



CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL CONTROL DE  
PROCESO EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE  
PIGMENTOS METÁLICOS

***“LA EXCELENCIA DE METAPOL ESTA EN SU  
CALIDAD”***

---

# CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL CONTROL DE PROCESO EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE PIGMENTOS METÁLICOS.

M. EN C. FERNANDO AGUIRRE S.\*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los metales de oro y plata han representado a lo largo de la historia del hombre, un motivo religioso, sagrado, de nobleza, de autoridad, de prestigio y de distinción, transcurriendo desde las culturas más antiguas de la humanidad hasta nuestra era de modernidad. En este sentido los pigmentos metálicos de Cobre-Zinc, para imitar el color Oro y de Aluminio, para imitar el color Plata, han representado la alternativa económica para introducir estos colores de glamour y distinción en prácticamente todos los campos de aplicación (recubrimientos, repintado automotriz, plásticos, artes gráficas, electrónicos, etc.)

El desarrollo tecnológico en la fabricación de estos pigmentos metálicos, que tuvo su inicio formal en el siglo pasado, ha estado acompañado del propio desarrollo económico, social y tecnológico que la humanidad ha registrado; de esta manera el proceso de fabricación de estos pigmentos ha pasado desde una etapa puramente artesanal y experimental de prueba y error, hasta una etapa técnico-cien-

tífica, donde la incorporación de los últimos avances tecnológicos en electrónica y sistemas computacionales son fundamentales en el control de procesos; así como los conceptos de calidad y respeto al medio ambiente, traducidos éstos a través de la certificación ISO 9001, ISO 14001 y Empresa Limpia, las cuales son razón compromiso para garantizar SERVICIO, ATENCIÓN E INNOVACIÓN.

El control de proceso dentro de la fabricación de los pigmentos metálicos, es una parte fundamental y de vital importancia para asegurar la calidad del producto, es por ello que en este artículo se parte de la identificación de las variables principales a controlar a lo largo del proceso, pues de su adecuado control dependen las características del pigmento y con ello el cumplimiento de las expectativas y necesidades del cliente.

En este sentido, la propuesta del presente artículo es dar una explicación técnica de los pigmentos metálicos de Cobre-Zinc y de Aluminio, a través de los fundamentos tecnológicos involucrados en el propio control de proceso. Es decir, se estudiará y analizará a los pigmentos metálicos desde su

---

\* El Ing. Aguirre es miembro de Metapol desde hace 25 años y actualmente ocupa el puesto de Gerente General.

propio proceso de fabricación, con lo cual se tratará de facilitar su pleno entendimiento.

## **2. FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS EN EL CONTROL DE PROCESO.**

Los principales avances tecnológicos en la fabricación de pigmentos metálicos, se han dado fundamentalmente en el control de proceso y de calidad del producto, estos hechos han sido una consecuencia derivada de las exigencias de los clientes, que día con día buscan en el mercado mejores productos con mayor número de beneficios. Beneficios tales como: brillantez, cubrición, limpieza, rendimiento, resistencia química, repetibilidad y reproducibilidad en las variables que integran la calidad, entrega a tiempo, servicio al cliente y otros más; lo cual ha permitido su aprovechamiento de nuevas e innovadoras técnicas metalúrgicas, físicas, químicas y de sistemas para dar respuesta a las cada vez más exigentes expectativas de los clientes.

Algunas de estas técnicas y que son parte del control de proceso y que han permitido el desarrollo y evolución de los pigmentos metálicos son:

1. Control en el proceso de fabricación.
2. Control y medición del recubrimiento de la partícula.
3. Control y medición de la granulometría de la partícula.
4. Control, observación e interpretación de la forma y geometría de la partícula.

## **2.1 CONTROL EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN.**

Cumplir con las expectativas del cliente día a día se ha convertido en uno de los grandes retos de todo proveedor que se precie de dar CALIDAD. Entendida ésta como SERVICIO, ATENCIÓN E INNOVACIÓN.

El proceso de fabricación de pigmentos metálicos involucra desde la maquinaria, equipo y sistemas periféricos de control, hasta los sistemas técnico-administrativos de aseguramiento de la calidad, los cuales en su totalidad forman parte del Control de Proceso, para el caso de estudio se analizarán los siguientes conceptos:

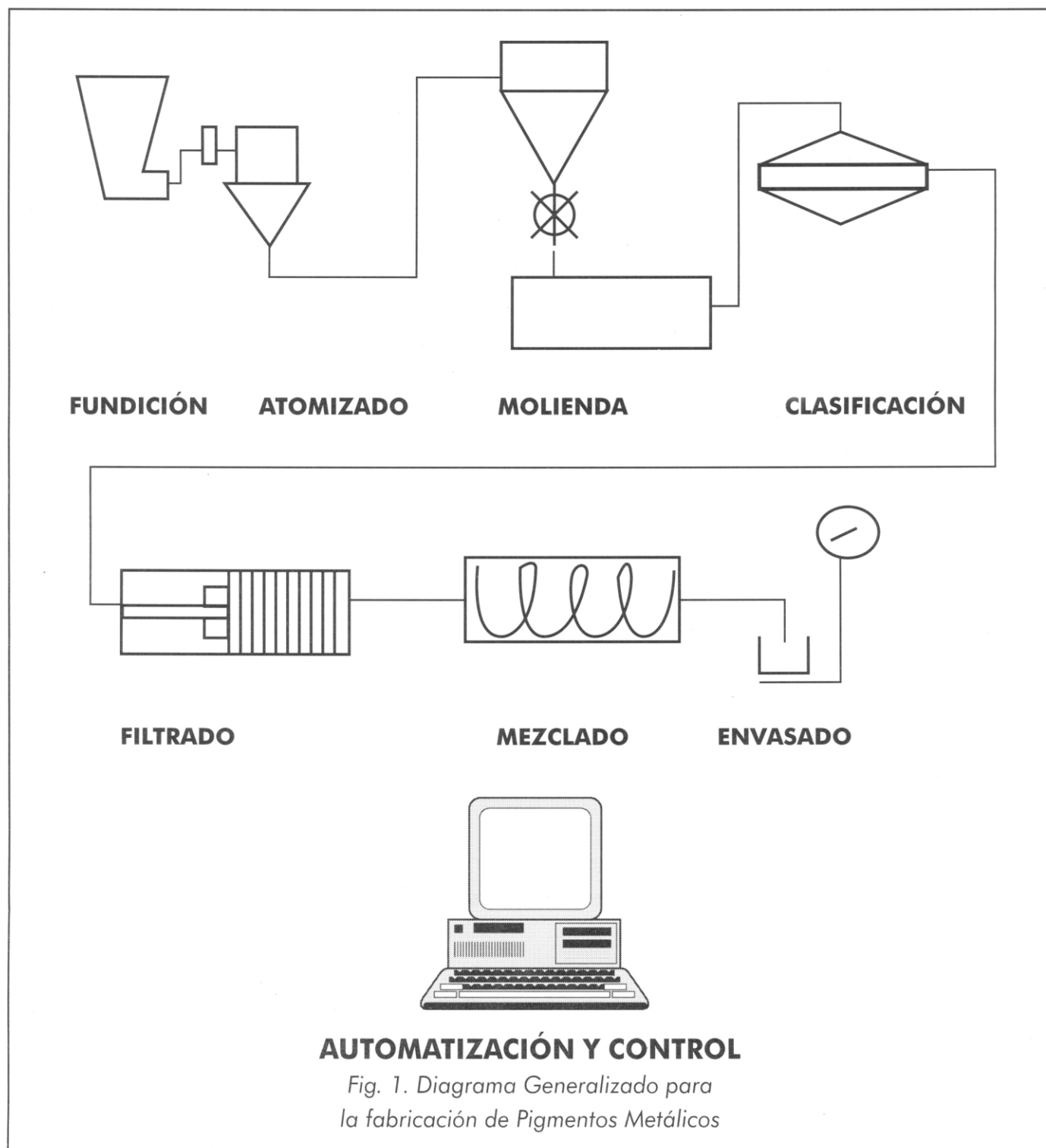
1. MAQUINARIA, EQUIPO Y SISTEMAS PERIFÉRICOS.
2. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO (CEP).
3. METROLOGÍA.

### **2.1.1 MAQUINARIA, EQUIPO Y SISTEMAS PERIFERICOS.**

Hablar de maquinaria y equipo dentro de los procesos de fabricación de pigmentos metálicos, involucra hablar de calidad y control en el proceso. No es ajeno pensar que el desarrollo y evolución de este tipo de productos está acompañado del propio desarrollo tecnológico de los materiales de construcción, del diseño y de los procesos de manufactura.

El proceso mismo en la fabricación de pigmentos metálicos de Cu-Zn y de Al involucra maquinaria y equipo altamente sofisticado, así como sistemas

periféricos que permitan su control y la seguridad del proceso, ver figura 1.



