

Trabajo Final

Centro de Investigación y Desarrollo en

Tecnología de Pinturas

CIDEPINT

(CIC - CONICET)

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ingeniería

Año 1996

Desarrollo de formulaciones conductoras de aplicación electrostática para uso industrial

Alumno : Sandro Giuseppe Abbate

Director de Trabajo: Ing. Juan José Caprari

Referente del departamento de Ing. Química : Dr. Ing. Cecilia I. Elsner

Índice general

| | Pag. |
|---|------|
| Objetivo | 1 |
| Introducción | 3 |
| Definición de pintura..... | 4 |
| Formación de la película..... | 5 |
| Pintado electrostático: generalidades..... | 6 |
| Teoría de la conductividad eléctrica..... | 7 |
| Ecuación fundamental de conductividad..... | 9 |
| Factores que afectan la movilidad de los iones..... | 9 |
| Celda de conductividad..... | 11 |
| Equipos industriales..... | 12 |
| Desarrollo experimental | 14 |
| 1.- Puesta a punto del equipo de aplicación electrostático..... | 15 |
| 1.1- Equipo de pulverización..... | 16 |
| 1.2- Pistola pulverizadora..... | 16 |
| 1.3- Equipo de carga..... | 19 |
| 1.4- Puesta en marcha..... | 20 |
| 2.- Calibración del equipo industrial de medición de conductividad..... | 23 |
| 3.- Selección de materias primas..... | 26 |
| 3.1- Resinas..... | 27 |
| 3.2- Solventes..... | 30 |
| 3.3- Aditivos..... | 31 |
| 4.- Desarrollo de formulaciones..... | 33 |
| 4.1- Desarrollo de soluciones conductoras..... | 34 |
| 4.2- Formulación de pinturas..... | 39 |
| 4.3- Método de elaboración de pinturas..... | 41 |
| 4.4- Ensayos de laboratorio según NORMA IRAM 1107..... | 42 |
| 4.5- Conductividad y caída de consistencia..... | 44 |
| Conclusiones | 45 |
| Bibliografía | 47 |

Objetivo

El presente trabajo está orientado al desarrollo de formulaciones para aplicación con soplete aerográfico-electrostático para líquidos, empleando materias primas, solventes, diluyentes y aditivos polarizantes que favorezcan la adquisición de carga eléctrica por las partículas de pintura. Dicha carga deberá mantenerse hasta su descarga en el momento de depositarse sobre la superficie metálica (acero, acero galvanizado, aluminio, cobre, madera, plástico, etc.).

Los componentes mencionados precedentemente, deben producir el efecto eléctrico sin interferir sobre las propiedades de la película formada, las que son evaluadas mediante ensayos de laboratorio.

Introducción

Definición de pintura

Desde el punto de vista fisico-químico, una pintura es una dispersión de uno o más sólidos finamente divididos (pigmentos) en un medio fluido denominado vehículo.

El **vehículo** está constituido por un formador de película denominado ligante (material no volátil), usualmente sólido, disuelto en una mezcla adecuada de solventes y diluyentes (componentes volátiles).

El **ligante** puede estar constituido por aceites, barnices oleoresinosos, resinas naturales ó sintéticas, polímeros de alto peso molecular (P.M.) ó mezcla de ellos.

Como **solventes** y **diluyentes** pueden emplearse derivados aromáticos, alifáticos, butanol, cetona, acetatos, etc.

La importancia de los componentes volátiles de una pintura está vinculada con el papel que cumplen durante la aplicación, ayudando al mojado del sustrato y a la penetración de la pintura en las irregularidades de la superficie, regulando además el proceso de formación de la película.

Dentro de los constituyentes volátiles se encuentran por una parte los disolventes activos y por otra los diluyentes. Los primeros actúan disolviendo los ligantes, dando una solución homogénea denominada vehículo. Los segundos no disuelven a la sustancia formadora de película pero pueden ser agregados en cantidades limitadas a un solvente activo sin producir precipitación de la resina.

Es necesario aclarar que, teniendo en cuenta los altos P.M. de la mayor parte de las resinas formadoras de película, los productos obtenidos son en realidad soluciones coloidales y no soluciones verdaderas.

Los **pigmentos** tienen como función primordial la de conferir opacidad y color a la película, pero afectan además otras propiedades de la misma. Hay pigmentos de diversas formas y tamaños y el rango de variación de propiedades tales como humectabilidad por los aceites y las resinas, reactividad química, efectos sobre la velocidad de secado de la película, absorción U.V., etc, es muy amplio. Según el índice de refracción de los pigmentos las pinturas pueden ser opacas o transparentes. Muchos

pigmentos son nodulares, otros tienen forma de aguja, estos últimos tienden a reforzar la estructura de la película.

La velocidad de transporte de humedad a través del recubrimiento está directamente influenciada por la presencia de pigmentos. Los de tipo laminar, como la mica y el aluminio en polvo, reducen la permeabilidad en tanto que los voluminosos tienden a producir una película porosa y permeable. Es importante tener en cuenta, además de la forma, el contenido de pigmento en volumen ya que hasta cierto valor de este último la permeabilidad baja, pero por encima de un umbral llamado valor crítico, la película formada puede llegar a hacerse más permeable que la no pigmentada.

