en los límites de especificación superior e inferior de la característica del predictor; si los dos valores del límite de predicción superior en el paso de cálculo son mayores que el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante, entonces informar de una condición de defecto para la primera característica del artículo restante; y si los dos valores del límite de predicción inferior en el paso de cálculo son menores que el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante, entonces informar de una condición de defecto para la primera característica del artículo restante.

73. El procedimiento de la reivindicación 50 **caracterizado** porque el paso de identificación comprende calcular los valores del límite de predicción superior e inferior para la primera característica del artículo restante en los límites de especificación superior e inferior de la característica del predictor; determinar si uno de los valores del límite de predicción superior en el paso de cálculo es menor que, y el otro valor del límite de predicción superior es mayor que el límite de especificación superior de la primera característica del artículo restante, y ambos valores del límite de predicción inferior son mayores que el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante; y si es así, calcular los valores de la característica del predictor mínimo y máximo para la primera característica del artículo restante; de otra manera, determinar si uno de los valores del límite de predicción inferior en el paso de cálculo es menor que, y el otro de los valores del límite de predicción inferior es mayor que, el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante, y si los valores del límite de predicción superior en el paso de cálculo, son ambos menores que el límite de especificación de la primera característica del artículo restante; y si es así, calcular los valores de la característica del predictor mínimo y máximo para la primera característica del artículo restante; de otra manera, determinar si uno de los valores del límite de predicción superior en el paso de cálculo es menor que, y el otro de los valores del límite de predicción superior es mayor que, el límite de especificación superior de la primera característica del artículo restante, y si uno de los valores del límite de predicción inferior en el paso de cálculo es menor que, y el otro de los valores del límite de predicción inferior es mayor que, el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante; y si es así, calcular los valores de la característica del predictor mínimo y máximo para la primera característica del artículo restante.

74. El procedimiento de la reivindicación 15, 17, 65 ó 73 **caracterizado** porque el paso de cálculo comprende determinar la pendiente del modelo de regresión entre la característica del predictor y la primera característica del artículo restante; determinar el valor de la característica del predictor en el cual el límite de predicción superior correspondiente al modelo de regresión se cruza con el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante; determinar el valor de la característica del predictor en el cual el límite de predicción inferior correspondiente al modelo de regresión se cruza con el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante; si la pendiente del modelo de regresión es positiva, entonces: ajustar el valor de la característica del predictor máximo asociada con la primera característica del artículo restante al menor límite de especificación superior de la característica del predictor al valor de la característica del predictor en el cual el límite de predicción superior correspondiente al modelo de regresión se cruza con el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante; y ajustar el valor de la característica del predictor mínima asociada con la primera característica del artículo restante al mayor límite de especificación inferior de la característica del predictor al valor de la característica del predictor en el cual el límite de predicción inferior correspondiente al modelo de regresión se cruza con el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante; de otra manera, si la pendiente del modelo de regresión es negativa, entonces ajustar el valor de la característica del predictor máximo asociado con la primera característica del artículo restante al menor límite de especificación superior de la característica del predictor o al valor de la característica del predictor en el cual el límite de predicción inferior correspondiente al modelo de regresión se cruza con el límite de especificación inferior para la primera característica del artículo restante; y ajustar el valor de la característica del predictor mínima asociada con la primera característica del artículo restante al mayor límite de especificación inferior de la característica del predictor o el valor de la característica del predictor en el cual el límite de predicción superior correspondiente al modelo de regresión se cruza con el límite de especificación superior para la primera característica del artículo restante.

75. El procedimiento de la reivindicación 50 adicionalmente comprende repetir la determinación del modelo de regresión, recibiendo los límites de especificación, ubicando el área de cumplimiento, ubicando el área de regresión limitada, e identificando los pasos de relación para todas las características del artículo restante deseadas.

76. El procedimiento de la reivindicación 75 **caracterizado** porque adicionalmente muestra las relaciones identificadas.

77. El procedimiento de la reivindicación 75 adicionalmente comprende almacenar las relaciones identificadas en la estructura de datos.

78. Un aparato para facilitar los procesos de diseño y maquinaria, **caracterizado** porque comprende

un módulo de datos de entrada (102) para recibir la pluralidad de valores de característica del artículo asociados con un conjunto de artículos que tienen un rango de variación en lo que se refiere a la pluralidad de características del artículo resultante de un proceso;

un módulo de correlación (106) para seleccionar la característica del predictor a partir de la pluralidad de características del artículo; y,

un módulo de regresión (104) para determinar el modelo(s) de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restantes en la pluralidad de características del artículo.

79. El aparato de la reivindicación 78 **caracterizado** porque el módulo de datos de entrada (102) sirve adicionalmente para recibir un valor objetivo para al menos una característica del artículo restante; y porque el aparato sirve para determinar la intersección del valor objetivo para la característica del predictor y el valor objetivo de una primera característica del artículo restante relativa al modelo de regresión entre la característica del predictor y la primera característica del artículo restante.

80. El aparato de la reivindicación 78 **caracterizado** porque el módulo de regresión (104) sirve para determinar los intervalos de predicción superior e inferior correspondientes asociados con el modelo(s) de regresión entre la característica del predictor y al menos una de las características del artículo restante.

81. El aparato de la reivindicación 80 **caracterizado** porque el módulo de datos de entrada (102) es adicionalmente operativo para;

recibir límites de especificación superior e inferior para al menos una de las características del artículo restantes;

recibir los límites de especificación superior e inferior para la característica del predictor; y porque el aparato es adicionalmente operativo para;

ubicar los límites de especificación superior e inferior asociados con al menos una de las características del artículo restantes;

ubicar el límite de especificación superior asociado con la característica del predictor; y determinar un valor máximo de la característica del artículo para la característica del predictor seleccionando el más pequeño de (1) el límite de especificación superior para la característica del predictor y (2) el valor de la característica del predictor en el cual el intervalo de predicción superior se cruza con el límite de especificación superior para al menos una característica del artículo restante.

82. El aparato de la reivindicación 81 **caracterizado** porque es adicionalmente operativo para

repetir la determinación de un valor máximo de la característica del artículo para un número deseado de características del artículo restantes en la pluralidad de características del artículo; y

determinar el valor de característica del artículo máximo más restrictivo para la característica del predictor seleccionando el valor de característica del artículo máximo inferior.

83. El aparato de la reivindicación 78 **caracterizado** porque el módulo de correlación (106) sirve para seleccionar la característica del predictor basada al menos en parte en una evaluación de la capacidad de cada característica del artículo para predecir todas o un subconjunto de características del artículo en la pluralidad de características del artículo.

84. El aparato de la reivindicación 83 **caracterizado** porque el módulo de correlación (106) sirve para:

calcular los coeficientes de correlación entre todas o un subconjunto de características del artículo;

ES 2 274 211 T3

determinar, en base a los coeficientes de correlación calculados, el valor indicando la capacidad de predicción de la primera característica del artículo relativa a todas las otras características del artículo;

repetir el paso de determinación de un valor indicando la capacidad de predicción para todas o un subconjunto de las características del artículo; y

seleccionar la característica del predictor en base, al menos en parte, a los valores indicando las capacidades de predicción de las características del artículo.

85. El aparato de cualquier reivindicación 78 a 84 **caracterizado** porque al menos uno de los módulos de correlación (106) y el módulo de regresión (104) se implementa mediante un software.

Fig._1

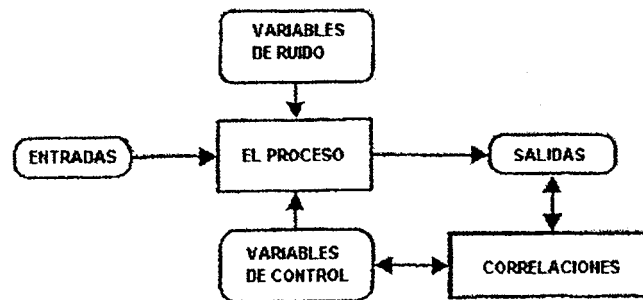
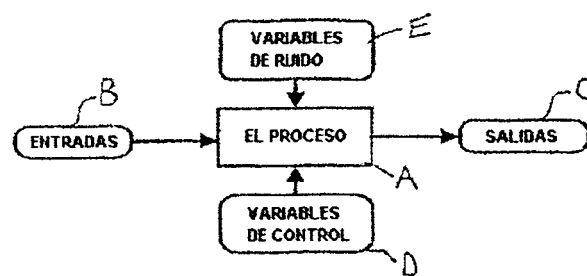


Fig. 2

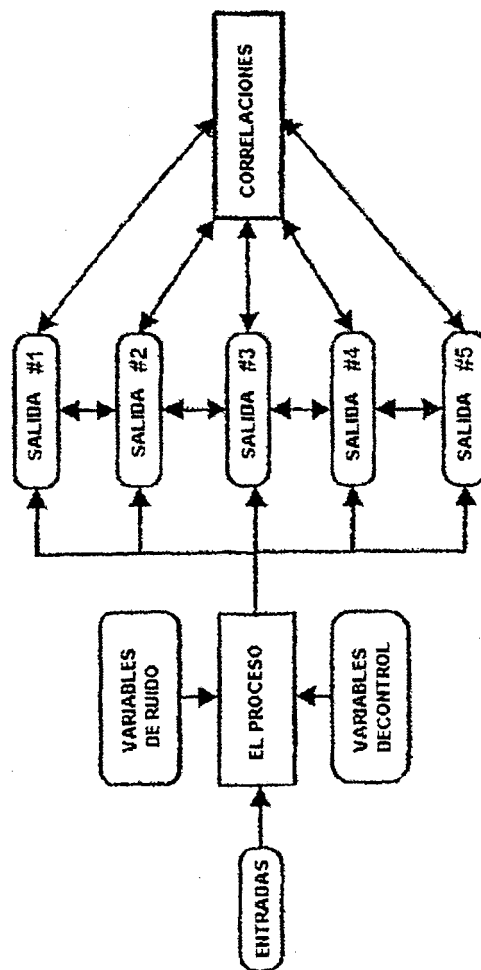
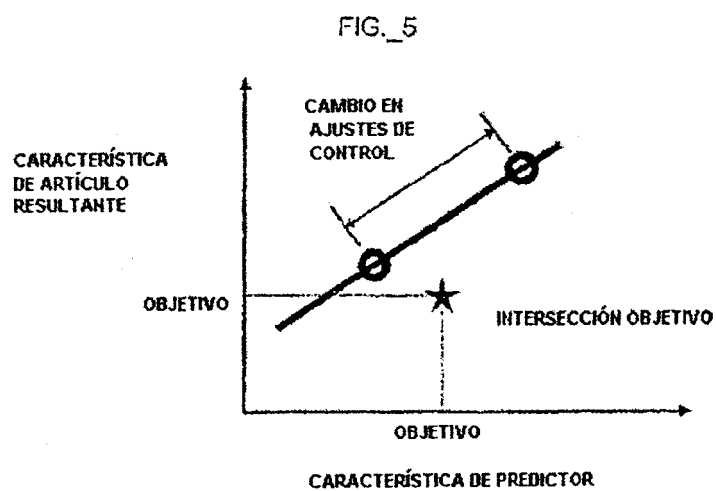
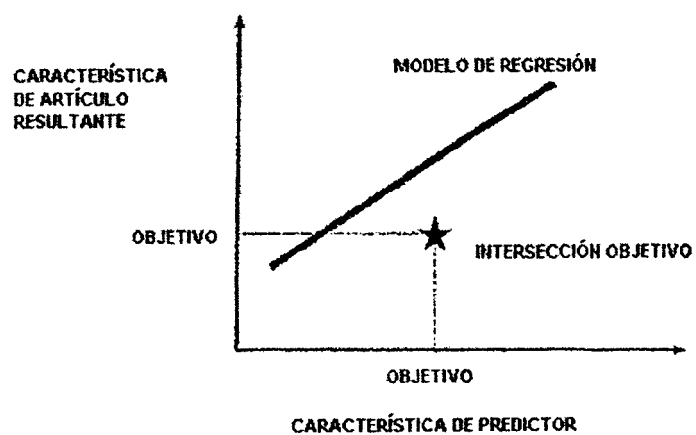