### **AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

*Fig. 1. Diagrama Generalizado para la fabricación de Pigmentos Metálicos*

Este hecho fundamental explica el paso de la estampadora (máquina vertical con una serie de martillos que opera por gravedad, caída libre) de muy baja productividad, al molino de bolas, el cual ha ido evolucionando en función del desarrollo tecnológico de materiales, nuevas aleaciones.

La etapa de molienda de la partícula de metal no ferroso, como parte central y fundamental en la fabricación de pigmentos metálicos, involucra un proceso mecánico de fragmentación, laminación y pulido, en donde el impacto por el efecto cascada de los balines y la fricción de éstos contra las paredes del molino introducen por sí mismos un alto desgaste entre los elementos que están en contacto.

La molienda seca en las aleaciones de Cu-Zn y la molienda húmeda en el Aluminio representa, como ya se dijo, un alto desgaste del envoltorio del molino y con ello la posibilidad de contaminación de partículas de acero al carbono en el pigmento metálico, restándole con ello propiedades de leafing y distintividad de imagen, claridad y limpieza. Este problema de desgaste por fricción no sólo afecta la calidad del producto sino además afecta la calidad en el precio, por el alto costo de mantenimiento del equipo. De estos dos problemas el primero ha sido posible solucionarlo y mantenerlo bajo control, colocando a lo largo del proceso una serie de imanes que retienen este contaminante ferroso; el segundo problema se ha podido resolver en las últimas dos décadas, gracias al desarrollo de nuevas aleaciones resistentes al desgaste y susceptibles de ser manufacturadas.

Este es sólo un ejemplo de cómo el desarrollo tecnológico de materiales de construcción, de diseño

y de los procesos de manufactura ha influido de manera determinante en el desempeño de los pigmentos metálicos, por ello un fabricante que se precie de ser líder en la fabricación de estos pigmentos, necesariamente debe estar manejando tecnología de punta.

Así los sistemas electrónicos y computacionales son acompañantes indispensables en este proceso de evolución tecnológica y representan la garantía de calidad de precio, de servicio y de producto en la aplicación de los pigmentos metálicos. Este tipo de sistemas periféricos, ha permitido en las últimas dos décadas el control óptimo en la fabricación de pigmentos metálicos, donde se requiere un monitoreo continuo que permita mantener bajo control variables tales como: el recubrimiento de la partícula, la distribución normal granulométrica del pigmento y la forma geométrica, entre otros. Este monitoreo es posible llevarlo a cabo a través de la automatización del proceso, mediante el uso de controladores lógicos programables (PLC), lográndose no sólo la secuencia de arranque y paro del mismo, sino además el control de todas y cada una de sus variables, permitiéndose incluso la simulación del proceso para garantizar la calidad por medio de su control.

Un punto esencial en la aplicación de estos sistemas periféricos es propiciar la seguridad del proceso; aquí es necesario recordar que todo proceso que maneje polvo, dentro de un sistema cerrado, y si éste es un sólido inflamable estará sujeto a explosividad, siempre y cuando se unan características de cantidad de masa en un volumen dado y por medio de una fuente de ignición. Estos sistemas electrónicos y computacionales han permiti-

do reducir la posibilidad de riesgo en un 99%, ya que todas las operaciones del proceso están debidamente programadas y automatizadas, evitando con ello el error humano.

La eficiencia alcanzada en el control de proceso, a través de la nueva instrumentación electrónica, y sumada ésta a los sistemas computacionales, ha permitido que el control de las variables que definen un pigmento metálico entre ya, bajo los conceptos de control estadístico de proceso, repetibilidad y reproducibilidad, siendo los rangos de incertidumbre cada día más pequeños. Este aspecto estadístico y de metrología es una condición fundamental en el control de proceso de pigmentos metálicos.

### **2.1.2 CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO(CEP).**

La norma internacional ISO 9001 establece en su marco conceptual, la necesidad de introducir el control estadístico de proceso, como garantía de no sólo otorgar calidad en el producto, sino el asegurar ésta al menor precio; ¿cómo? evitando los rechazos y con ello el reproceso y así disminuyendo el desperdicio.

La fabricación de pigmentos metálicos, como todo proceso de manufactura, requiere de herramientas estadísticas en el control de proceso, de tal forma que no se produzcan componentes defectuosos dentro de los límites preestablecidos, siendo ésta la razón fundamental del Control Estadístico de Proceso.

El Control Estadístico de Proceso, es un mecanismo que sirve para preveer el descontrol del proce-

so que lleve al rechazo del producto, y por tal motivo el CEP es una herramienta de análisis que permite acercar al mismo proceso a la toma de decisión correcta y a su autocontrol. En la operación de esta herramienta se utilizan algunos conceptos estadísticos fundamentales como: población, muestra, datos, media, moda, mediana, desviación estándar y rango, entre otros.

Para la fabricación de pigmentos metálicos se han tomado cinco elementos fundamentales para el Control Estadístico de Proceso, a los cuales los hemos llamado las "cinco emes", a saber: mano de obra, maquinaria, materia prima, métodos de fabricación y medio ambiente.

Ahora bien, cualquiera de estas "cinco emes" que forman parte del proceso de fabricación de pigmentos metálicos, puede tener un efecto en el desempeño del proceso mismo y en el producto final de salida. Aquí es donde se introduce el concepto de causas comunes y causas especiales o asignadas; donde las primeras corresponden al proceso y su comportamiento depende de las reglas de probabilidad; las segundas, las especiales, son producidas por alguna de las "cinco emes" y éstas pueden ser recurrentes y no someterse a regla alguna de la probabilidad. Las causas especiales provocan que el proceso no repita su distribución normal entre período y período, por lo que hacen imposible predecir su comportamiento futuro.

Así, el propósito del CEP es precisamente ayudar a identificar este tipo de causas, para que el proceso entre nuevamente dentro de los límites de control, ver fig. 2

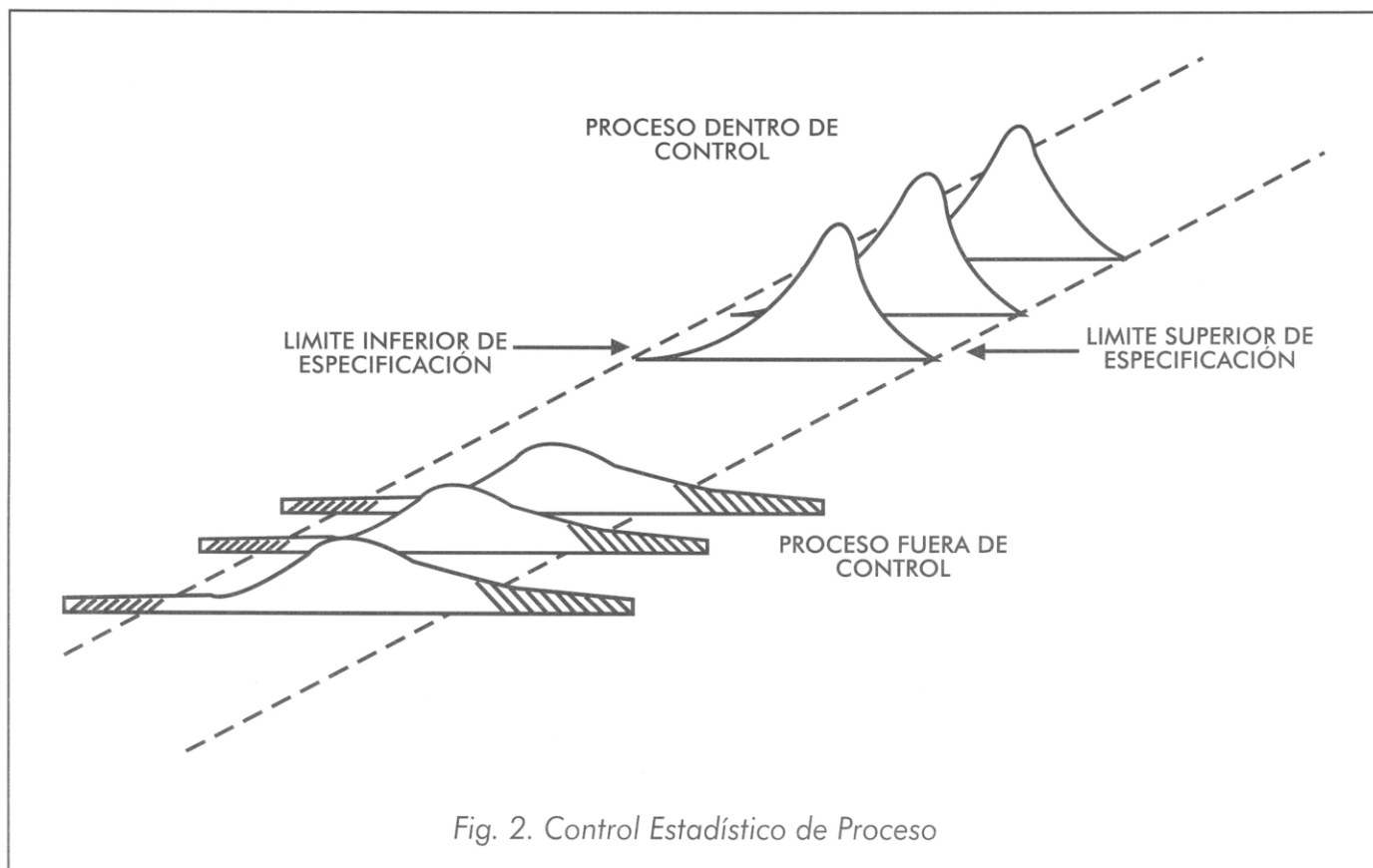


Fig. 2. Control Estadístico de Proceso

### 2.1.3 METROLOGÍA

Un segundo aspecto y de gran importancia que contempla la norma ISO 9001, es la Metrología, ciencia que se encarga de las mediciones y como tal tiene una gran influencia en el control de proceso, ya que permite medir y entender las variaciones dentro de un proceso dado, ya sea que éstas correspondan al equipo de medición o al hombre que hizo dichas mediciones o lecturas.