Los **extendedores** (ó inertes) se utilizan como refuerzo para complementar las propiedades de los otros componentes: así por ejemplo el óxido férrico mejora el poder cubritivo, el talco aumenta la capacidad de sustentación en el envase y el óxido de hierro micáceo reduce la permeabilidad de la película al agua y otros electrolitos.

Formación de la película

El secado de una película de pintura es el pasaje del estado líquido a la forma de “film” sólido.

Los procesos de secado pueden clasificarse en dos grandes grupos:

1. Procesos físicos: el secado se produce por evaporación de disolventes como es el caso de la gomalaca, nitrocelulosa, resinas acrílicas, vinílicas, caucho clorado, materiales asfálticos y ceras.
2. Procesos físicos y químicos: en primera instancia se produce la evaporación de los disolventes y luego la conversión del ligante. Dicha conversión puede realizarse por acción del oxígeno del aire, por calor o por reacción química.

La correcta selección de los componentes para cada formulación permite variar, dentro de un amplio rango, las características de las pinturas y, como consecuencia de ello, lograr productos con propiedades preestablecidas tal que satisfagan las condiciones requeridas por el sustrato y el medio en el que van a desarrollar su vida útil.

Pintado electrostático: generalidades

Es un método alternativo de aplicación de pintura. El mismo, de difusión creciente en la industria, emplea generalmente pinturas convencionales existentes en el mercado a las que se confiere conductividad por el agregado de aditivos denominados agentes polarizantes. Por referencia de los usuarios, estos productos polarizantes de uso comercial no cumplen satisfactoriamente con el requerimiento solicitado (conductividad adecuada) ya que, si se agregan en pequeñas cantidades, la conductividad final es insuficiente por lo que la deposición de partículas es defectuosa y la película formada es discontinua. Si se agrega en exceso, se logra una buena deposición de la pintura pero se producen interferencias en el secado y disminuye la adhesión al sustrato. Muchas veces, dosificando el producto en las proporciones indicadas por el proveedor, no se logra alcanzar los valores de conductividad necesarios para obtener un buen acabado.

Es esencial que la carga adquirida por cada partícula de pintura se mantenga durante el recorrido desde la pistola pulverizadora hasta el objeto a pintar.

En el pintado con soplete convencional, la pintura se atomiza y se impulsa por medio de presión de aire, con suficiente velocidad como para ser transportada y depositada sobre el objeto a pintar; en la variante denominada soplete sin aire, el impulso se obtiene por presión directa sobre la pintura.

En el pintado electrostático, la pintura, que puede ser impulsada en las dos formas anteriormente vistas o por medio de una turbina adosada al soplete, es cargada electrostáticamente por un generador, siendo atraída y depositada sobre el objeto a pintar, que a tal efecto está conectado a tierra; la pintura se deposita así exclusiva y totalmente sobre el objeto no existiendo las habituales pérdidas de pintura pulverizada y no depositada (“overspray”) observadas en el sopleteado común. Se logra así un ahorro de material que puede llegar, según la forma del objeto, hasta a un 70% . El hecho que no vuela pintura pulverizada hace prácticamente innecesarias las instalaciones habituales de seguridad (cortina de agua) y solamente se requieren extractores para eliminar el solvente evaporado. La ausencia de niebla de pintura también significa mejores condiciones de salubridad.

Con este método de pintado, la pintura pulverizada no se deposita solamente sobre el frente del objeto, sino que prácticamente lo envuelve, así por ejemplo, en algunos artículos tubulares de reducido diámetro se consigue el pintado total sin girar la pieza.

Teoría de la conductividad eléctrica

Los electrolitos, al igual que los conductores metálicos se comportan (en condiciones normales) de acuerdo a la Ley de Ohm. Si a un conductor de resistencia R (Ω) se le aplica una FEM de valor E (v), según dicha ley la corriente I (A) que fluye a través de un conductor es:

$$I = E / R \quad (1)$$

Según la ecuación (1), la corriente que pasa a través de un conductor bajo la influencia de una fuerza electromotriz (FEM) constante es inversamente proporcional a la resistencia. La cantidad $1/R$ será una medida del poder conductor y se denomina **conductividad**, la que se expresa en ohmios recíprocos (Ω^{-1}). La resistencia de un conductor varía directamente con su longitud l (cm) e inversamente proporcional con su superficie a (cm^2) y longitud l (cm) y estará representada por la siguiente expresión:

$$R = \rho \cdot l / a \quad (2)$$

donde ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) es una constante llamada resistencia específica ó resistividad de la sustancia conductora y se define como la resistencia de una muestra de 1 cm de longitud y 1 cm^2 de sección.

La conductividad específica L de una sustancia dada se define como $1/\rho$ ($\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), por lo tanto la ecuación (2) puede escribirse:

$$R = l / a \cdot L$$

Si la conductividad C (Ω^{-1}) se representa por :

$$C = 1 / R$$

entonces tendremos:

$$C = L \cdot a / l \quad (3)$$

El poder conductor de todos los iones producidos por 1 equivalente gramo de un electrolito a cualquier concentración dada, se podrá evaluar imaginando dos grandes electrodos paralelos separados 1cm y suponiendo que la totalidad del electrolito está colocado entre ellos. La conductividad del sistema resultante se denomina **conductividad equivalente** Λ , a la concentración dada. Si el sistema contiene 1 equivalente gramo en un volumen dado (cm^3) entonces el mismo cubrirá un area determinada (cm^2) de los dos electrodos que están separados 1cm.