Fig._3



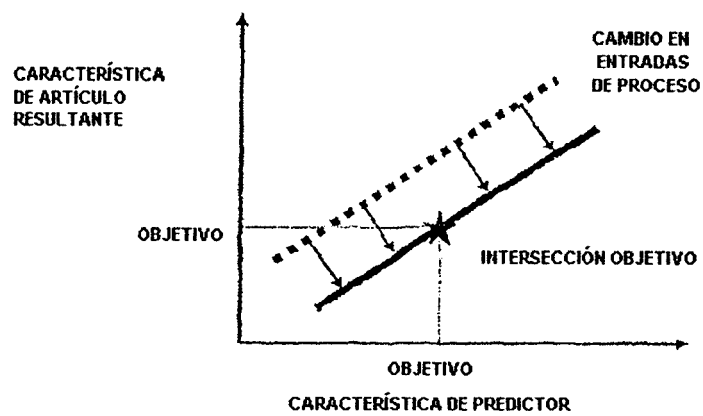
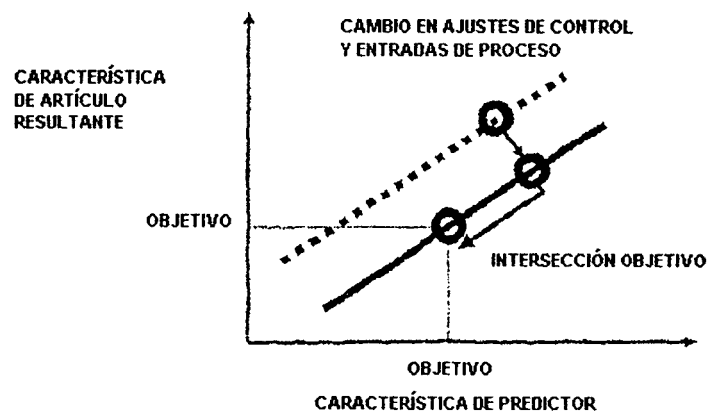


FIG._7



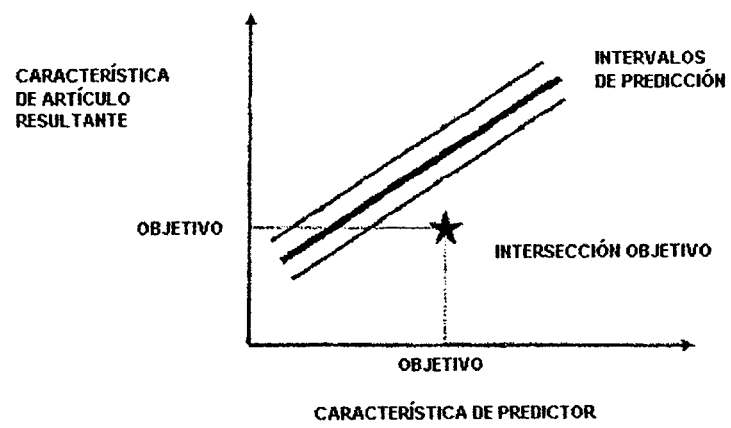


FIG._8

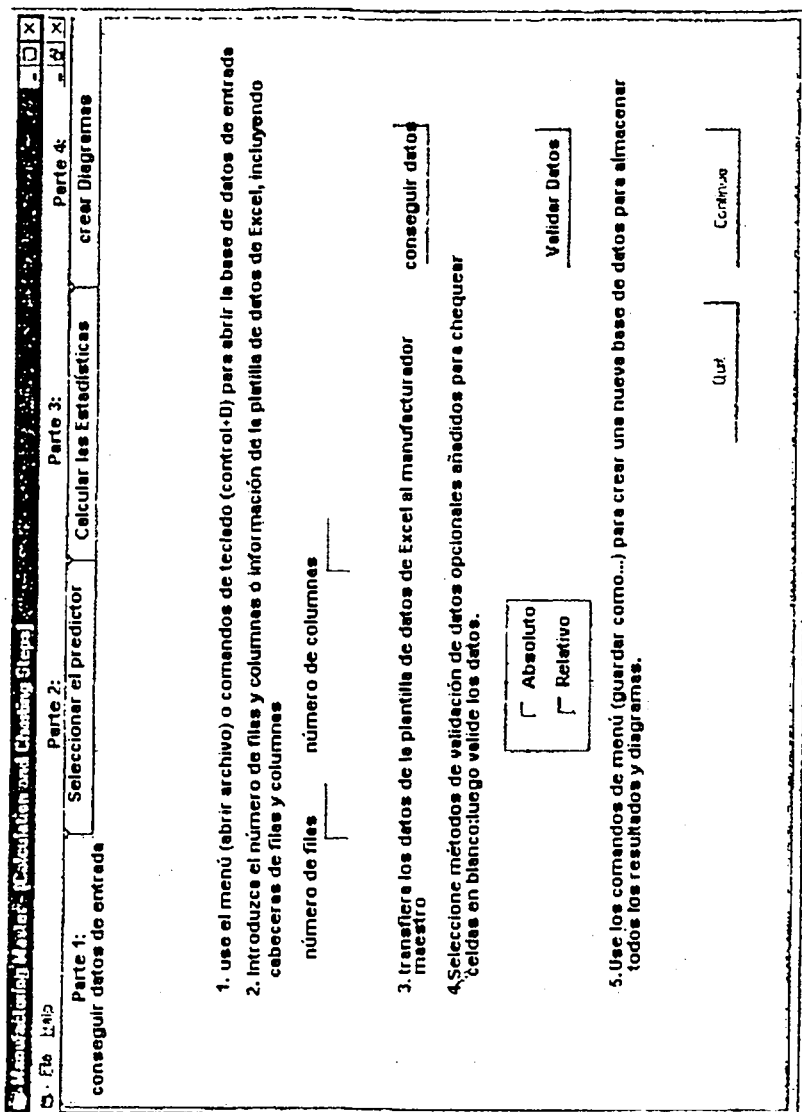


FIG. 9

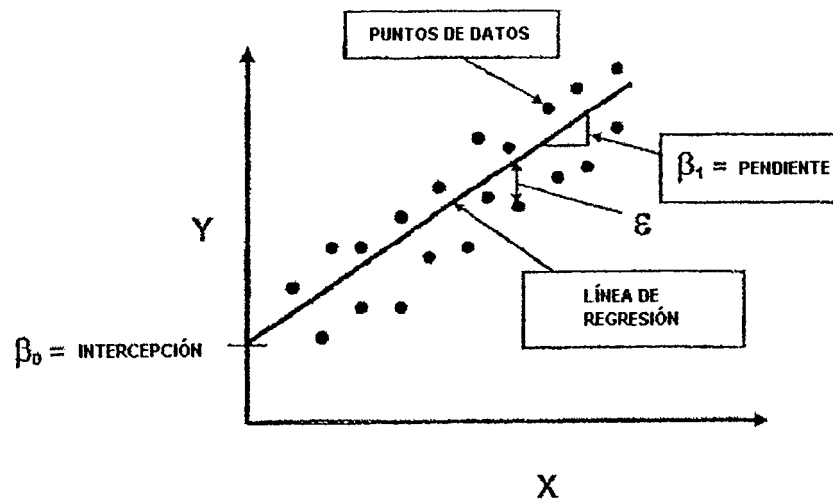
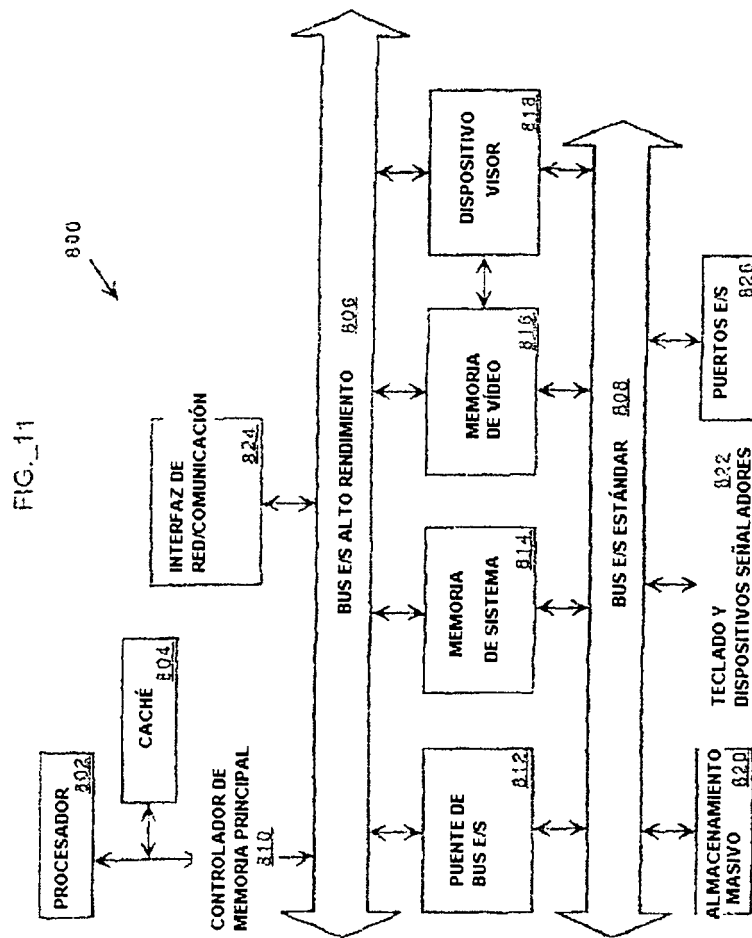