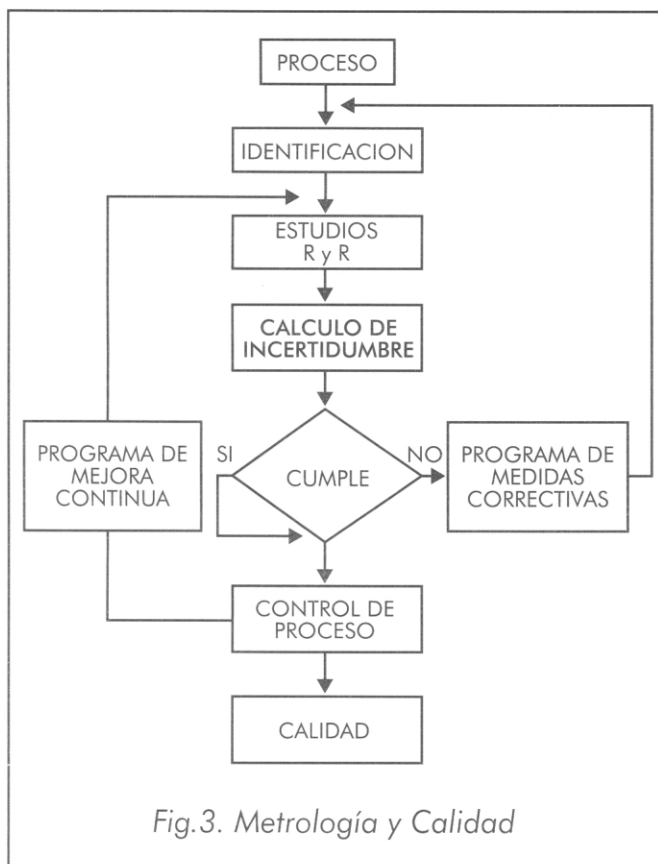
Por este motivo es claro que el uso de la metrología tiene relevancia en la optimización de los procesos productivos y con ello el mejoramiento de la calidad, a través de reducir la variación del proceso y disminuir el grado de incertidumbre.

Son dos los conceptos teóricos a tomar en cuenta dentro de la metrología, y éstos se conocen como estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad (R y R). La Repetibilidad corresponde al equipo y la Reproducibilidad corresponde al factor humano.

Es obvio que el conocimiento de estos conceptos de Repetibilidad y Reproducibilidad son ingredientes fundamentales en la calidad del producto, y forman parte ineludible del control de proceso, requiriéndose una metodología para su aplicación.

Así, la metodología propuesta en la fabricación de pigmentos metálicos, incluye cuatro pasos fundamentales, los cuales a su vez se representan en la figura 3.

- a) Identificación de equipo, puntos críticos y variables dentro del proceso.
- b) Realización de los estudios R y R.
- c) Cálculo de la incertidumbre.
- d) Retroalimentación y generación de estrategias.



Una vez calculada la incertidumbre, es necesario preguntarse si ésta cumple con los parámetros de calidad que se han establecido para dar cumplimiento a las expectativas del cliente, e ir más allá de estas expectativas.

Si la respuesta es no, inmediatamente debe entrar en acción un Programa de Medidas Correctivas,

donde surgirán acciones: de capacitación al personal para bajar los rangos de variación en la Reproducibilidad, de mantenimiento y recalibración al equipo, de sustitución de equipo y redefinición del rango de exactitud. Si la respuesta es sí, se pasará al control de proceso y de ahí al establecimiento de un Programa de Mejora Continua, donde periódicamente se regresará a realizar los estudios R y R y así garantizar la calidad.

No cabe duda que la Metrología es una herramienta valiosa para reducir la variación y los rangos de incertidumbre de nuestro proceso y con ello realmente poder decir que se está en posibilidades de asegurar la calidad.

## 2.2 CONTROL Y MEDICION DEL RECUBRIMIENTO DE LA PARTICULA.

El recubrimiento es una variable muy importante tanto en la fabricación como en la calidad final de los pigmentos metálicos, ya que éste propicia:

- a. La protección de la partícula contra la oxidación.
- b. Una mejor molienda y pulido de la partícula.
- c. El efecto leafing y no leafing de la partícula.
- d. Un mejor brillo y estabilidad de la partícula.

Los pigmentos metálicos de Cobre-Zinc y de Aluminio como metales no ferrosos son susceptibles a la oxidación, y por tal motivo se requiere protegerlos contra este fenómeno y así conservar sus propiedades de color.



Este recubrimiento debe envolver la partícula y mantenerse a lo largo del proceso, en un porcentaje tal que garantice las características que definen la calidad del producto.

En el caso del aluminio el recubrimiento no sólo evita el proceso de oxidación, sino además protege a la partícula de reaccionar con el agua del medio ambiente y generar hidrógeno e hidróxido de aluminio, dando con ello seguridad al proceso; así, este recubrimiento graso es de suma importancia, y por ello se puede decir que es el primer paso a efectuar en el proceso de fabricación de pigmentos metálicos después del atomizado de la aleación de Cu-Zn y del Aluminio, pues con ello se establecen las condiciones de protección a la partícula para dar paso a la molienda.

El proceso de molienda, en un molino de bolas, por su propio proceso físico de fragmentación, laminación y pulido, requiere de un elemento que evite la soldadura en frío de las partículas del pigmento metálico; así mismo, ayuda a la formación de la hojuela (laminación) y por tratarse de un recubrimiento graso al pulido y brillo de la partícula.

El estudio de este concepto de fragmentación laminación y pulido en relación con el recubrimiento, ha permitido avances notables en el control de la geometría de la partícula y su relación espesor-diámetro.

Los pigmentos metálicos son procesados con un lubricante (recubrimiento) que como ya se mencionó facilita la molienda y evita la oxidación, pero además propicia las características de leafing y no leafing, las cuales son fundamentales en el tipo de

aplicación final, estas características se explican a continuación.

Los pigmentos metálicos tipo leafing cuentan con un recubrimiento con propiedades hidrofóbicas, tales como las del ácido esteárico, las cuales previenen la humectación de la partícula con lo que se propicia el efecto leafing, el cual se puede definir como la capacidad que tiene la partícula del pigmento metálico de orientación y flotación sobre el vehículo en un determinado tipo de sustrato, ver figura 4.

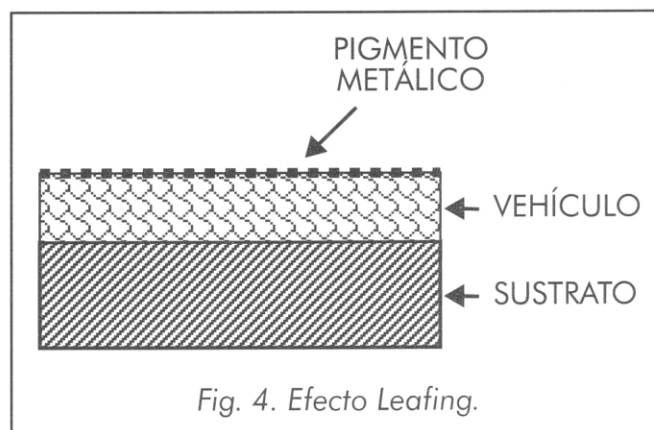


Fig. 4. Efecto Leafing.

De esta manera los pigmentos metálicos tipo leafing presentan la propiedad típica de flotación en la película mojada, debido a la alta tensión de superficie límite entre el recubrimiento del pigmento y el vehículo. Debido a esta capacidad de flotación y orientación, las láminas de este pigmento metálico forman una capa densa de cierre, que viene a propiciar sus propiedades ópticas de reflexión, obteniéndose un efecto metálico brillante y claro.