Entonces se deduce de la ecuación (3) que la conductividad es Λ cuando a es $v \text{ cm}^2$ y l es 1cm:

$$\Lambda = L \cdot v$$

$$\Lambda = 1000 \cdot L / c \quad (\text{cm}^2 \cdot \Omega^{-1})$$

donde c es la concentración del electrolito en equivalente gramo por litro.

Se puede observar que la conductividad equivalente es numericamente igual al producto de la conductividad específica por el volumen (en cm^3) que contiene 1 equivalente gramo de un electrolito.

De la misma forma se obtiene la **conductividad molar** μ , multiplicando la conductividad específica L por el volumen (en cm^3) en que está contenido 1 mol de electrolito. Para electrolitos uni-univalentes (como en nuestro caso) Λ y μ son iguales ya que 1 mol es igual a 1 equivalente gramo.

Ecuación fundamental de conductividad

La conductividad molar es proporcional a la corriente transportada por los iones del electrolito a través de la solución en la celda de conductividad. Es por lo tanto necesario considerar también aquellos factores que afectan al transporte del ion.

$$\Lambda = [\text{corriente transp. por iones (+)}] + [\text{corriente transp. por iones (-)}]$$

Teniendo en cuenta las leyes de Faraday acerca de la cantidad de sustancia depositada sobre cada electrodo cuando pasan 96500 coulombios a través de la solución electrolítica, se tiene:

$$\Lambda = F \cdot c(+). m(+). + F. c(-). m(-)$$

donde $c(+)$ y $c(-)$ representan el número de iones positivos y negativos por equivalente de soluto en la celda de conductividad; $m(+)$ y $m(-)$ son las movilidades de los respectivos iones.

Factores que alteran la movilidad de los iones

La conductividad equivalente de los electrolitos se acerca a un valor límite al disminuir la concentración, este valor se denomina **conductividad equivalente a dilución infinita** Λ_0 . Es una medida del poder conductor de 1 equivalente gramo del electrolito, cuando el mismo está dividido en iones que se encuentran tan alejados entre sí tal que no ejercen atracción mutua.

Cada ión contribuye con una magnitud definida a la conductividad total, independientemente de la naturaleza del otro ión. Se establece así la ley de migración independiente de los iones, rigurosamente cierta a

diluciones infinitas cuando no hay interacción mutua, la cual se puede expresar:

$$\Lambda_0 = \lambda_+ + \lambda_-$$

siendo λ_+ y λ_- las conductividades iónicas del catión y del anión respectivamente, a dilución infinita. Estos valores expresan la magnitud con que cada ión contribuye a la conductividad equivalente total, independientemente de la presencia del otro ión.

En una solución infinitamente diluida los iones están tan separados que la única resistencia al movimiento de los mismos hacia los electrodos es la fricción con el solvente, con lo cual las movilidades (m^{\pm}) permanecen constantes e iguales a $m^{\pm 0}$ (movilidad a dilución infinita).

Si la solución es más concentrada, el ión disminuye su movilidad debido al **efecto de asimetría** (atracción eléctrica entre iones de signo opuesto) y al **efecto electroforético** (atracción del disolvente por iones de distinto signo que se mueven en direcciones opuestas). Ambos efectos se intensifican a medida que aumenta la concentración del electrolito, de manera que las fuerzas retardadoras aumentan y la conductividad disminuye.

Para comprender el efecto de asimetría se introduce el concepto de atmósfera iónica; en ausencia de un campo eléctrico externo, ésta puede imaginarse como una esfera de carga opuesta que se encuentra distribuida simétricamente alrededor del ión, de manera que no ejerce una fuerza neta sobre él. En presencia de un campo externo, a medida que el ión se mueve en una dirección, la atmósfera se distorciona, no permanece distribuida esféricamente alrededor del ión, y se retarda. Como consecuencia, el ión también se retarda en su movimiento (Fig. 1).

El efecto electroforético surge del movimiento de la atmósfera y del ión en direcciones opuestas; ambos atraen disolvente lo que implica un retardo en el movimiento en contra de ese flujo de disolvente. Este efecto es menor en compuestos de alta viscosidad.

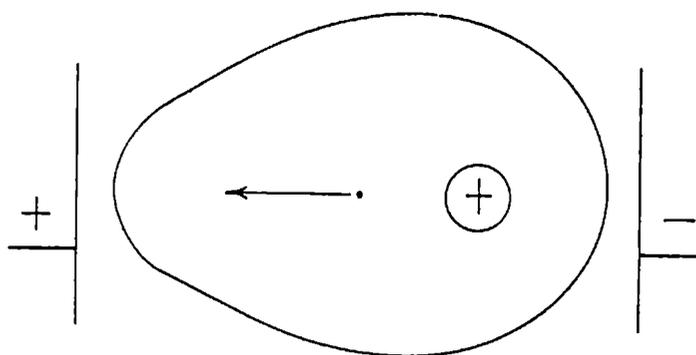


Fig. 1

Ambos efectos (el electroforético y el de asimetría) son tenidos en cuenta en las ecuaciones que describen la conductividad.