FIG._10



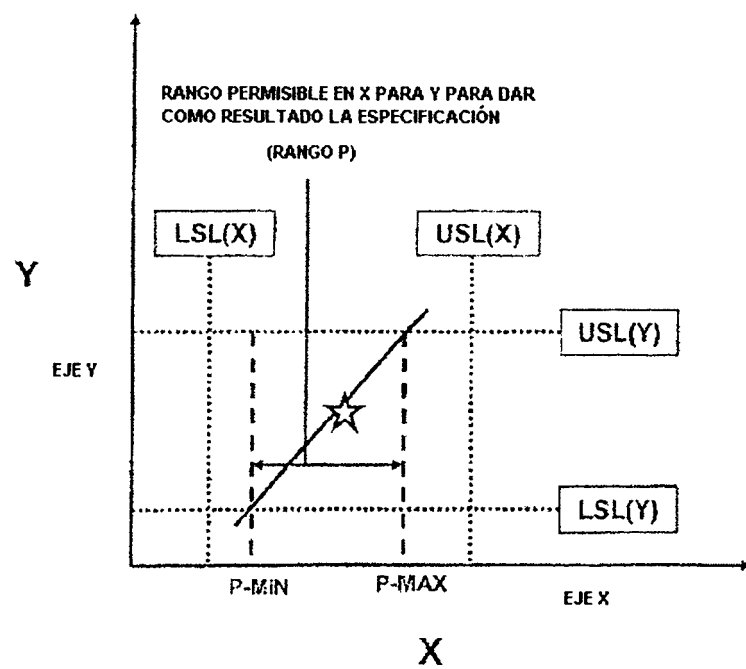


FIG._12

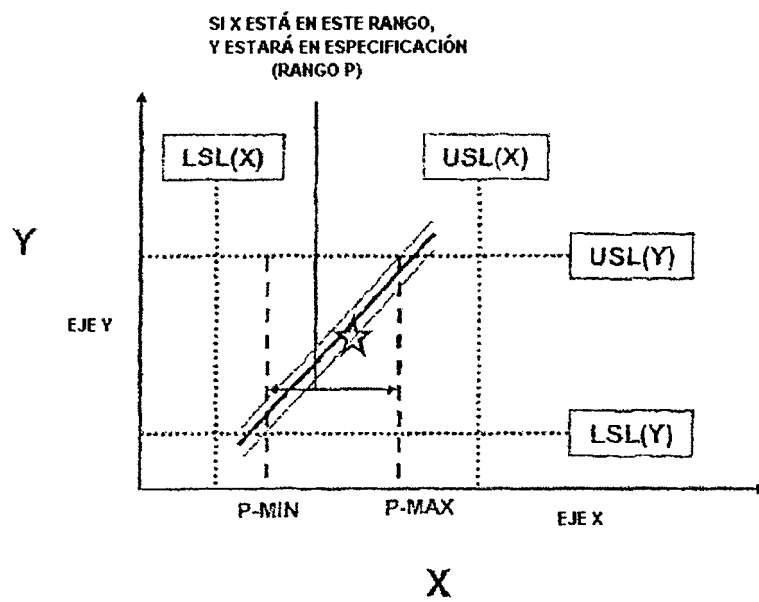


FIG._13

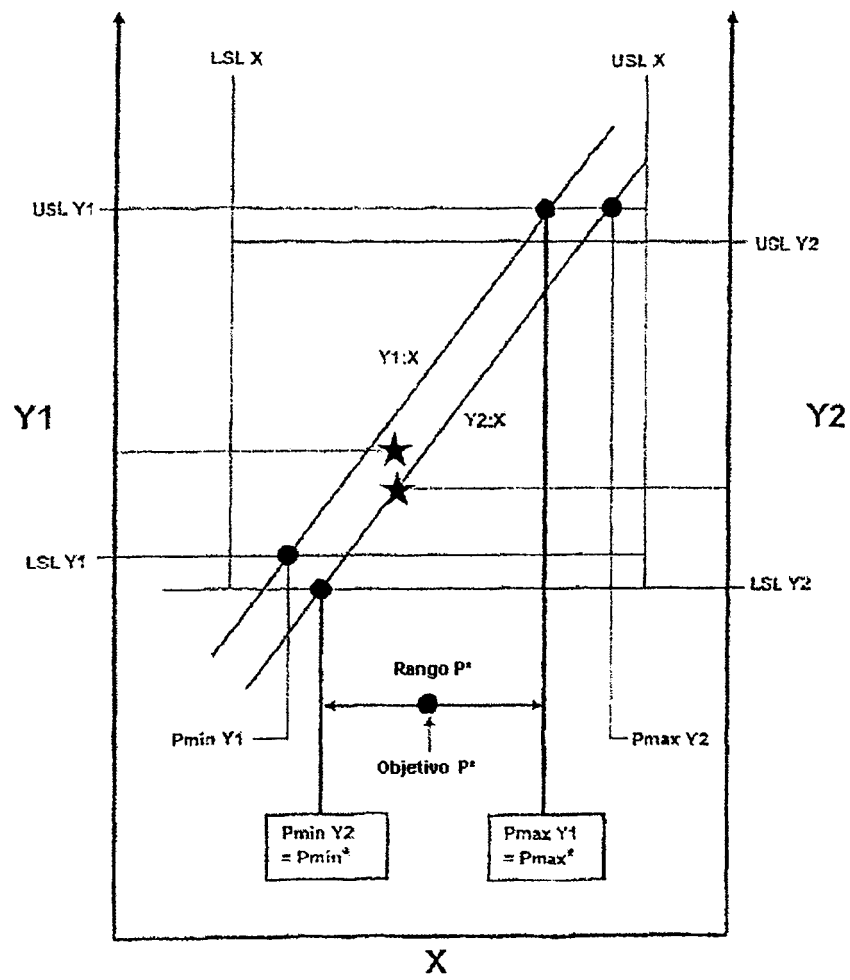


FIG. 14

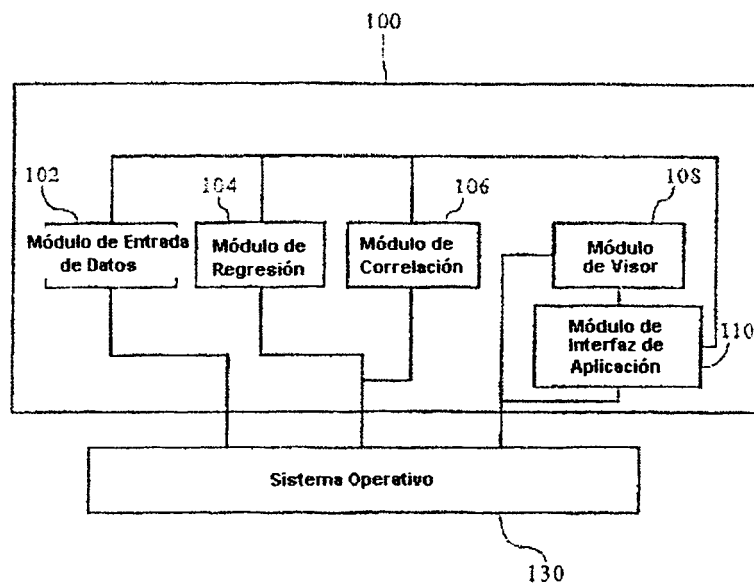


Fig._15

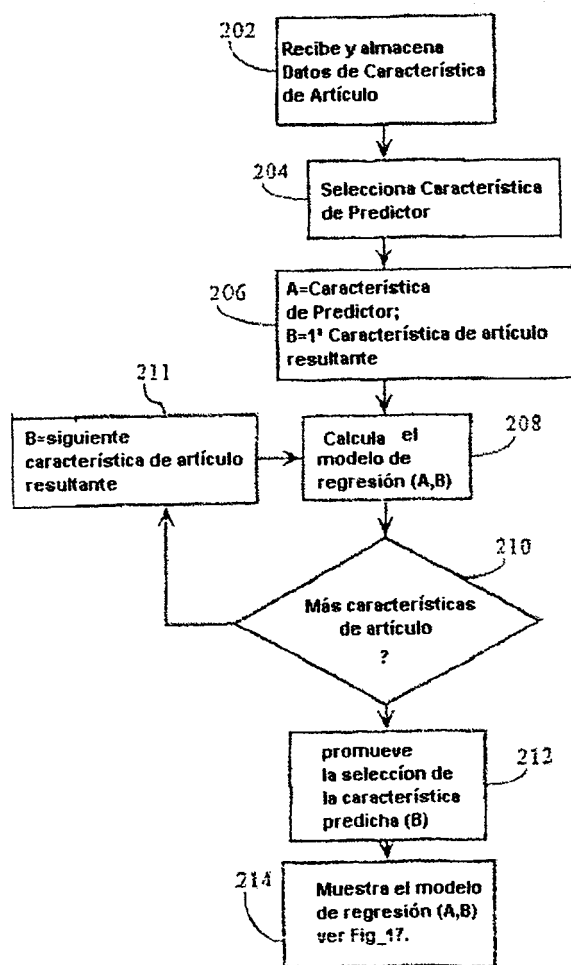


Fig._16

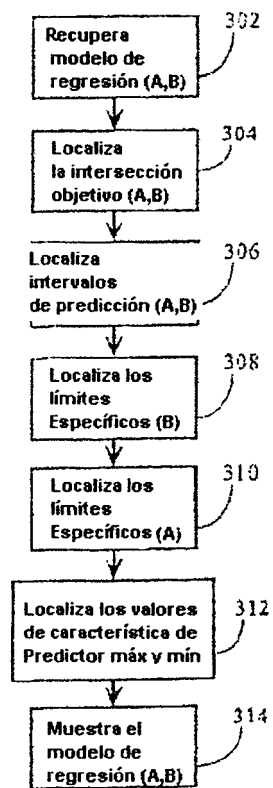


Fig. 17

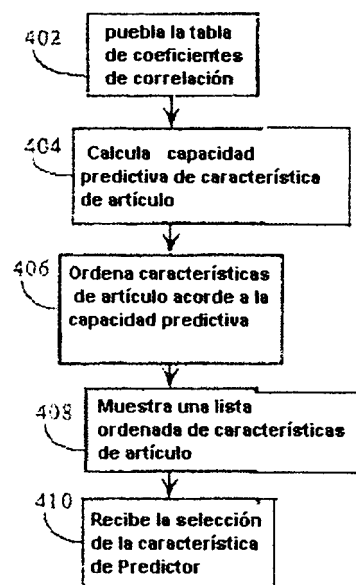
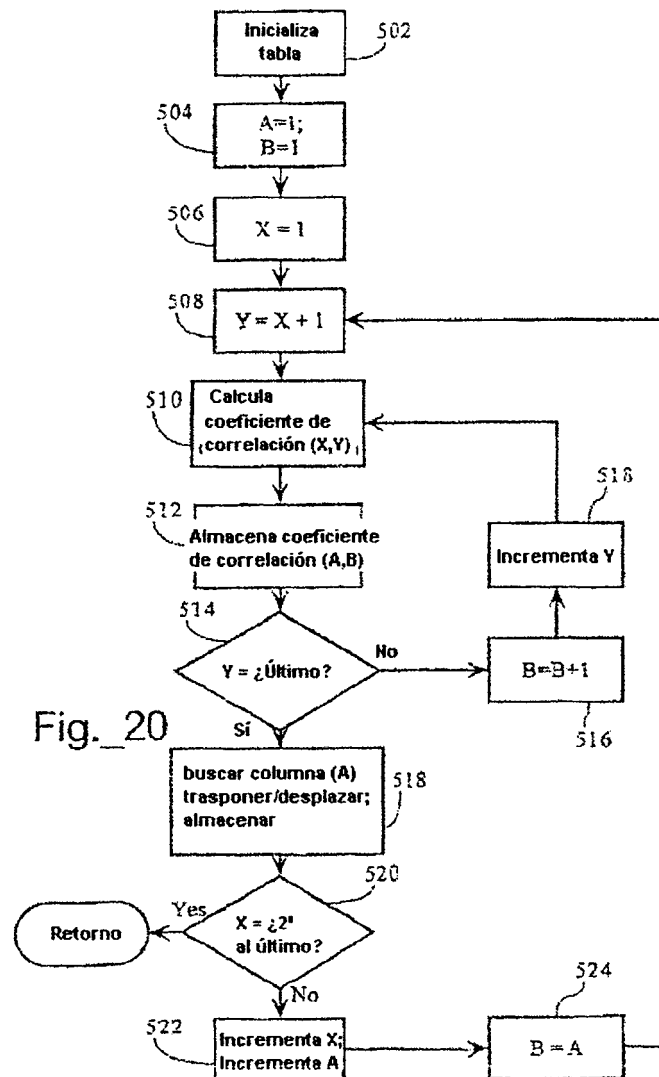