Para el caso de los pigmentos metálicos tipo no leafing, éstos cuentan con un recubrimiento con propiedades hidrofílicas, tales como las del ácido

oléico, las cuales propician la humectación de la partícula y con ello se evita la flotación de la misma para pasar a formar parte del vehículo, ver figura 5.

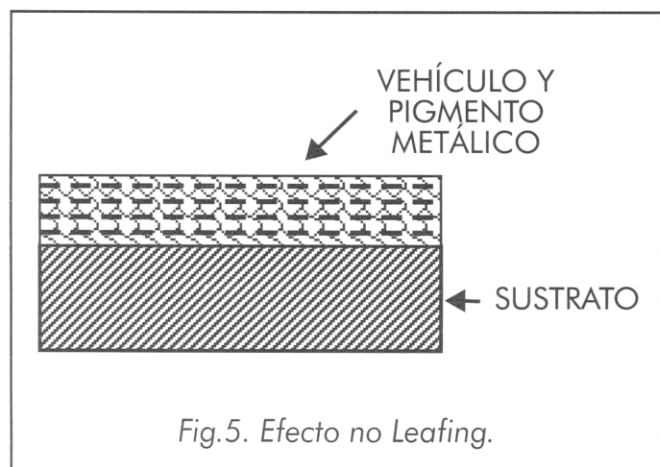


Fig.5. Efecto no Leafing.

Por tal motivo el control en el porcentaje de recubrimiento en cada uno de los puntos vitales del proceso es crítico y su medición a través del monitoreo permanente, debe formar parte de los registros de calidad establecidos dentro del sistema de aseguramiento de calidad, lo cual a su vez es un requerimiento de la norma ISO 9001.

Para su medición se utiliza un determinador de carbono, que mediante la combustión del recubrimiento y convertido éste en carbono, se puede conocer el % de grasa de una manera directa en el equipo, el cual a su vez lo registra para mantener la evidencia en el control de la calidad.

Un exceso o escasez de recubrimiento en cada uno de los puntos vitales del proceso (premolienda, molienda y pulido) resta invariablemente las cualidades de calidad del producto y por tal motivo, ésta es una variable a reportar en el certificado de calidad del pigmento metálico.

## 2.3 CONTROL Y MEDICION DE LA GRANULOMETRÍA

Uno de los parámetros que es determinante en el propio campo de aplicación del pigmento metálico, y que dentro del proceso de fabricación ha requerido de un mayor esfuerzo y profundidad de investigación en el laboratorio y en el mismo control de proceso, es el que se refiere a su tamaño de partícula y forma de distribución.

En los inicios de la fabricación de pigmentos metálicos fue muy difícil el control del tamaño y la forma de la distribución de la partícula, lo cual limitaba su campo de aplicación. En dicho momento histórico el nivel de la técnica era puramente artesanal y su control del proceso era esencialmente visual.

La incorporación de tamices de laboratorio de tipo manual, en una primera etapa y siguiéndole posteriormente los de tipo mecánico, electromagnéticos, neumáticos y de ultrasonido, permitió ir conociendo poco a poco el efecto del tamaño y distribución de la partícula para los diferentes campos de aplicación, y el buscar su control dentro del proceso productivo.

El uso de técnicas matemáticas de probabilidad como lo es la teoría de la distribución normal o curva normal (campana de Gauss), vinieron a dar fundamento teórico al estudio del tamaño y distribución normal de la partícula y con ello establecer los parámetros de control dentro del proceso productivo, y el uso en los diferentes campos de aplicación; el cual pasa de un uso puramente artesanal, al de pintura por brocheo y/o por aspersión, y al de las tintas para impresión, llegan-

do a su estado de perfección, al poder ser aplicado en los procesos offset, donde la definición de la línea es requerimiento de calidad.

### 2.3.1 BASE TEORICA EN EL ESTUDIO DE LA GRANULOMETRIA. CAMPANA DE GAUSS.

La curva normal es la expresión gráfica de la distribución normal, que a su vez es una representación muy refinada de una distribución de frecuencias de una serie de eventos dados, ver fig. 6

Recordando algunos conceptos de esta curva de distribución normal, tenemos que la suma de las probabilidades de todos los eventos posibles es la unidad. También se conoce que el área total bajo la curva normal representa una distribución de fre-

cuencias cuya integración es igual a la unidad; es decir, el área es igual a la suma de frecuencias.

Los procesos que son estables y predecibles tienen un patrón fijo de variación. La curva que describe esos patrones es conocida como "curva de distribución normal" de hecho, este tipo de curva de distribución normal surge de un histograma el cual reúne dos características especiales. Primero es una curva suave, lo cual implica que se han unido una serie de puntos que pertenecen al punto medio de lo alto de las barras, las cuales a su vez tienden a ser infinitamente delgadas. Segundo, esta curva de distribución normal tiene una forma particular, es alta en el punto medio y tiende a cero (número de eventos) en ambos extremos formando con ello una campana invertida, de ahí el nombre de "Campana de Gauss".