Lo enunciado hasta aquí es especialmente aplicado a sistemas acuosos, pero hay disolventes y sustancias polares que se comportan esencialmente igual. No todos los disolventes forman sistemas de alta conductividad; el benceno, tolueno, y otros hidrocarburos tanto aromáticos como alifáticos dan una conductividad casi despreciable. En cambio los nitrilos, nitrocompuestos, aminas, alcoholes, glicoles, amonio, etc., producen disoluciones de buena conductividad y modifican la conductividad de los pocos conductores.

Celda de conductividad

En la Fig. 2 se muestra el diseño básico de una celda típica de conductividad. La misma consta de un contenedor con un tubo para llenado y dos electrodos de metal sellados con vidrio. El material más usual para los electrodos es el Pt, debido a su elevada inercia química frente a una variada gama de soluciones y a su fácil limpieza. Para disminuir la tendencia a la polarización, los electrodos se recubren de una capa de negro de platino finamente dividido.

En la práctica lo que se mide es la resistencia de la solución y la conductividad específica es calculada con la ecuación $L = K / R$.

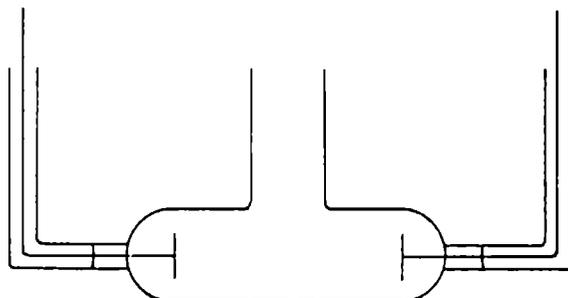


Fig. 2

Para medir la resistencia de una solución es necesario conocer su concentración y la temperatura a la cual se realiza el experimento en el laboratorio. Los coeficientes de conductividad térmica son cercanos al 2% por °C, por lo que para obtener medidas precisas es necesario el control de la temperatura en el rango de 0.01-0.001°C.

Equipos industriales

Es evidente que la fragilidad y el alto costo de los elementos constitutivos de las celdas de laboratorio, así como las restricciones en los límites de concentración y variación de la temperatura hacen que estos dispositivos sean poco accesibles para uso industrial. Por lo tanto, se han desarrollado otros electrodos que, calibrados frente a equipos de alta precisión, permiten determinar la conductividad de un medio orgánico como la pintura. En estos dispositivos, el cuerpo principal de vidrio es reemplazado por teflón y los electrodos son dos anillos de bronce Admiralty.

Los conductímetros industriales son instrumentos sencillos, dotados de indicadores luminosos (led) de diferentes colores que marcan los límites de conductividad. Cada uno de estos dispositivos es específico para el equipo de aplicación elegido.

En el caso de productos orgánicos, y considerando el método de aplicación de pintura utilizado, el rango de variación de temperatura permitido para los equipos de tipo industrial es más amplio, siendo aceptada una variación de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ respecta a la temperatura ambiente.

Desarrollo experimental

1.- Puesta a punto del equipo de aplicación electrostática

1.1- Equipo de pulverización

El presente trabajo se comenzó realizando la puesta a punto del equipo WAGNER equipado con una pistola electrostática Aircoat. Esta operación se realizó empleando una pintura comercial (esmalte sintético) para exterior ALBALUX 001-BLANCO, código 25A45H, que es considerada industrialmente apta para este tipo de aplicación. El material se cargó en el equipo de pulverización WAGNER Airless 7000H de accionamiento eléctrico cuyas características se indican a continuación:

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Motor eléctrico..... | 220V, 50Hz, 0.85KW. |
| Presión máxima (graduable)..... | 250 bar. |
| Caudal libre..... | 8.3 l.min ⁻¹ . |
| Cantidad pulverizable..... | 5.5 l.min ⁻¹ (a 120 bar). |
| Boquilla standard..... | 0.530 / 0.21 / 50°. |

1.2- Pistola pulverizadora

El material es pulverizado a alta presión (30-80 bar) mediante la pistola pulverizadora. El aire de pulverización (0-2.5 bar) crea un abanico de rociado poco compacto, que elimina los problemas de superposición en los bordes. El abanico es producido por una turbo-boquilla multicanal que disminuye el tamaño de las partículas de pintura, y al mismo tiempo reduce su velocidad de avance (Fig. 3).

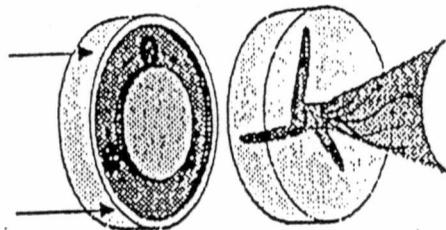


Fig. 3

Se genera así una nube de rocío poco compacta, redonda y muy bien pulverizada (Fig. 4). El material pulverizado se carga electrostáticamente por acción de los dos electrodos o huecos de ionización (D) ubicados en los extremos de carga de la pistola, estableciéndose un campo eléctrico (C) entre los electrodos y el objeto a rociar (A), conectado a tierra. Las partículas de pintura cargadas (B) se mueven en dirección al objeto por acción del campo y de la presión de pulverización, y se depositan sobre éste de modo uniforme y circular.