Fig._18

1	2	3	4	5	6	7	8
2	File/Col	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6
3	1	1	2	3	4	5	6
4	2	2	2.9	3.6	4.7	5.6	7
5	3	3	4	5	6	7	8
6	4	4	5.1	6.2	7.3	8.4	9
7	5	5	6	7	8	9	10
8							
9	Correlación	0.992232	0.998232	0.997054	0.993653	0.992233	1.000000
10	Correlación	0.997054	0.999284	0.999284	0.997299	0.994196	0.999232
11	Correlación	0.993653	0.997296	0.999354	0.999354	0.997630	0.997054
12	Correlación	0.999203	0.994166	0.997630	0.999410	0.999410	0.9993953
13	Correlación	1.000000	0.998232	0.997054	0.993653	0.992233	0.999203
14							
15	Promedio	0.995929	0.997848	0.998057	0.996673	0.999937	0.999029

FIG. 19



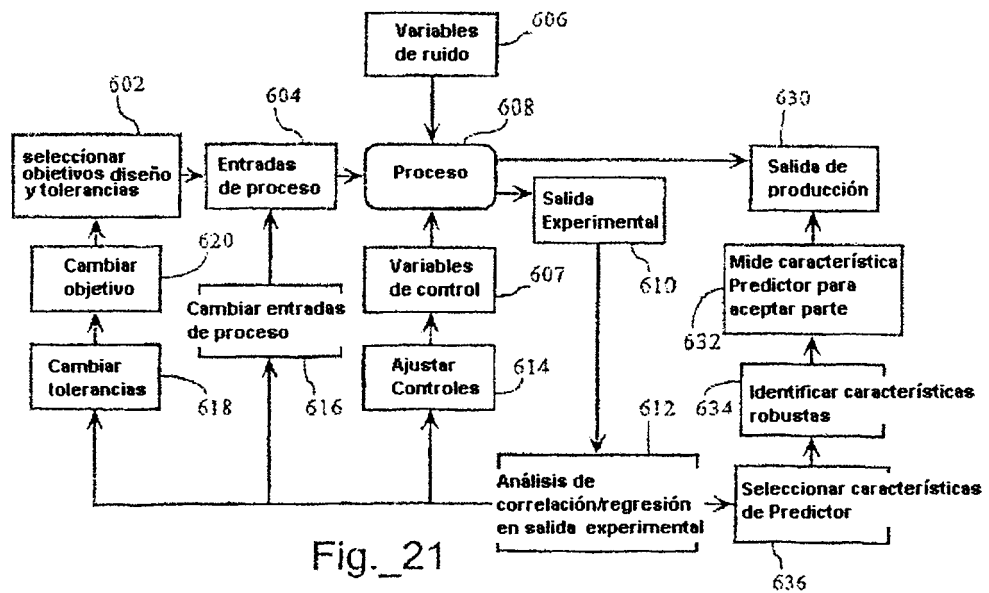


Fig._21

<u>CAVIDAD</u>	<u>FINAL</u>	<u>DIM.</u>	<u>P-MIN</u>	<u>P-MAX</u>
1	LARGO	1.785	NINGUNO	1.932
		1.925	1.924	1.934
		1.970	NINGUNO	NINGUNO
		2.065	1.920	1.929
1	CORTO	1.785	NINGUNO	NINGUNO
		1.925	1.921	1.938
		1.970	NINGUNO	NINGUNO
		2.065	NINGUNO	NINGUNO
2	LARGO	1.785	NINGUNO	1.938
		1.925	1.921	1.938
		1.970	NINGUNO	NINGUNO
		2.065	NINGUNO	1.931
2	CORTO	1.785	NINGUNO	1.937
		1.925	1.923	NINGUNO
		1.970	NINGUNO	NINGUNO
		2.065	NINGUNO	NINGUNO