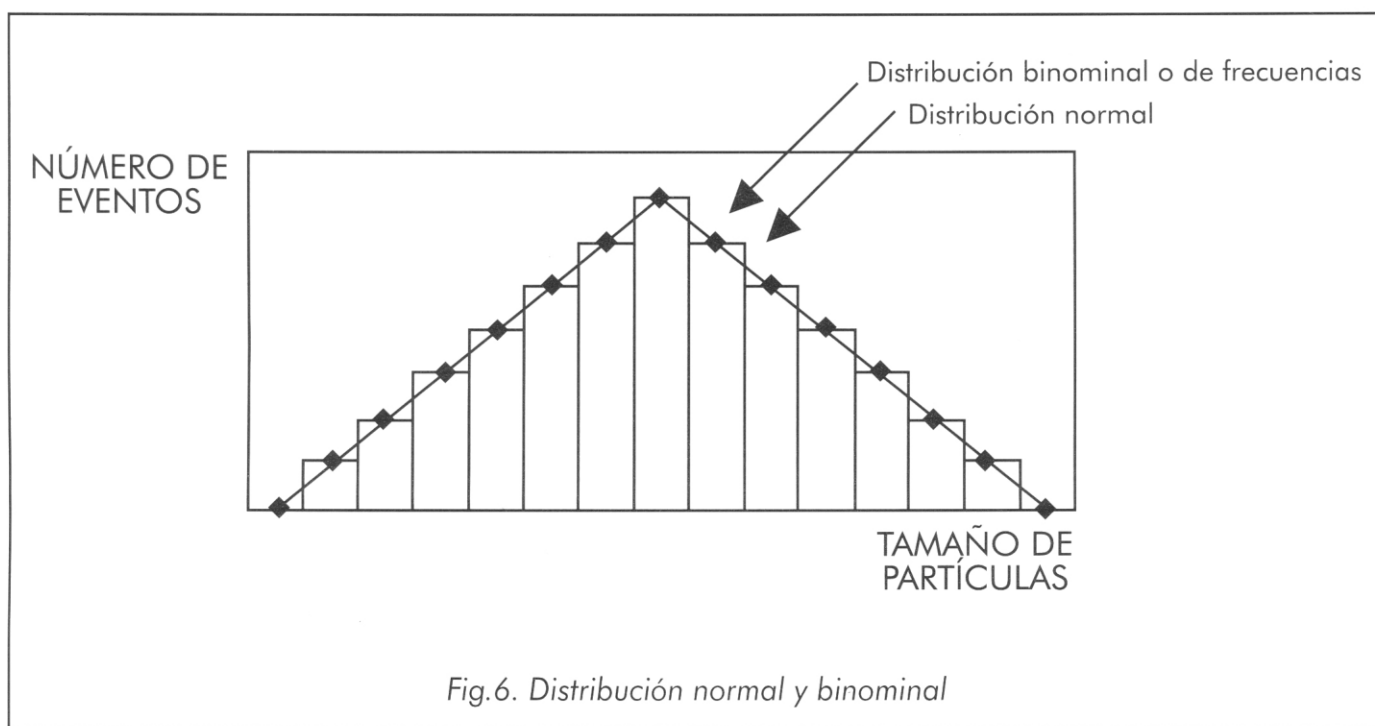
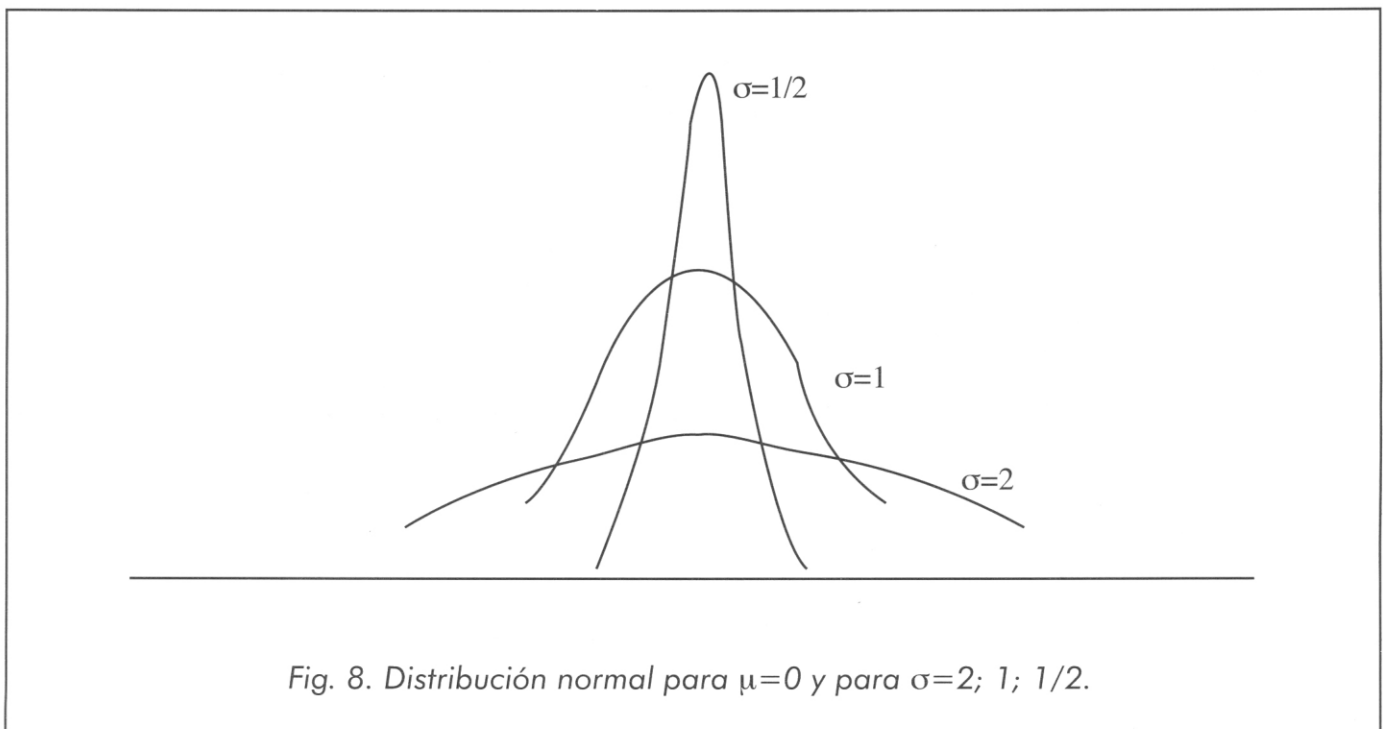
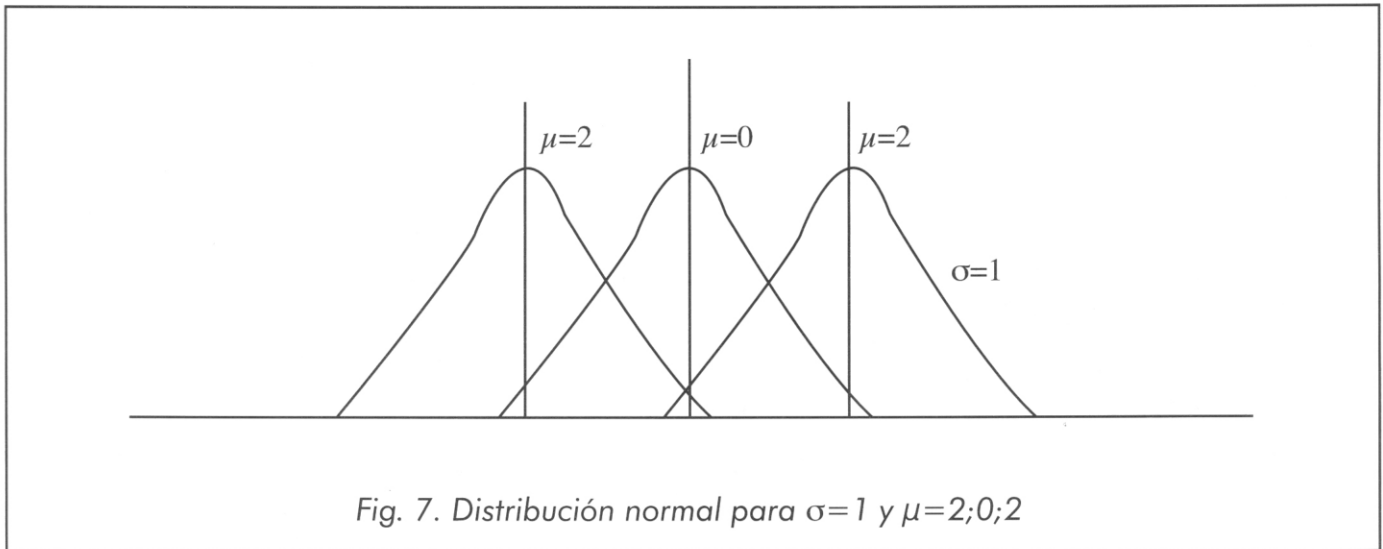


Fig.6. Distribución normal y binominal

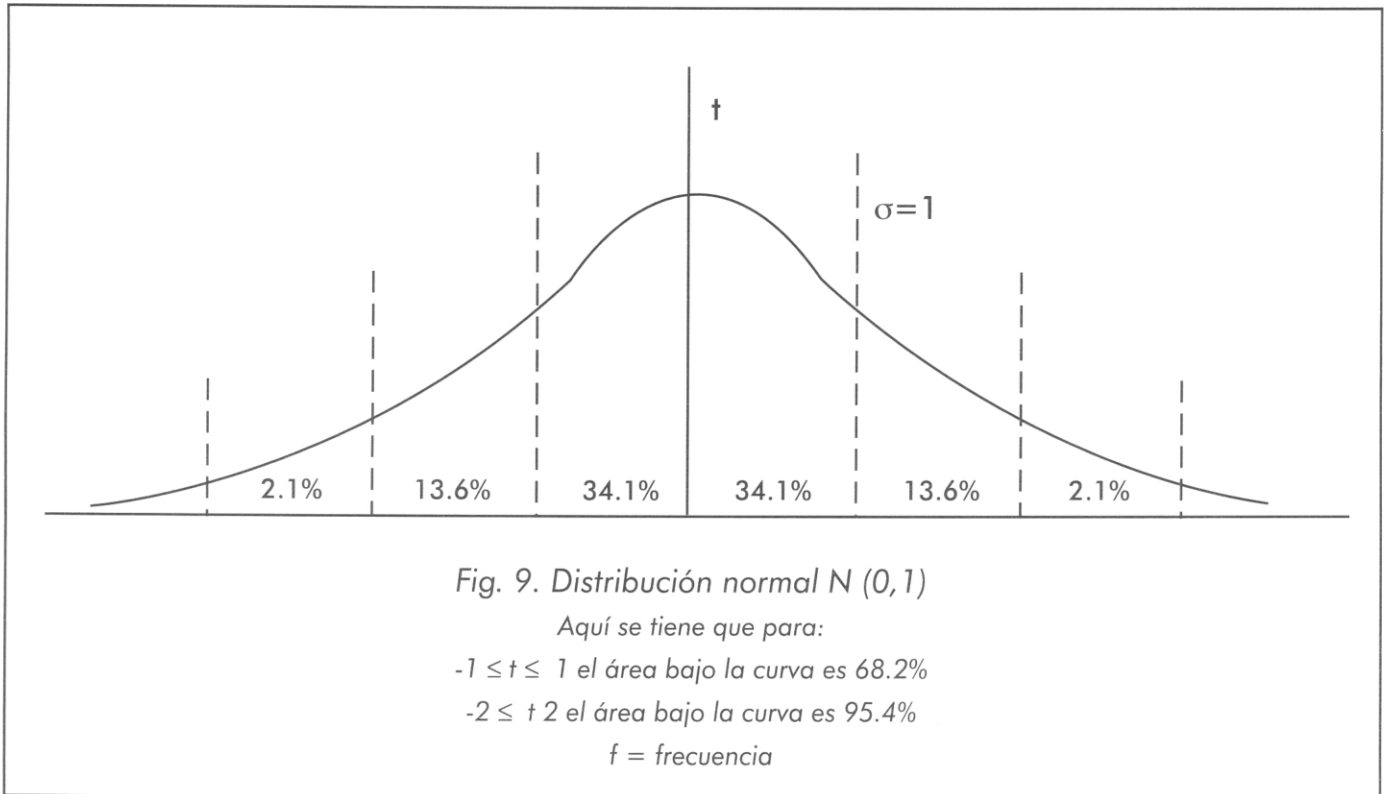
En base a lo anterior se tiene que una curva de distribución normal queda definida por:

MEDIA	$\mu$
VARIANZA	$\sigma$
DESVIACIÓN ESTANDAR	$\sigma$

Presentándose los siguientes casos:

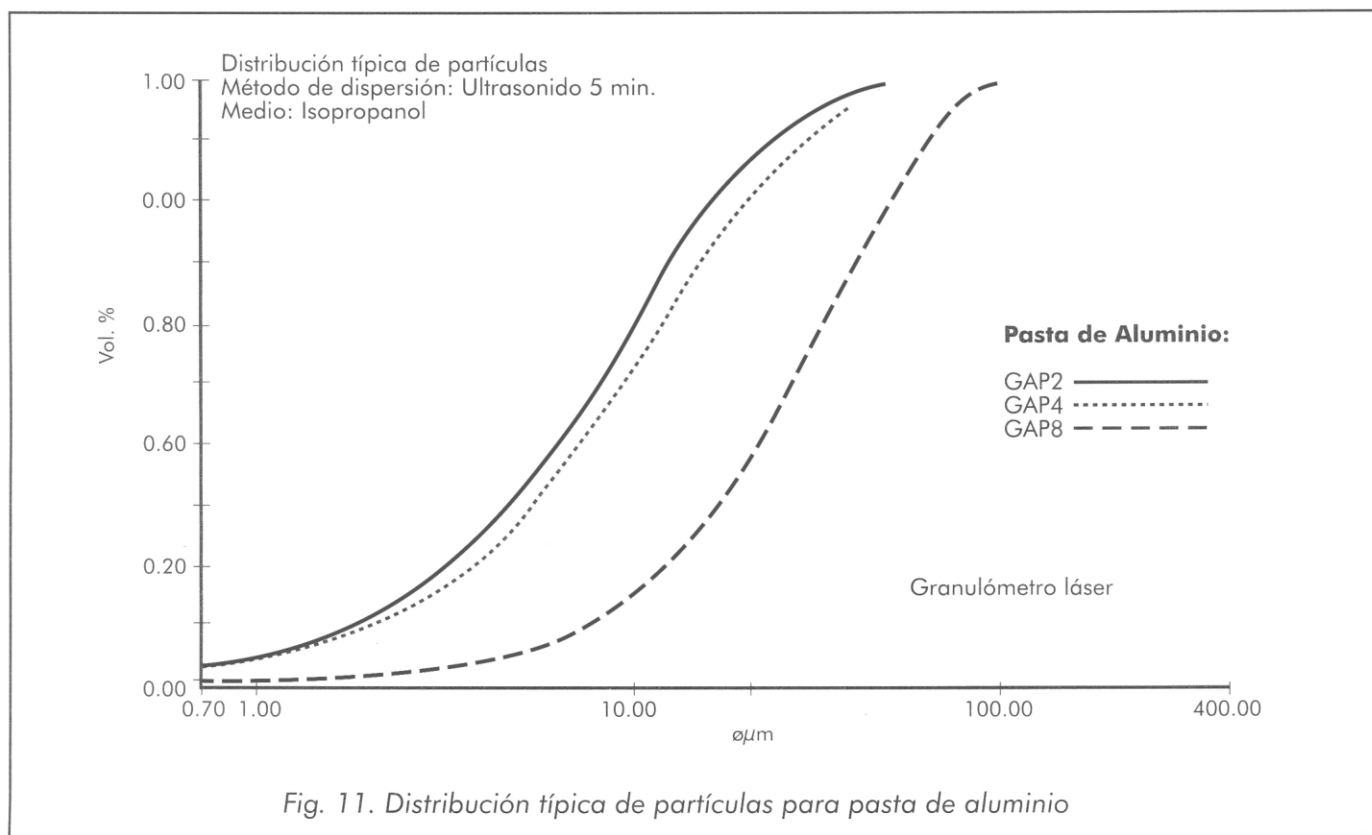
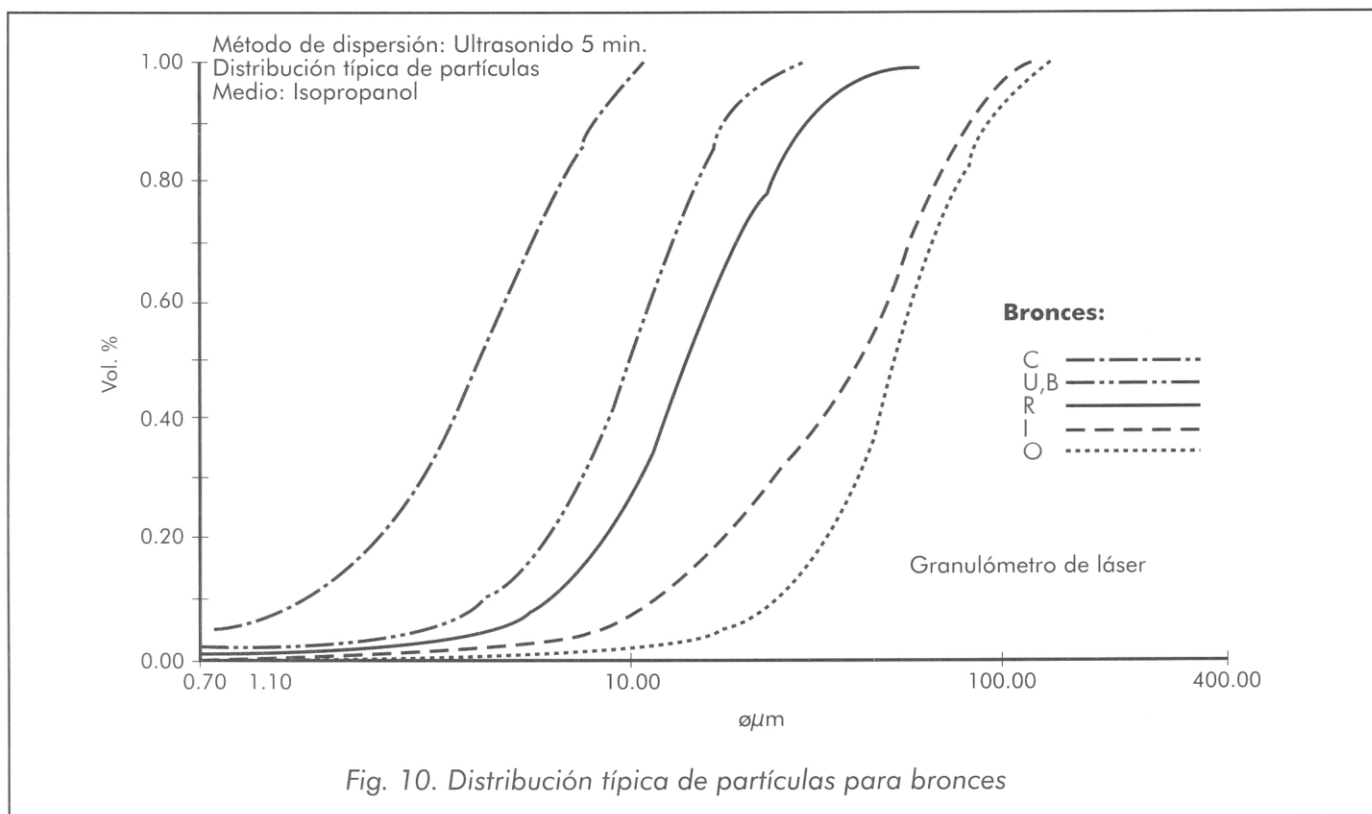


Bajo estos conceptos se puede construir una curva de distribución normal  $N(0,1)$  de tal forma que  $\mu = 0$  y  $\sigma = 1$  y así tendremos:



De esta manera el estudio y el control del proceso del tamaño de la partícula y su distribución fue posible aplicando esta teoría; sin embargo, el análisis para construir estas gráficas a partir de su clasificación por tamizado era muy lento y hacia imposible aplicarlo al control de proceso, por ser una técnica difícil de repetir y comprobar con exactitud; siendo posible hacerlo, a partir de la década pasada, con el desarrollo del equipo láser para la medición de la partícula. El equipo láser para la medición del tamaño y distribución de la partícula ha permitido no sólo tener un óptimo control de

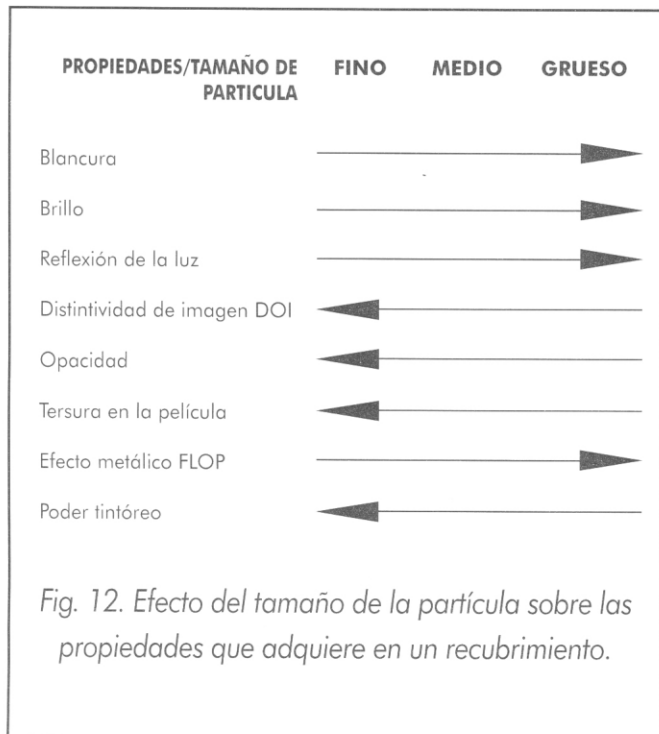
proceso de la molienda paso a paso, sino además ha permitido el desarrollo exitoso de nuevos productos, donde la desviación estándar tiende a cero, lo que sería el caso ideal de tener un solo tamaño de partícula, lo cual quedaría representado por una sola línea vertical. Las siguientes curvas de distribución normal representan a los pigmentos metálicos de bronce y aluminio, figuras 10 para bronce y 11 para aluminios, e ilustran de manera objetiva estos conceptos y avances en el desarrollo del producto.