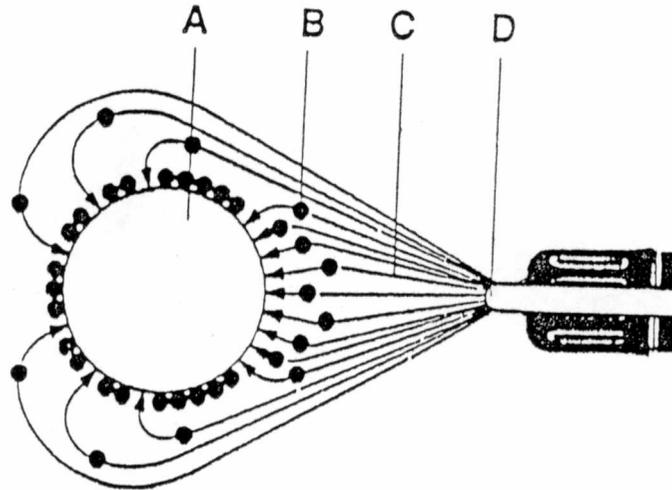


Fig. 4

Este mecanismo de formación de nube tiene indudables ventajas respecto a otros mecanismos de pintado ya que produce mínimo sobrerrocado, recubre la pieza en forma circular y requiere menor tiempo de operación.

Para obtener un recubrimiento óptimo, es necesario que el objeto a pintar esté firmemente conectado a tierra. Si la conexión es imperfecta, puede producirse una película con mala adhesión, de espesor variable y además, salpicaduras sobre la pistola y el usuario, al actuar ambos de toma a tierra más eficientes.

Con el fin de evitar estos inconvenientes se debe lograr una suspensión correcta y firme de la pieza a la línea de producción y la puesta a tierra de la cabina de rociado, de los dispositivos de transporte y de suspensión de todas las partes conductoras existentes dentro del ámbito de trabajo. De acuerdo al manual de operación del equipo, para obtener

óptimos resultados, la resistencia de la puesta a tierra de la pieza a pintar no debe sobrepasar 1 Mohm.

Por este método es posible aplicar imprimaciones, barnices, esmaltes sintéticos y recubrimientos de alto contenido de sólidos a base de disolventes convencionales.

La pistola pulverizadora empleada en este trabajo posee las siguientes características :

Presión máxima de aire.....10 bar.
 Presión máxima de pintura.....250 bar.
 Tensión de entrada.....24V.
 Intensidad de entrada.....máx. 1.2A.
 Tensión de salida.....85KV.
 Intensidad de salida.....200mA.
 Polaridad.....negativa.

El componente variable que resulta fundamental en el sistema de aplicación es la boquilla pulverizadora, ésta define el ancho del cono de pintura que incide sobre la superficie. Las condiciones de operación normalmente usadas son: distancia pistola/objeto=300mm y presión de trabajo=10bar. En la TABLA I se indican los datos técnicos y las posibles aplicaciones de las boquillas pulverizadoras.

TABLA I
Datos técnicos y aplicaciones de boquillas pulverizadoras

| Orificio, mm | Ancho de cono, mm | Tipo de producto a aplicar |
|---------------------|--------------------------|--|
| 0.18-0.48 | 50-500 | barnices y pinturas convencionales |
| 0.28-0.66 | 80-550 | barnices y pinturas de altos sólidos |
| 0.43-0.88 | 100-600 | pinturas anticorrosivas, dispersiones |
| 0.53-1.37 | 100-400 | aplicaciones sobre grandes superficies |

La Fig. 5 muestra un esquema de la pistola para aplicación electrostática empleada con todos sus componentes.

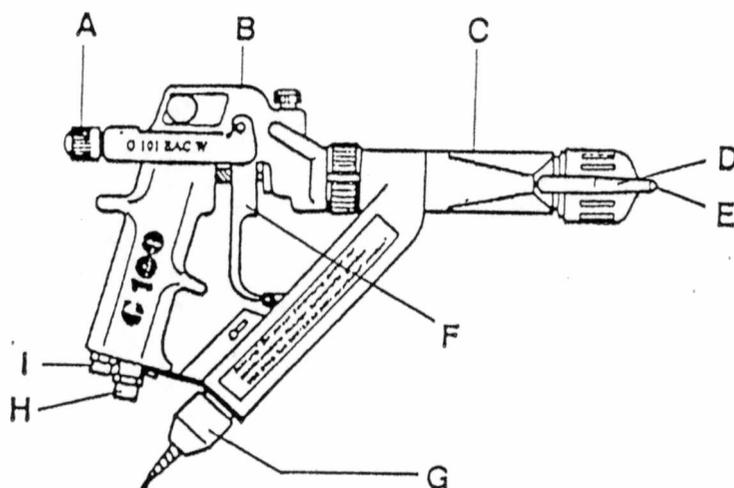


Fig. 5. (A) tornillo regulador, (B) cuerpo de la pistola (empuñadura), (C) prolongación (caño de la pistola), (D) electrodo, (E) boquilla, (F) gatillo, (G) conexión eléctrica, (H) entrada de material, (I) entrada de aire

1.3- Equipo de carga

El dispositivo de carga dirige y regula la sección electrostática de la pistola de aplicación y sus características técnicas son las que se describen a continuación:

| | |
|---|---------------------------------|
| Tensión de entrada..... | 220V a 50/60 Hz. |
| Potencia nominal de entrada..... | 30 W. |
| Tensión de salida..... | 24V. |
| Intensidad nominal de salida..... | 1.2A. |
| Frecuencia..... | 13/15 KHz. |
| Valor de conductividad de la pintura..... | 0.001 a 0.00001 S. |
| Caudal de rociado..... | 0.1 a 0.5 l.min ⁻¹ . |
| Peso..... | 2.0Kg. |

Los componentes del equipo de carga son los indicacos en la Fig. 6.