FIG._22

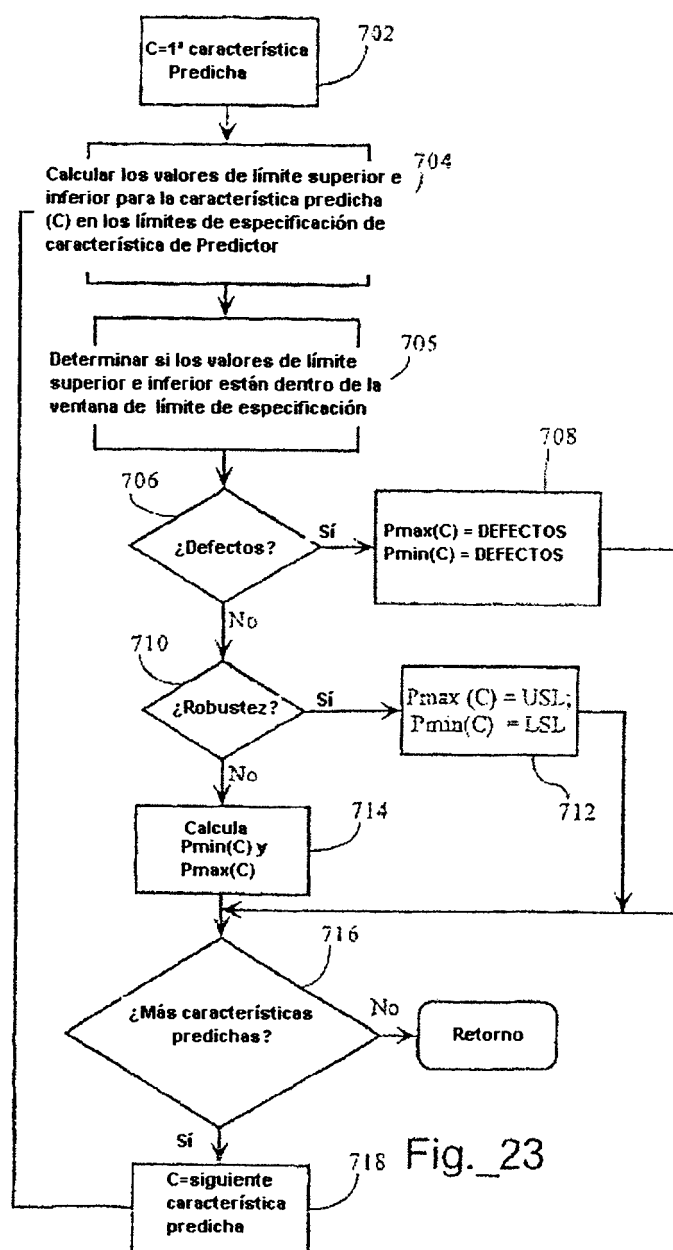


Fig. 23

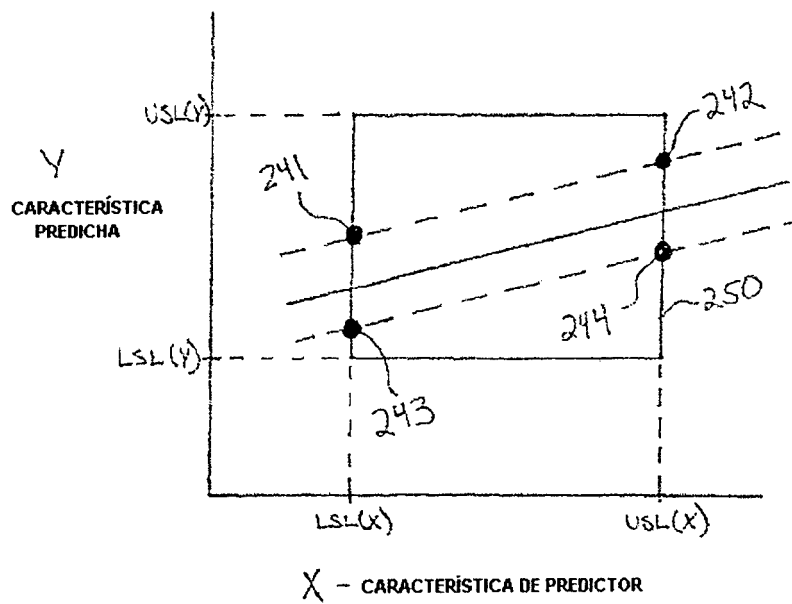


FIG. - 24

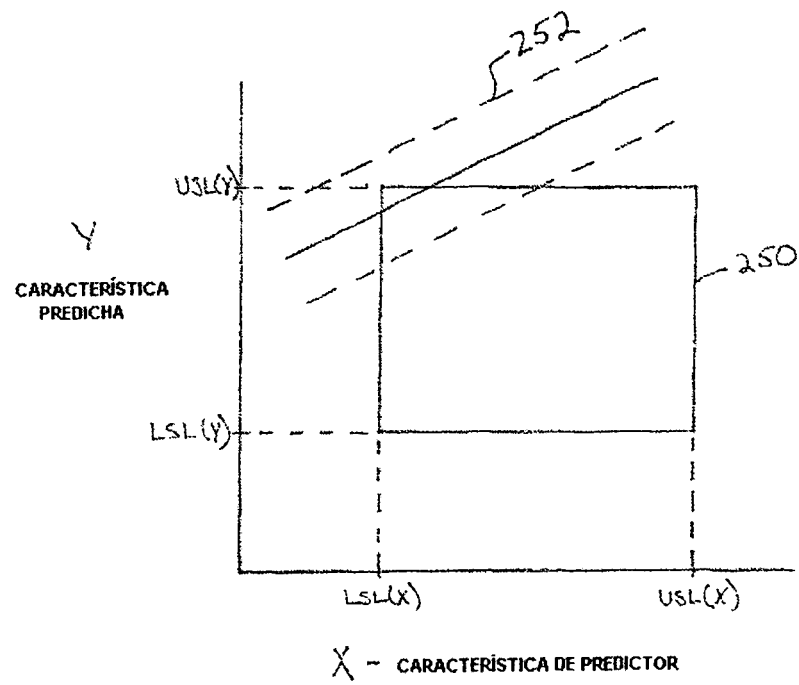


FIG. 25A

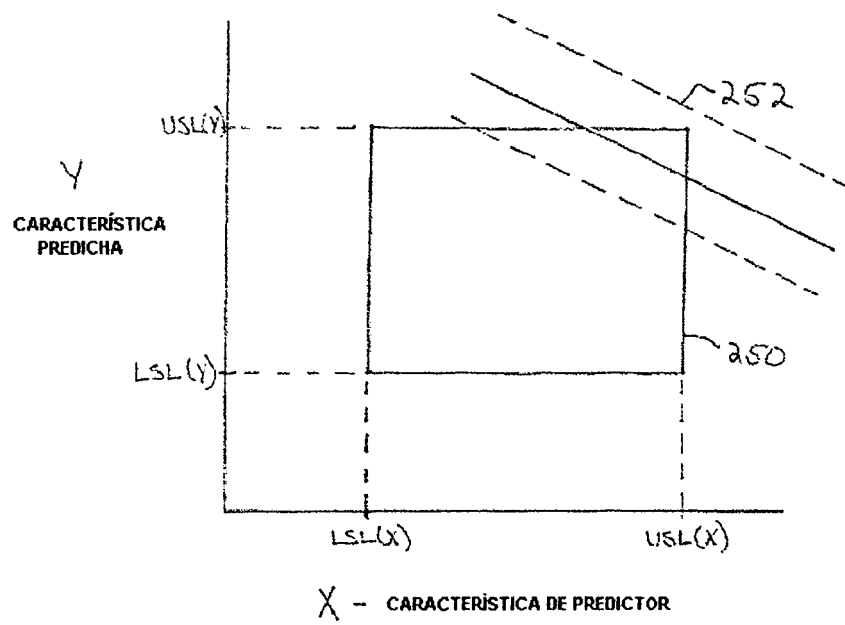


FIG. 25B

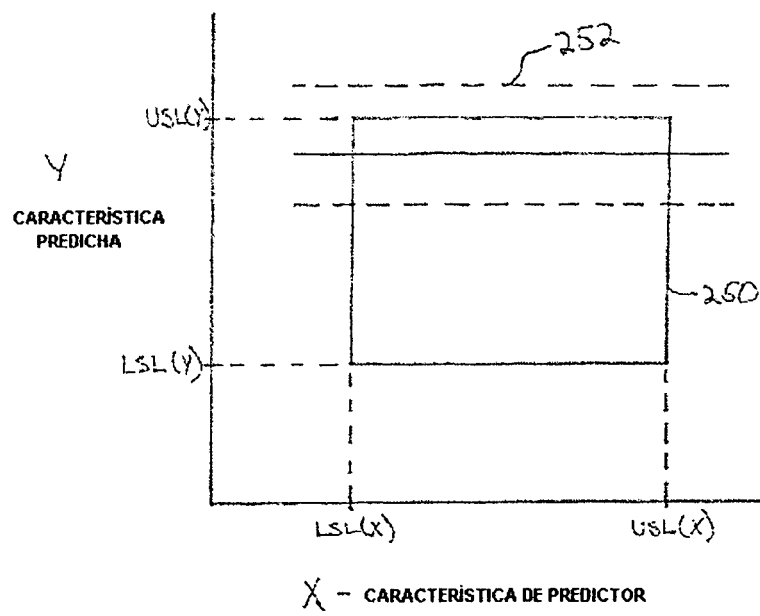


FIG. 25C

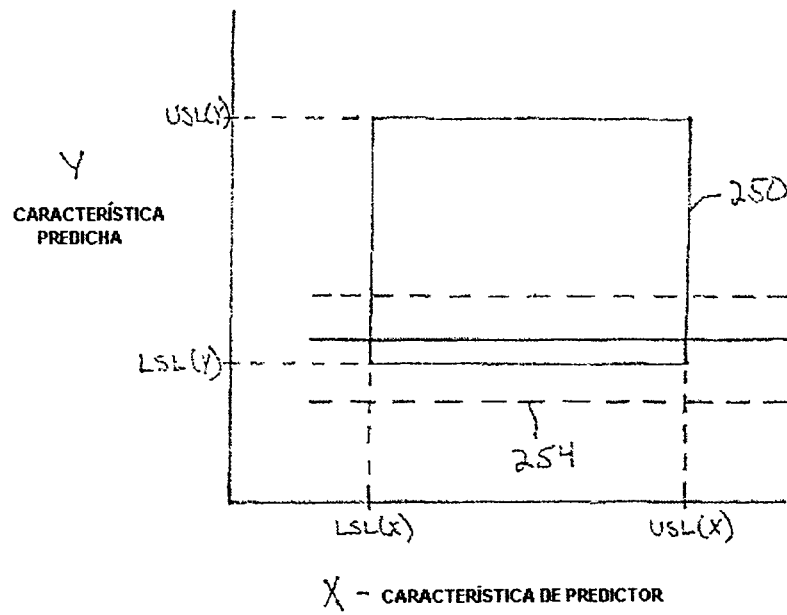


FIG. 25D

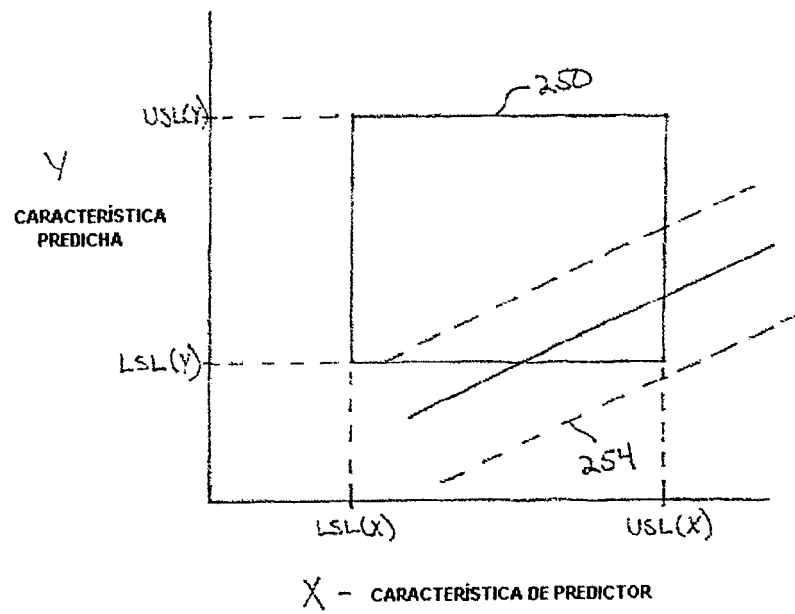


FIG. 25E

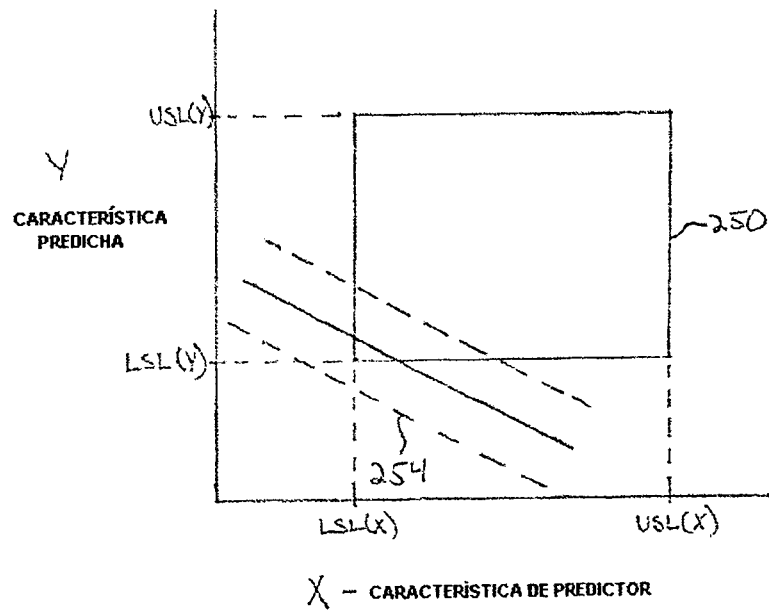


FIG. 25F

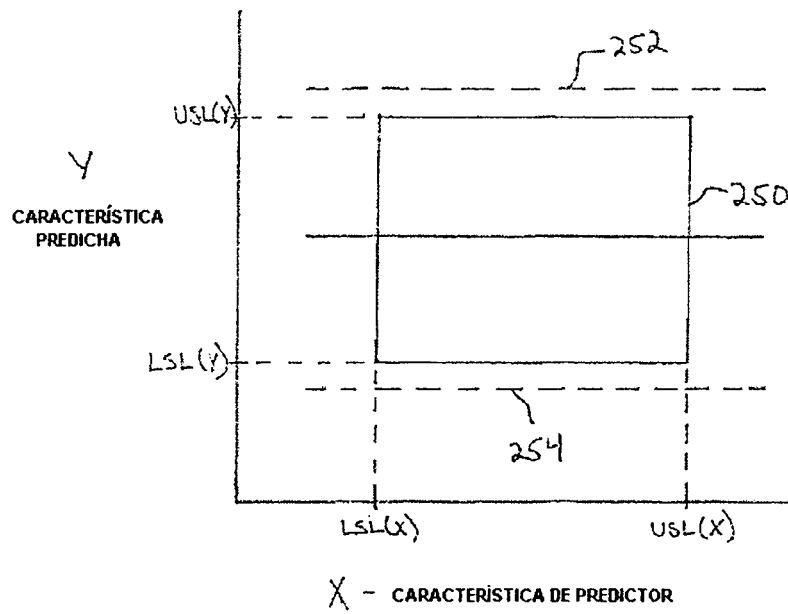


FIG. 25G

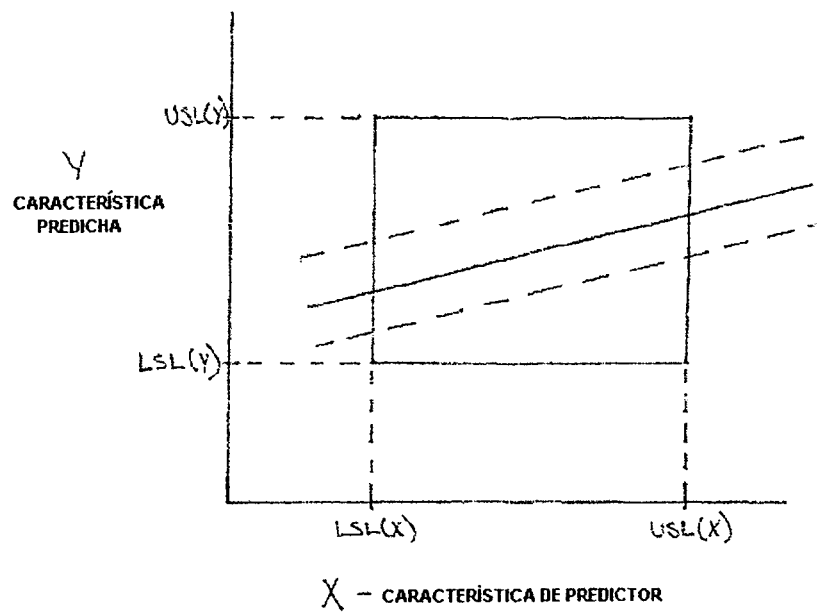


FIG. - 26A

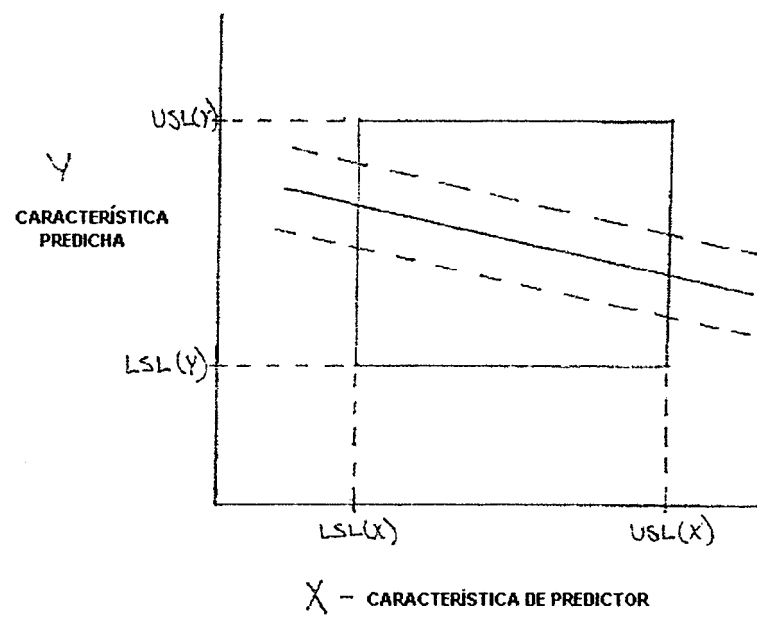


FIG. 26B

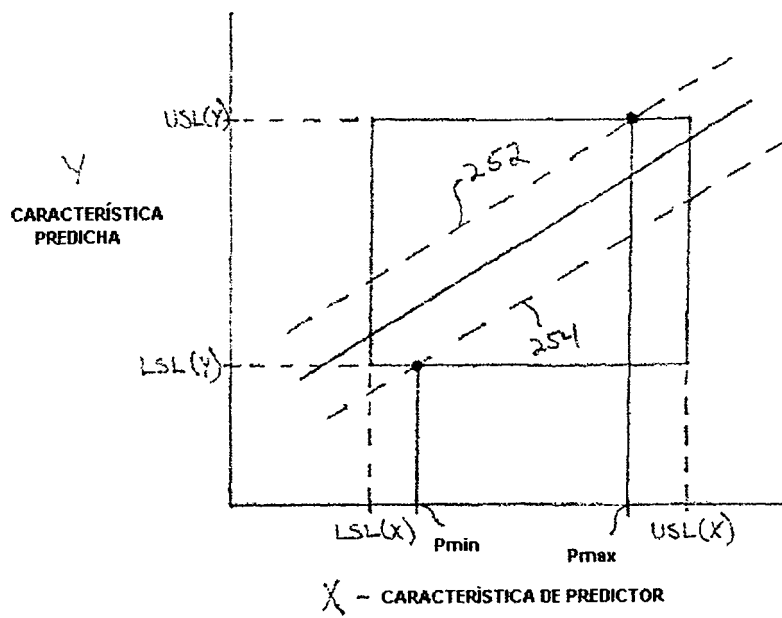


FIG. 27A

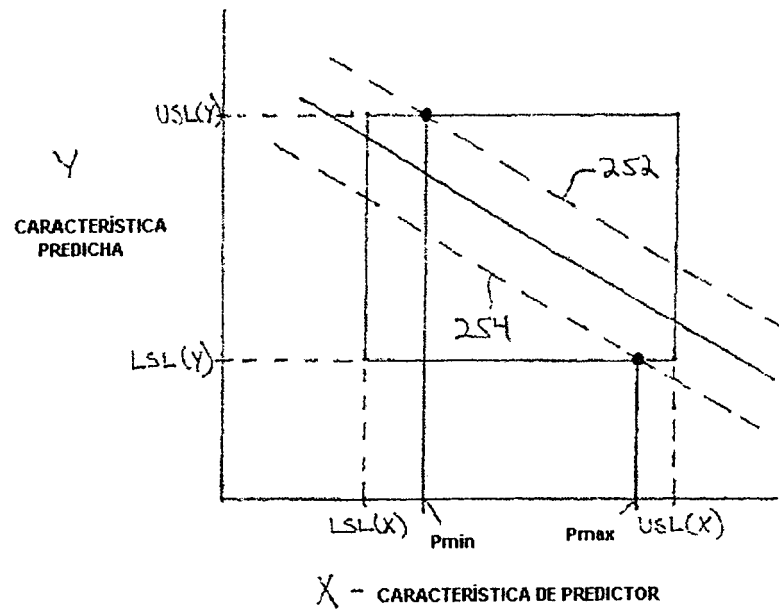


FIG. - 27B

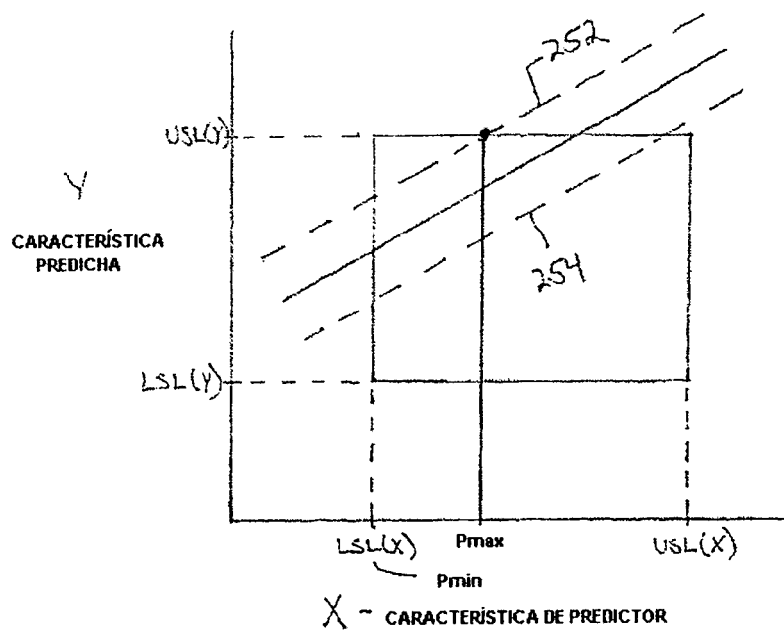


FIG. - 27C

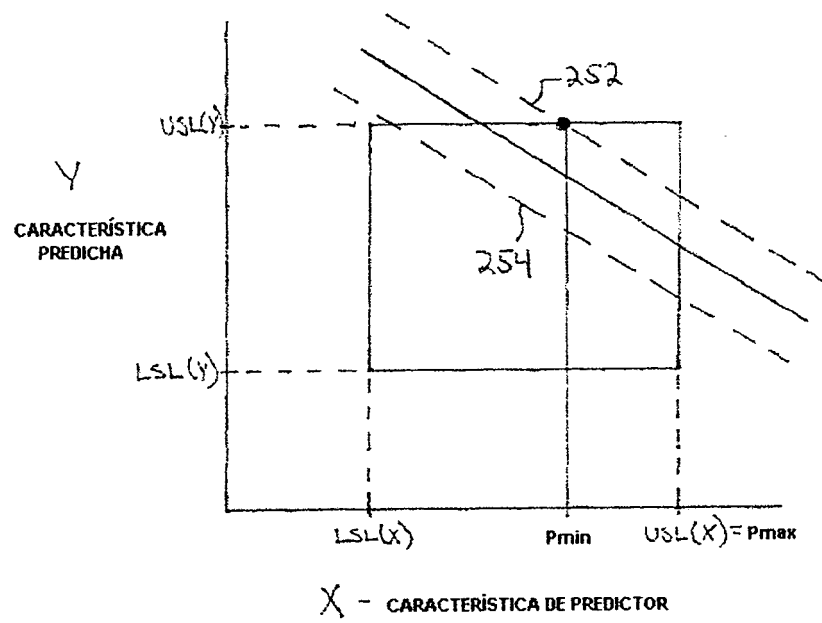


FIG. - 27D

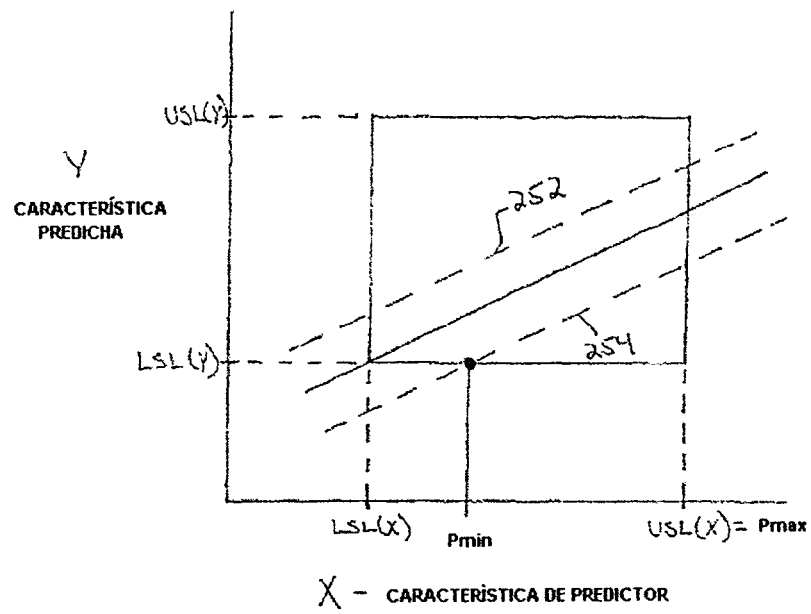


FIG. 27E

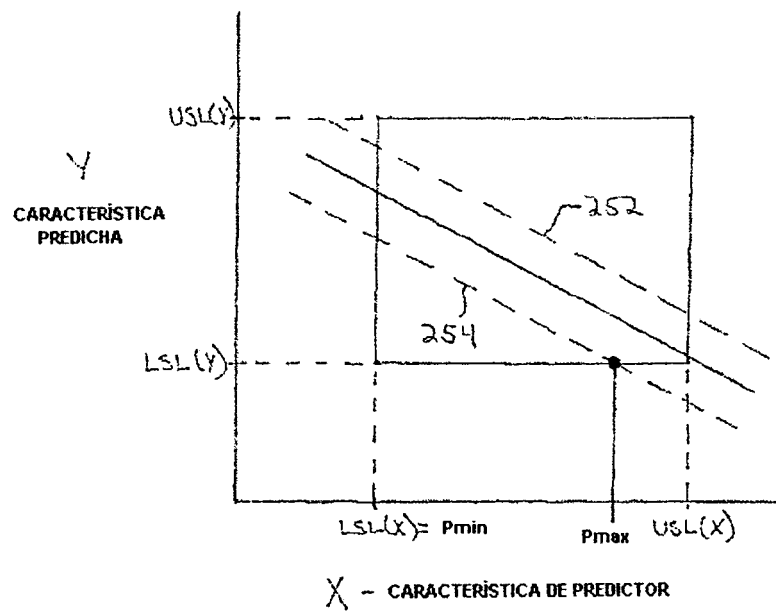
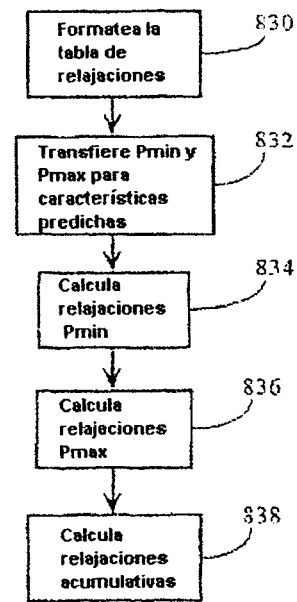
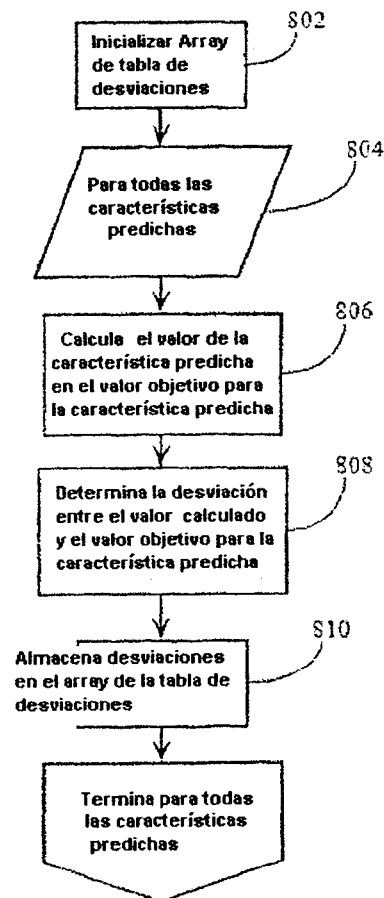


FIG. - 27F



**Tabla de
Desviaciones**

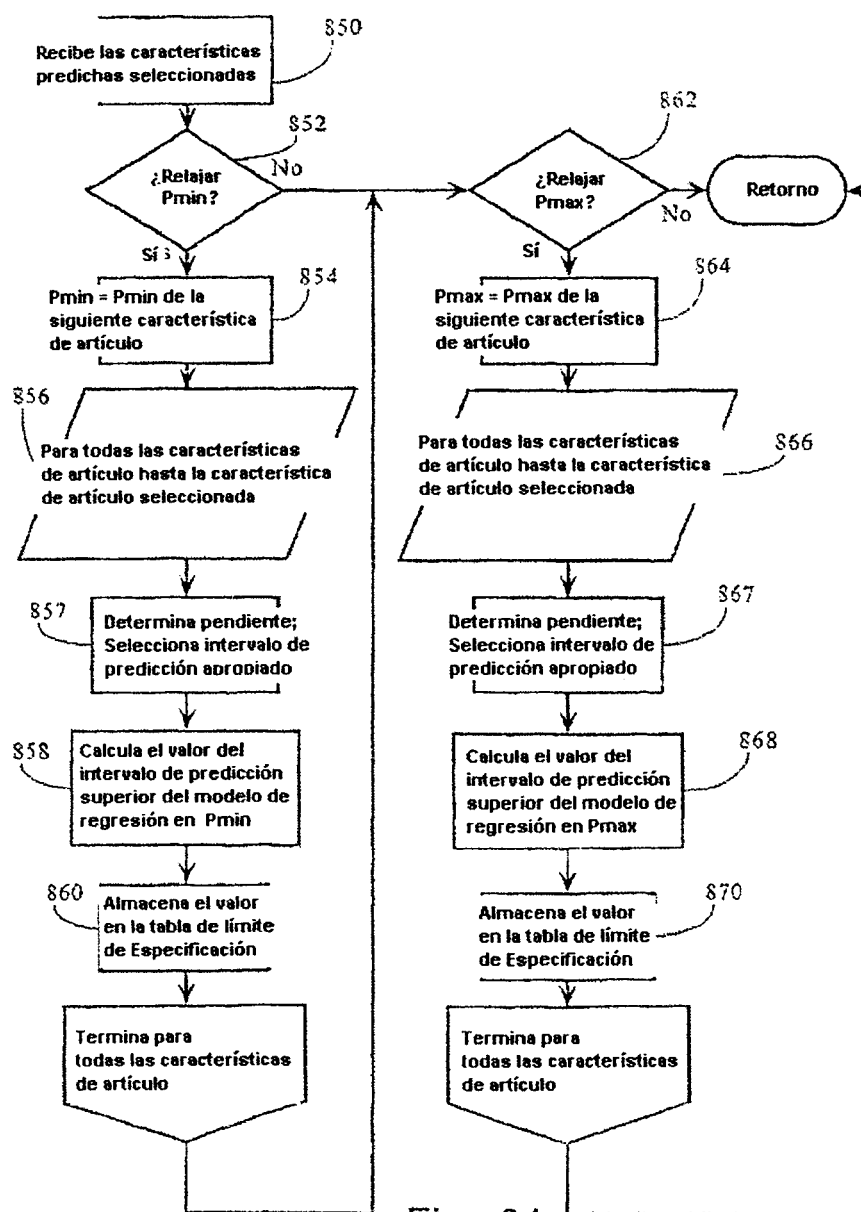
Nombre de Variable	Desviación Vertical
Var1	0.0035
Var2	0.0074
Var3	0.0049