## 2.4 CONTROL, OBSERVACIÓN Y MEDICIÓN DE LA FORMA DE LA PARTICULA.

Una de las grandes expectativas del cliente en relación a los pigmentos metálicos ha sido la brillantez, es por ello que los mejores esfuerzos de la investigación se han destinado a este tópico.

La cubrición que a su vez está relacionada con la finura es otra cualidad que los clientes requieren en razón de lograr no sólo mejores resultados y rendimiento sino además una mayor calidad en su producto final. La figura 12 ilustra el efecto del tamaño de la partícula sobre las propiedades que adquiere en un recubrimiento:



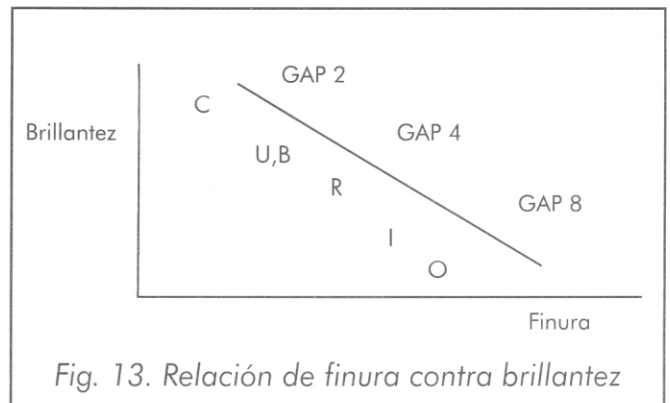
De esta manera, se está hablando de las propiedades ópticas de los pigmentos metálicos las cuales dependen fundamentalmente del tamaño y distribución de partícula, de lo cual ya se habló en

esta presentación, y de la forma de la partícula, que se discutirá a continuación:

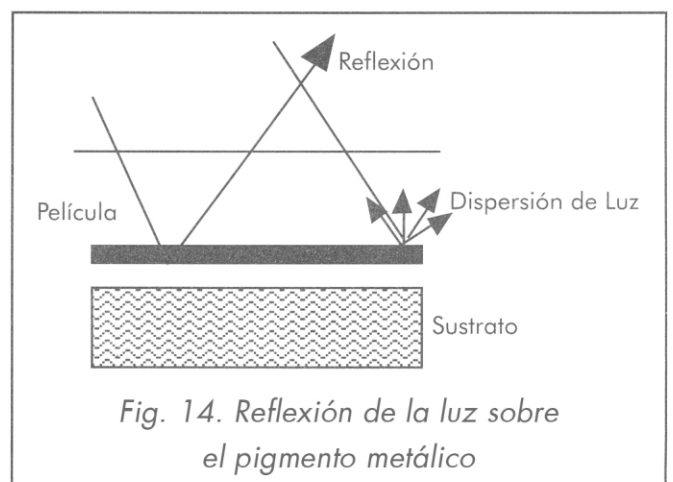
### 2.4.1 USO DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.

El uso del microscopio electrónico en el estudio e investigación de la forma de la partícula, ha permitido no sólo el desarrollo de nuevos productos sino la posibilidad de ir rompiendo el paradigma de que:

#### “LA BRILLANTEZ ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA FINURA”

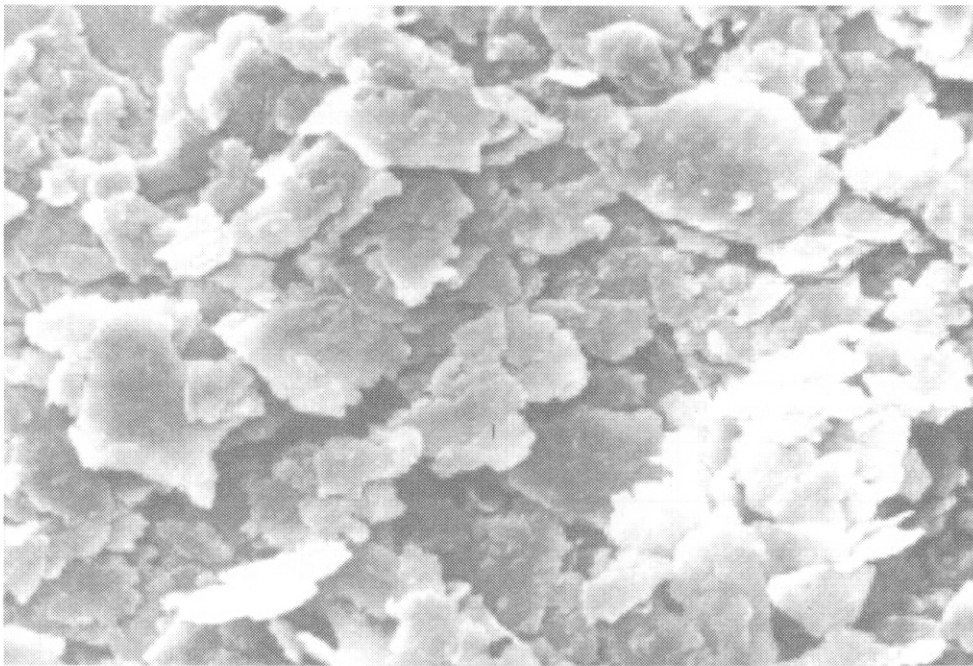


El hecho anterior se explica en relación al efecto metálico que se produce por la reflexión de la luz al incidir ésta en la superficie de los pigmentos metálicos, lo cual se puede representar con la figura 14.



El fenómeno de la dispersión se puede ver como una pérdida en la capacidad de reflexión de la luz del pigmento metálico y por lo tanto de su brillantez. Aquí es donde el microscopio electrónico ha

permitido estudiar e investigar a profundidad este fenómeno, en la figura 15 se representan las características que observan los pigmentos metálicos vistos a través del microscopio.



*Fig. 15. Representación (fotografía) típica de un Pigmento Metálico*

Una de las características típicas de una hojuela de un pigmento metálico es que su perímetro mantiene una forma irregular; es decir, con múltiples entrantes y salientes, lo cual ocasiona que la dispersión de la luz se multiplique en cada una de estas irregularidades de forma, creando un efecto negativo a lo deseado.

Aquí es donde surge uno de los grandes avances tecnológicos en el campo de los pigmentos metálicos, el cual consiste en eliminar estas irregularidades, entrantes y salientes de la hojuela, y con ello disminuir los puntos de dispersión y logrando así mayor brillantez.

Así es como se tiene a los pigmentos metálicos de nueva o segunda generación, con un perímetro redondeado, los cuales son conocidos en el mercado como "Silver Dollar" y que mejoran en mucho las propiedades ópticas de los pigmentos tradicionales. Todo esto no hubiera sido posible sin la incorporación del microscopio electrónico a estas nuevas tecnologías. Cabe señalar que estos pigmentos de segunda generación tienen su aplicación fundamentalmente en el segmento automotriz.

Una tercera generación de pigmentos metálicos podrían ser los de tipo esférico, los cuales por su propia forma geométrica no tienen cubriente y por



tanto su uso se recomienda en mezclas con pigmentos metálicos laminares. La siguiente tabla Comparativa, fig. 16, ilustra el desarrollo de los pigmentos metálicos:

Características	Primera generación	Segunda generación	Tercera generación.
Forma	Irregular	Perímetro Redondeado	Esférico
Distribución de la partícula	Amplia	Reducida	Reducida
Relación $\phi/t$	200/1	20/1	1/1
Brillantez	Medio	Alto	*
FLIP/ FLOP	Medio	Alto	No tiene

\*Para este tipo de pigmento metálico el concepto de brillantez no aplica y debe manejarse el de chispas, destellos.

Fig. 16. Tabla comparativa de características y propiedades de los pigmentos metálicos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> generación.