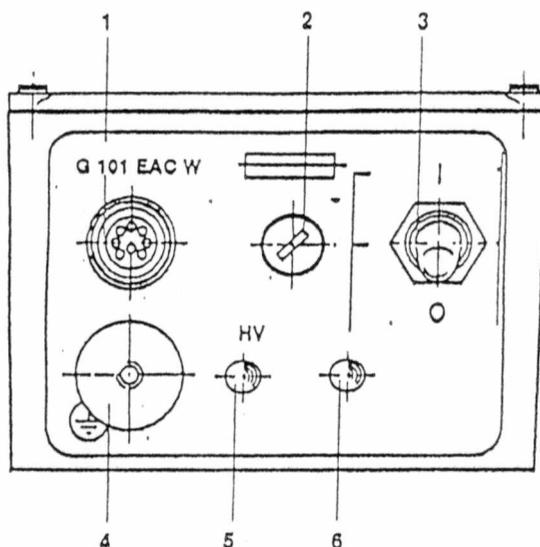


Fig. 6. (1) Borne de unión con la pistola, (2) Fusible, (3) Llave principal, (4) Conexión a tierra, (5) Indicador de alta tensión y de suciedad, (6) Indicador de funcionamiento.

1.4- Puesta en marcha

Al iniciar esta operación se debe proceder de la siguiente manera: lavar con solvente el sistema pistola - tubo conductor de la pintura; ajustar, por dilución, la viscosidad de la pintura a aplicar entre 18-24 segundos en copa FORD N°4 (la misma es variable en función del contenido de sólidos del producto); poner en marcha la bomba de alimentación con una presión de pintura de 50 bar (el tubo flexible para el aire (A) (ver Fig. 7) debe estar conectado a una línea de aire seco y libre de aceites, el tubo flexible de alimentación de pintura (B), conectado a la bomba 7000H y el cable eléctrico (C) conectado al equipo de carga VM101 W) y conectar y asegurar el perfecto contacto de la puesta a tierra, para evitar los inconvenientes citados precedentemente.

Al conectar la llave principal, se enciende el indicador visual de funcionamiento (verde). Al accionar el gatillo de la pistola, se activa el contacto exterior y se enciende el indicador visual de alta tensión (rojo). Se pone así en marcha la fuente de poder.

Al acercar la pistola al objeto a pintar que está conectado a tierra, el equipo reduce en forma automática la alta tensión. Si la pistola está sucia, el indicador de alta tensión se enciende en forma intermitente, lo que muestra la formación de un cortocircuito que se elimina por limpieza.

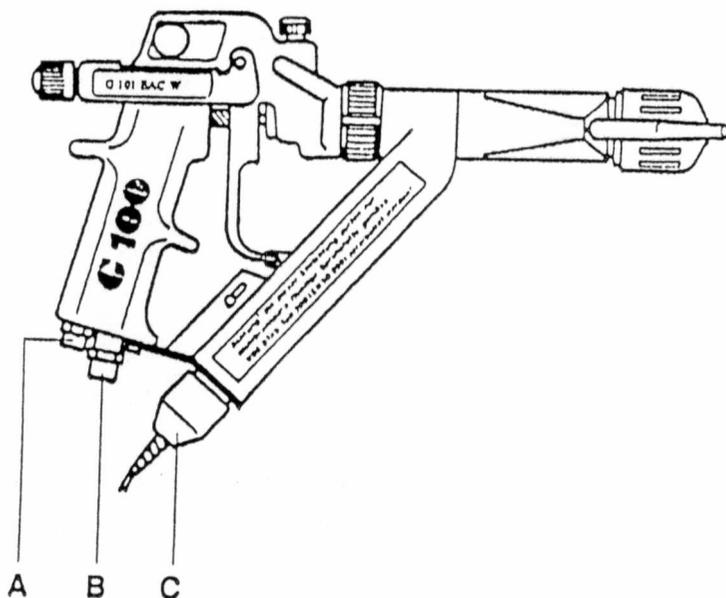


Fig. 7

Controladas las conexiones, se acciona el gatillo (A) (ver Fig. 8), regulando la presión en la bomba de pintura y la tensión de trabajo de acuerdo con la boquilla y la complejidad del objeto a pintar.

Si se trata de recubrir una pieza simple, como puede ser una estructura tubular (por ejemplo un cuadro de bicicleta), se trata de emplear la tensión máxima de trabajo (80 KV). Esto permite lograr una carga máxima efectiva de partícula, una mejor cobertura de la pieza y una mínima pérdida de pintura. En el caso de estructuras de mayor complejidad como podría ser el recubrimiento de interiores de chasis de acondicionadores de aire, la gran cantidad de lugares confinados aumenta la posibilidad de formación de jaulas de Faraday. Las primeras partículas que llegan al lugar ionizan el aire confinado en el interior de la caja cargándolo con la misma carga que ellas poseen por lo que las partículas que llegan posteriormente, son rechazadas por cargas de su misma naturaleza, lo que impide que

lleguen a destino. En consecuencia se obtiene un menor espesor de película y una menor protección. Debe, en este caso, disminuirse la tensión de trabajo a valores entre un 20 y 40% de la tensión total del equipo, lo que permite un adecuado compromiso entre espesor final-tiempo de operación-ahorro de pintura.