Var4	0.0076
Var5	0.0056
Var6	0.0040
Var7	0.0060
Var8	0.0039
Var9	-0.0031
Var10	-0.0001
Var11	-0.0003
Var12	Predictor
Var13	-0.0009
Var14	-0.0020
Var15	-0.0021
Var16	-0.0031
Var17	0.0005
Var18	0.0026
Var19	0.0001
Var20	0.0016
Var21	-0.0005
Var22	0.0038
Var23	-0.0002
Var24	0.0027
Var25	-0.0003
Var26	0.0035
Var27	-0.0005
Var28	0.0024
Var29	0.0000
Var30	0.0025
Var31	-0.0005
Var32	0.0032

Fig._28B

Tabla de Relajación de Maestro de Correlación

Nombre de Variable	Pmin ordenados	Ganancia individual	Ganancia acumulada	Nombre de Variable	Pmin ordenados	Ganancia individual	Ganancia acumulada
Var16	6.3771	0.0004	0.0004	Var2	6.3776	0.0006	0.0006
Var13	6.3766	0.0005	0.0010	Var4	6.3782	0.0037	0.0043
Var11	6.3761	0.0002	0.0012	Var7	6.3819	0.0032	0.0045
Var9	6.3759	0.0002	0.0014	Var8	6.3821	0.0012	0.0057
Var10	6.3757	0.0016	0.0030	Var3	6.3833	0.0003	0.0058
Var15	6.3741	0.0005	0.0035	Var5	6.3833	0.0013	0.0071
Var14	6.3735	0.0001	0.0037	Var1	6.3847	0.0003	0.0074
Var8	6.3734	0.0017	0.0054	Var6	6.3849	0.0015	0.0089
Var1	6.3717	0.0012	0.0066	Var11	6.3864	0.0000	0.0089
Var2	6.3705	0.0007	0.0073	Var10	6.3864	0.0007	0.0096
Var3	6.3698	0.0006	0.0080	Var13	6.3871	0.0044	0.0139