### 3. PIGMENTOS METÁLICOS DE NUEVA GENERACIÓN

El avance tecnológico alcanzado en el control de proceso, tal y como ha sido descrito en el presente artículo, ha permitido el desarrollo no sólo de pigmentos metálicos de mayor calidad y desempeño, sino el desarrollo de nuevos productos los cuales son resistentes a las condiciones adversas del medio ambiente, a las altas temperaturas, a la formulación en medios acuosos y a los esfuerzos cortantes.

Si se recuerda, los pigmentos metálicos que imitan el color oro y plata son metales no ferrosos, aleaciones de Cobre-Zinc para el color Oro y Aluminio para el color Plata, y por tanto están sujetos a la oxidación del medio ambiente, oscureciéndolos y eliminando sus características que los distingue. Este problema de oxidación, el cual a su vez se ve acelerado por la temperatura, ha representado un reto tecnológico en los últimos 100 años a vencer.

Si tomamos en cuenta que el problema no es posible resolverlo metalúrgicamente, agregando algún otro elemento a la aleación, sin afectar sus características de color, brillantez y ductibilidad, entonces sólo queda como alternativa el dar un tratamiento químico, a la superficie de la partícula. Existiendo dos posibilidades:

- Por medio de un recubrimiento o encapsulamiento de la partícula.
- Por medio de un tratamiento químico de la partícula (pasivado)

Aquí vale la pena recordar que en general todos los pigmentos metálicos cuentan con un recubrimiento graso que además de ser un elemento que ayuda a su manufactura y provee la capacidad de leafing o no leafing y brillantez, proporciona una protección eficiente contra la oxidación del medio ambiente y de algunos agentes químicos, para lo cual surge la recomendación universal de formularlos en medios no agresivos (pH entre 6 y 8), a temperaturas menores a los 100°C para los pigmentos de Cu-Zn y de 150°C para los pigmentos de Al, sin que se presente cambio de tono y evi-

tando los esfuerzos mecánicos de tipo cortante. Bajo este concepto se ha venido trabajando en el desarrollo de nuevos pigmentos metálicos, que a través de un tratamiento químico se logra proteger a la partícula y hacerla resistente a un mayor número de agentes químicos y que a su vez puedan ser formulados en base agua.

El mercado de pigmentos metálicos especiales, resistentes al medio ambiente, a los agentes químicos y a altas temperaturas, representa a nivel latinoamericano un mercado aún pequeño, fundamentalmente por su alto costo y su destino de uso así se puede identificar los segmentos que requieren este tipo de pigmentos:

- a) Pintura automotriz OEM. Base agua.
- b) Pintura en polvo.
- c) Pintura para artículos escolares y de oficina. Base agua.
- d) Recubrimientos para plásticos. Resistente a temperatura y esfuerzos mecánicos.
- e) Pintura artesanal. Casos especiales (látex, cera, otros) base agua.

**a) PINTURA AUTOMOTRIZ.** Para equipo de manufactura original (OEM). Este segmento de alta especificación y exigencias de calidad ISO-9000 y QS-9000 ha permitido el desarrollo general de los pigmentos metálicos no ferrosos de aluminio, donde los conceptos discutidos en el punto 2. Fundamentos Tecnológicos en el Control de Proceso toman alta relevancia.

**b) PINTURA EN POLVO.** La pintura en polvo ha venido incrementando su importancia en el mercado de recubrimientos.

Este segmento tiene su origen en Estados Unidos de Norteamérica en el año de 1950, su desarrollo a escala comercial se inicia en Europa en los años 60's, posteriormente se introduce con éxito a partir de 1980 al resto del mundo. Los pigmentos metálicos no ferrosos de color oro y plata no son la excepción para este campo de aplicación, y su uso ha estado dirigido fundamentalmente al recubrimiento de muebles metálicos los cuales generalmente requieren de un proceso de horneado por arriba de los 120°C, temperatura que provoca un cambio de tono en la aplicación; para evitar este problema se han desarrollado pigmentos metálicos que cuentan con un recubrimiento de sílice que los hace resistentes a las altas temperaturas, sin embargo este problema podría ser controlado si la variable temperatura se mantiene bajo control y se calcula el cambio de tono.

**c) PINTURA PARA ARTICULOS ESCOLARES Y DE OFICINA.** Por razones de salud, la legislación en este tipo de artículo se ha venido modernizando con el fin de evitar problemas de toxicidad, sobre todo en la población infantil; de esta manera los aspectos relacionados con metales pesados y formulaciones base solvente han quedado acotados y restringidos.

Para el caso de los pigmentos metálicos Cobre- Zinc y Aluminio no se tienen problemas en cuanto a metales pesados, aquí, todo fabri-

cante debe contar dentro de sus procedimientos de control de proceso, el llevar un análisis estadístico sobre esta materia para cumplir con la normatividad vigente, por tal motivo el problema para este campo de aplicación se reduce a su formulación, la cual debe ser base agua y por tal motivo, como ya ha sido mencionado, el pigmento metálico para el caso de la aleación Cobre-Zinc debe ser resistente a la oxidación y para el caso del Aluminio se debe evitar la reacción del agua con este metal no ferroso y así controlar la formación de hidróxido de aluminio y el desprendimiento de hidrógeno el cual se convierte en un problema de seguridad.

**d) RECUBRIMIENTOS PARA PLÁSTICO.** Uno de los principales problemas para dar color oro o plata radica fundamentalmente en sus procesos de plastificación tales como: moldeo por presión, extrusión, calandreo e inyección. Una buena dispersión del pigmento metálico en el plástico es condición esencial para lograr el mejor efecto metálico, generalmente los procesos utilizados en plásticos tienden a asegurar una buena dispersión, sin embargo éstos introducen grandes esfuerzos mecáni-

cos y altas temperaturas que destruyen en primera instancia la partícula y en segundo término promueven un cambio de tono no deseado. Lo anterior ha exigido el desarrollo de nuevos pigmentos que puedan hacer frente a estos inconvenientes, como son los que contienen aditivos especiales como Ftalato de Di-Octilo, cera, etcétera.

**e) PINTURA ARTESANAL.** Para este segmento y por su propia razón de ser existen un sin número de aplicaciones, las cuales demandan en casos muy específicos formulaciones especiales y base agua, como es el caso del látex y de las velas decorativas.

Con el fin de atender estos segmentos, se requiere establecer un programa de Orientación Técnica, mediante el cual se defina un plan de trabajo conjuntamente y con el cliente, con el fin de resolver a plenitud el problema específico planteado, sumando la experiencia tanto del cliente como la del fabricante y de esta manera estar en la posibilidad de dar una solución integral y apegada a las necesidades y expectativas del cliente.

## CONCLUSIONES

A lo largo del presente artículo se ha establecido la importancia del Control de Proceso en la fabricación de pigmentos metálicos, para alcanzar:

### **SERVICIO ATENCIÓN INNOVACIÓN**

Se destacó, a lo largo de este trabajo, que el desarrollo de los pigmentos metálicos ha girado en torno a tres aspectos fundamentales:

1. Su resistencia química a la oxidación.
2. Sus propiedades ópticas de brillantez, reflexión de la luz, etcétera.
3. Su distribución de partícula.

Los cuales han sido motivo de investigación para mejorar su desempeño, y este objetivo se ha podido lograr gracias no solo al entendimiento de estos fenómenos, sino a la aplicación del control de proceso en la propia fabricación del pigmento.

Asimismo, se ha dejado claro que los conceptos de ISO 9001 y Empresa Limpia son fundamentales para garantizar el cumplimiento de las necesidades y expectativas del cliente.

A través del concepto de Servicio, Atención e Innovación al cliente, se retroalimenta el sistema: investigación, desarrollo del producto, producción, control de proceso, aseguramiento de la calidad, aplicación del producto y cumplimiento de las necesidades y expectativas del cliente. Lo anterior como quedó demostrado a lo largo de este artículo, es la base fundamental para enriquecer los aspectos de investigación y desarrollo tanto en maquinaria, equipo y sistemas periféricos como en el control del proceso, el desarrollo de nuevos productos y tecnologías de aplicación.

Finalmente, se puede concluir que la fabricación de pigmentos metálicos, demandan tecnologías de punta y que sin el uso de ellas difícilmente se podría cumplir con las necesidades tecnológicas que el mercado de recubrimientos, textiles, plásticos, artesanos, escolar y de oficinas, automotriz, y de tintas e impresores, entre otros, están requiriendo.

La información suministrada corresponde a la tecnología, conocimiento y experiencia actual. Todas las indicaciones se dan como guía de información, por lo que METAPOL, S.A. de C. V. se libera de toda responsabilidad, en el uso de la misma.



**METAPOL, S.A. de C.V.**

Empresa Certificada por:

ISO 9001  
ISO 14001  
BUREAU VERITAS  
Certification



Desde 1974 ofreciendo servicios y productos de calidad.

Para mayores informes favor de comunicarse a:

[info@metapol.com.mx](mailto:info@metapol.com.mx)