Se abre el aire de pulverización (C) (máx. 2.5 bar), estableciendo la presión óptima de pulverización girando el regulador de la boquilla (B) para ejercer un control adicional sobre el abanico del aire de pulverización. El regulador de la boquilla nunca debe ser ajustado al cuerpo de la misma en forma apretada: entre cuerpo y regulador debe quedar espacio para el aire de pulverización.

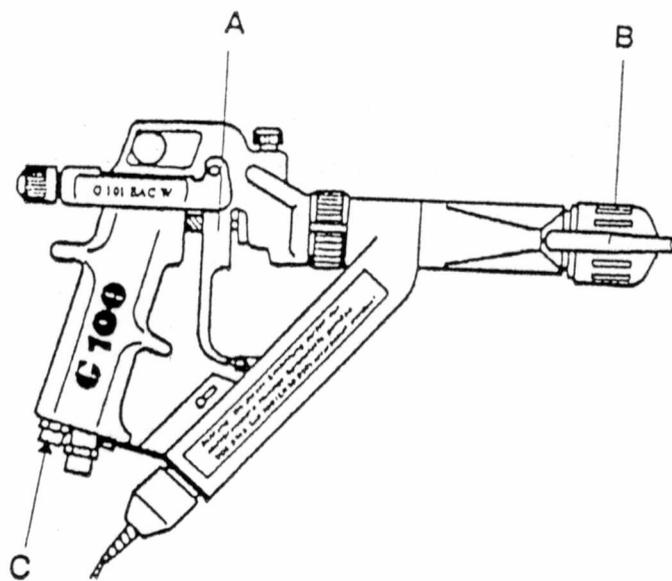


Fig. 8

Terminada la operación de pintado, se realiza la limpieza según las normas de seguridad establecidas por el fabricante del equipo.

2.- Calibración del equipo industrial de medición de conductividad

El equipo de medición empleado en la industria es eminentemente práctico, para ser empleado por personal técnicamente no capacitado para operar con equipos complejos.

La bibliografía consultada así como los catálogos técnicos de los equipos, no cuantifican el rango de variación de la conductividad que permite realizar una operación exitosa. El equipo de medición de conductividad provisto con el sistema WAGNER, marca estos límites mencionados mediante un juego de indicadores luminosos (led) con zonas distribuidas de la siguiente manera:

| Zona | I | II | III | IV |
|-------|----------|--------------|-------------------|--------|
| Led | 1-2-3-4 | 5-6-7-8-9-10 | 11-12-13-14-15-16 | 17-18 |
| Color | amarillo | verde | amarillo | rojo * |

* : señal acústica indicadora de sobreconductividad.

Para calibrar el equipo y cuantificar los límites mencionados se fabricó un circuito con una llave inversora conectada al conductímetro industrial y a un conductímetro de laboratorio ORION ATI-170. La selección de los patrones se realizó empleando las tablas de conductividad de disolventes orgánicos comúnmente utilizados en la elaboración de pinturas; se eligieron: metiletilcetona (alta conductividad, $2.10\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y tolueno (baja conductividad, $0.10\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), con especificaciones correspondientes a productos pro-análisis.

El procedimiento seguido fué el siguiente: sobre 100ml de metiletilcetona se agregaron, lentamente y con agitación continua, cantidades crecientes de tolueno. El aumento de concentración de este último produce la caída paulatina de la conductividad. Se registraron los valores correspondientes a señales firmes y constantes en cada led, tomando como valor de referencia para el tolueno puro $K = 0.10\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (led 1) y para la metiletilcetona pura $K = 2.10\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (led 18).

La TABLA II muestra los valores de conductividad correspondiente a cada led y Fig. 9 la correspondiente curva de calibración.

TABLA II
Valores de conductividad correspondientes a cada zona

| Zona | I | | II | | III | | IV | |
|--------------|----------|------|-------|------|----------|------|------|------|
| | Led | K | Led | K | Led | K | Led | K |
| | 1 | 0.10 | 5 | 0.36 | 11 | 0.82 | 17 | 1.90 |
| | 2 | 0.25 | 6 | 0.41 | 12 | 0.93 | 18 | 2.10 |
| | 3 | 0.28 | 7 | 0.45 | 13 | 1.05 | | |
| | 4 | 0.32 | 8 | 0.50 | 14 | 1.25 | | |
| | | | 9 | 0.60 | 15 | 1.39 | | |
| | | | 10 | 0.62 | 16 | 1.62 | | |
| Color | amarillo | | verde | | amarillo | | rojo | |