Var6	6.3691	0.0001	0.0081	Var16	6.3915	0.0010	0.0149
Var4	6.3690	0.0000	0.0081	Var15	6.3925	0.0003	0.0152
Var5	6.3690	0.0000	0.0081	Var9	6.3928	0.0002	0.0154
Var7	6.3690	0.0000	0.0081	Var14	6.3930	0.0000	0.0154
Var17	6.3690	0.0000	0.0081	Var17	6.3930	0.0000	0.0154
Var18	6.3690	0.0000	0.0081	Var18	6.3930	0.0000	0.0154
Var19	6.3690	0.0000	0.0081	Var19	6.3930	0.0000	0.0154
Var20	6.3690	0.0000	0.0081	Var20	6.3930	0.0000	0.0154
Var21	6.3690	0.0000	0.0081	Var21	6.3930	0.0000	0.0154
Var22	6.3690	0.0000	0.0081	Var22	6.3930	0.0000	0.0154
Var23	6.3690	0.0000	0.0081	Var23	6.3930	0.0000	0.0154
Var24	6.3690	0.0000	0.0081	Var24	6.3930	0.0000	0.0154
Var25	6.3690	0.0000	0.0081	Var25	6.3930	0.0000	0.0154
Var26	6.3690	0.0000	0.0081	Var26	6.3930	0.0000	0.0154
Var27	6.3690	0.0000	0.0081	Var27	6.3930	0.0000	0.0154
Var28	6.3690	0.0000	0.0081	Var28	6.3930	0.0000	0.0154
Var29	6.3690	0.0000	0.0081	Var29	6.3930	0.0000	0.0154
Var30	6.3690	0.0000	0.0081	Var30	6.3930	0.0000	0.0154
Var31	6.3690	0.0000	0.0081	Var31	6.3930	0.0000	0.0154
Var32	6.3690	0.0000	0.0081	Var32	6.3930	0.0000	0.0154
Var12	6.3690	0.0000	0.0081	Var12	6.3930	0.0000	0.0154

FIG. 30



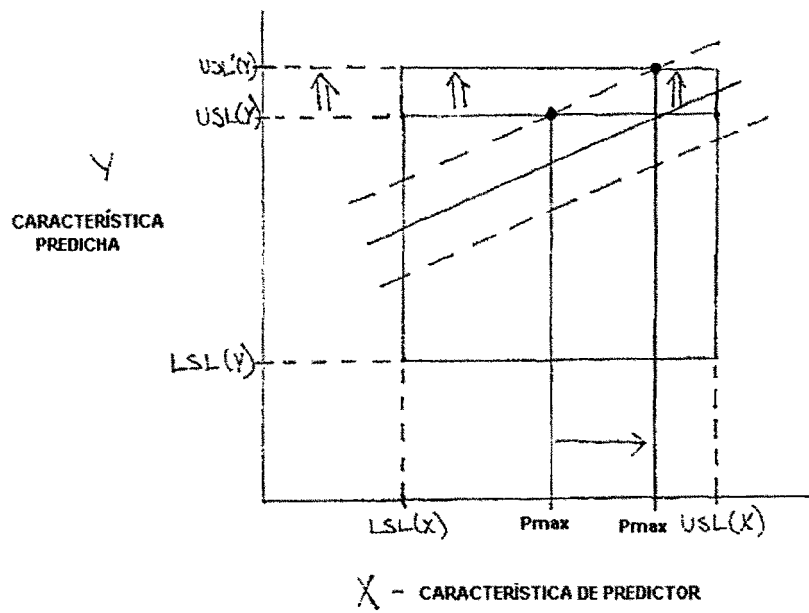


FIG. 32A

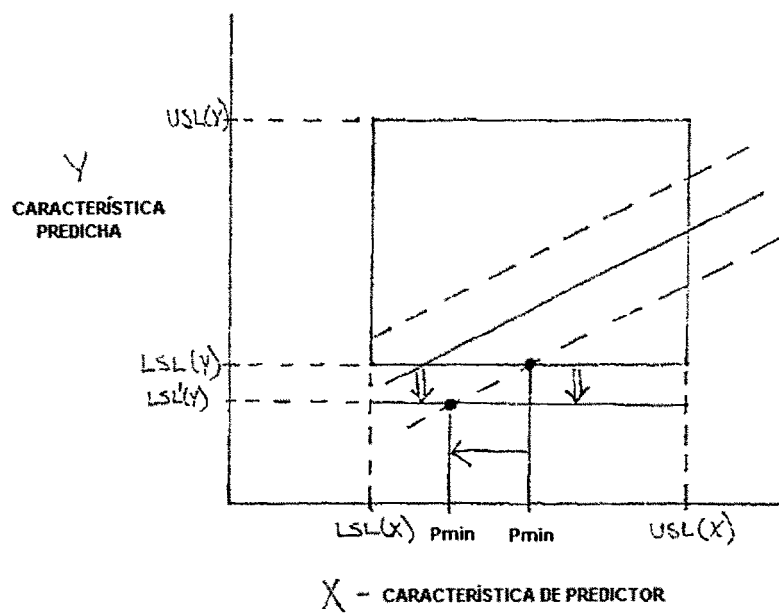


FIG. 32B

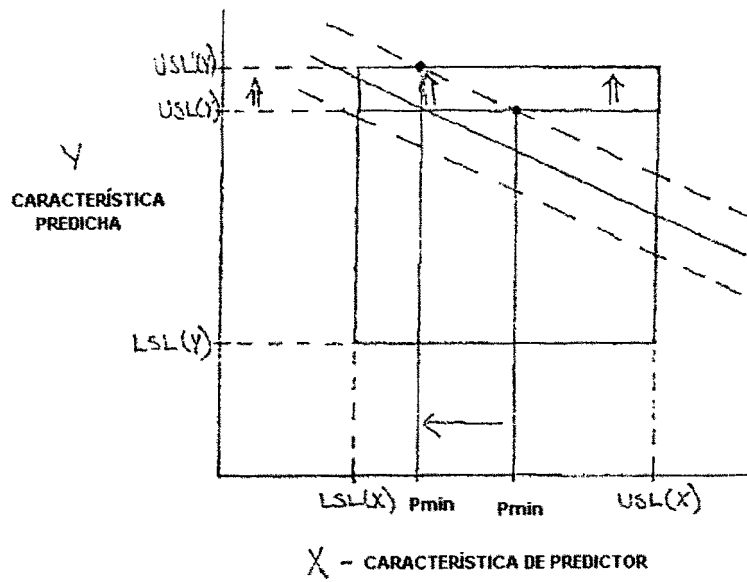


FIG. - 32C

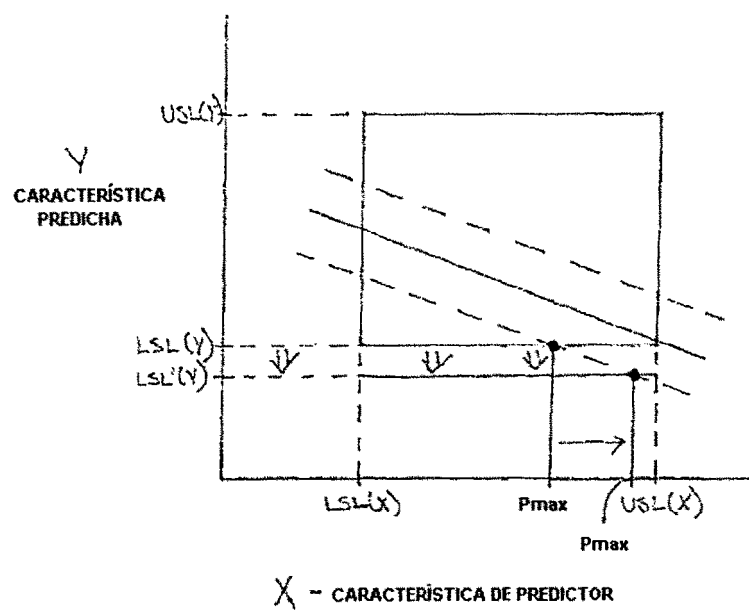


FIG. 32D

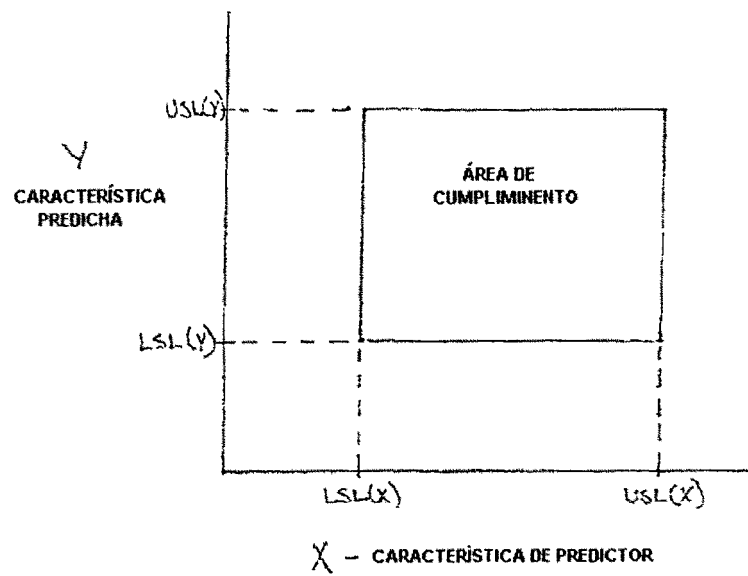


FIG. - 33A

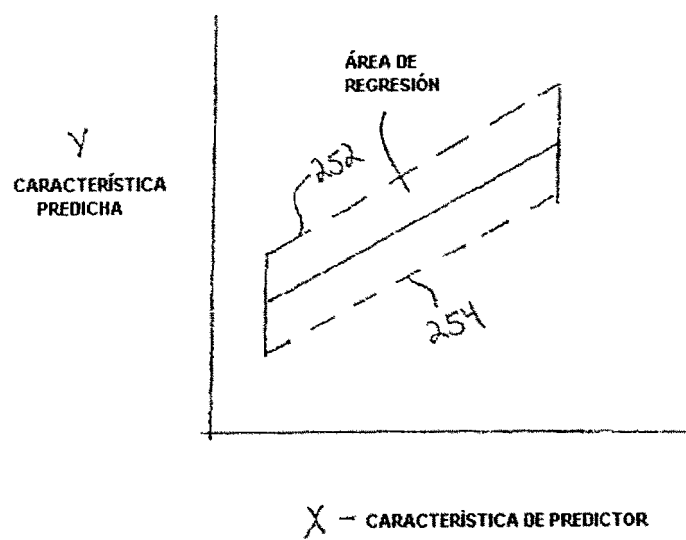


FIG. - 33B

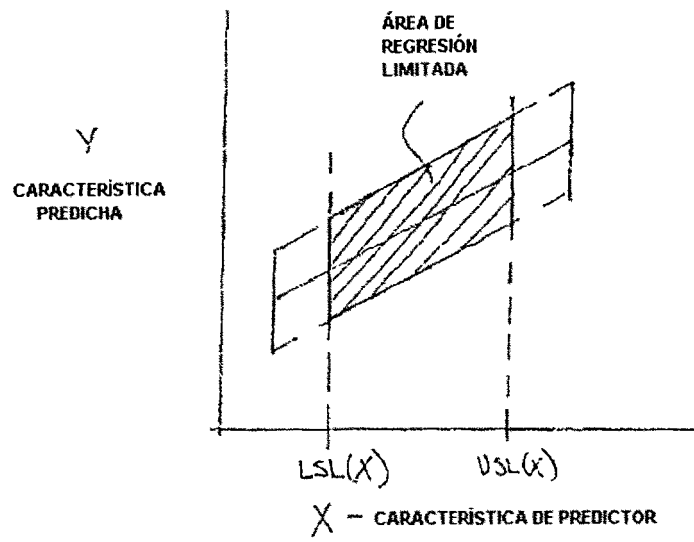


Fig. - 33C

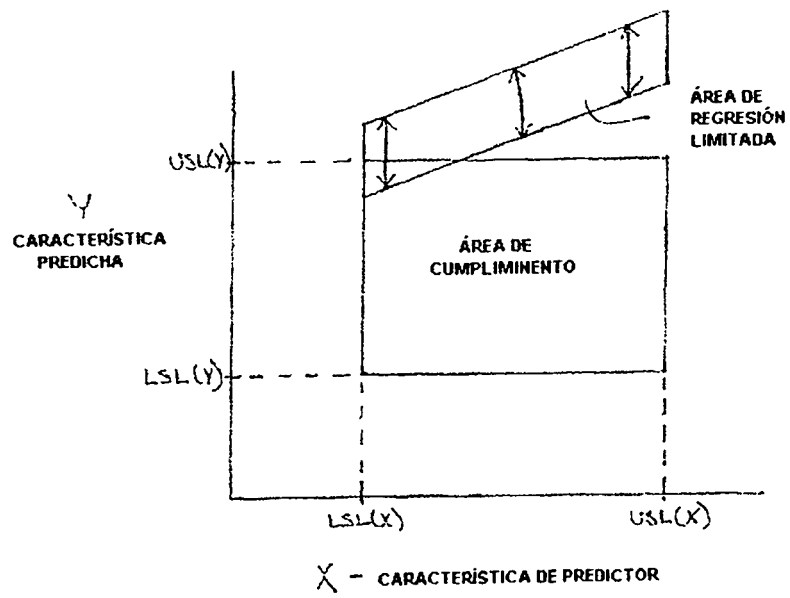


FIG. 33D