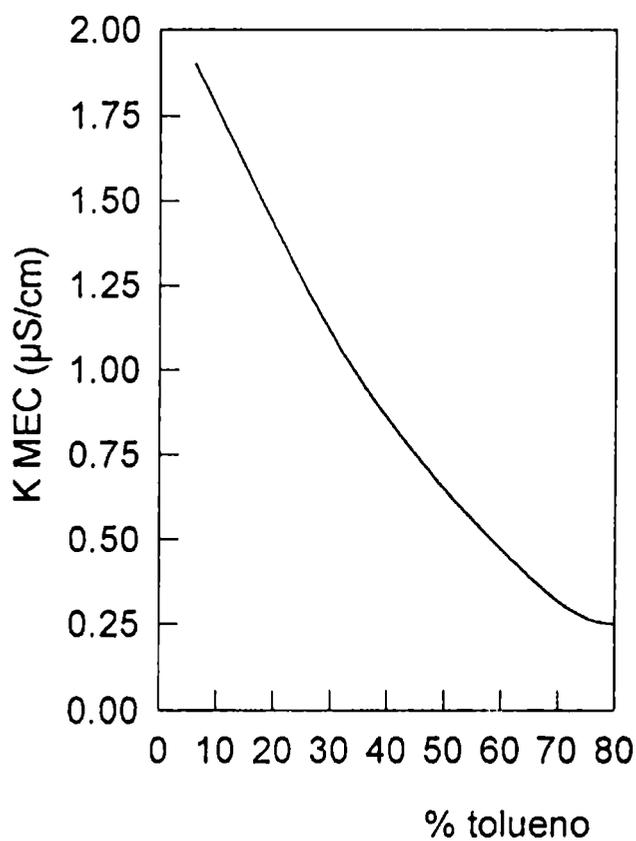


Fig. 9

3.- Selección de materias primas

3.1- Resinas

Para las formulaciones se seleccionaron **resinas alquídicas**, por su importante volumen de consumo en la industria de la pintura, y por las buenas propiedades de retención de brillo y resistencia a la intemperie de los productos que con ellas se elaboran.

Químicamente son poliésteres de alcoholes polihidroxilicos (glicerina, por ejemplo) con ácidos policarboxílicos (ácido ftálico), combinados con aceites secantes, semisecantes y no secantes en diferentes proporciones. Los ácidos del aceite se combinan químicamente con las resinas y se convierten en parte integrante del polímero.

En el producto terminado, el contenido de resina o poliéster es el que confiere a la película características de dureza y resistencia; mientras que el de aceite regula la flexibilidad, adhesividad y solubilidad en disolventes de bajo costo. En función de su contenido porcentual de aceite las resinas alquídicas se clasifican en : cortas (entre 35-45 %), medias (50-60 %) y largas (mayor de 60 %). Las propiedades del producto terminado son diferentes si en la esterificación se emplea directamente el aceite o se parte de los ácidos grasos (previa separación del resto de la molécula) y son también función del tipo de aceite. Así, si el aceite es de linaza, se logran resinas de buen color, buen secado, buena resistencia al agua, pero con tendencia al amarillamiento. Una mezcla de linaza-tung produce una resina que seca más rápidamente, con mucha mejor resistencia al agua pero con una mayor tendencia al amarillamiento. Si se emplea aceite de soja, la resina obtenida es de muy buen color, el amarillamiento es menor pero el secado es más lento y la resistencia al agua disminuye.

Las resinas alquídicas son insustituibles en la industria de la pintura, por calidad y economía, para lograr esmaltes con excelentes propiedades decorativas y protectoras. Su estructura molecular es la que se esquematiza en la Fig. 10.

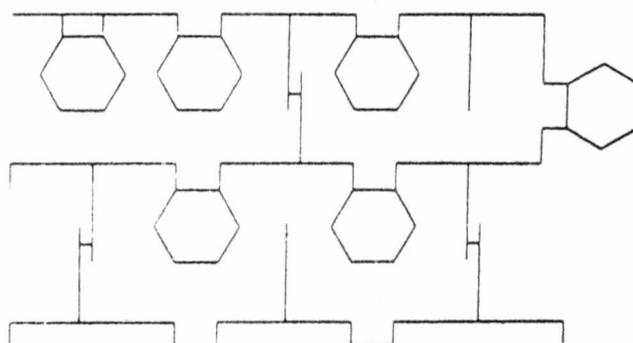


Fig. 10

La selección de los productos más adecuados se realizó en función de datos de comportamiento, facilidad de obtención y homogeneidad entre partidas, obtenidos de los catálogos de una de las principales fábricas de resinas del país, POLIDUR. Las especificaciones de las resinas aptas para uso electrostático se muestran en la TABLA III.

TABLA III
Especificaciones técnicas de las resinas ALKIPOL

| Resina | Alk.307/50T | Alk.400/50T | Alk.409/50T | Alk.505/50X | Urepol1060/60 |
|------------------------|---------------|-------------------|---------------|--------------|------------------|
| Tipo | alquid puro | alquid modificado | alquid puro | alquid puro | urea formaldeido |
| Volátil | tolueno nafta | tolueno nafta | tolueno nafta | Xileno nafta | butanol xileno |
| No volátil, % | 49-51 | 49-51 | 49-51 | 49-51 | 58-62 |
| Consistencia | Z3-Z5 | Z2-Z4 | Z3-Z5 | Z2-Z4 | T-W |
| Color | máx.6 | máx.6 | máx.6 | máx.6 | máx.2 |
| Nº Acidez | máx.20 | máx.18 | máx.18 | máx.18 | máx.3 |
| Tipo de acéite | lino | soja | girasol | coco | ---- |
| Contenido de aceite, % | 37-38 | 30-31 | 38-39 | 35-36 | ---- |
| Tipo de polioli | glicerina | pentaeritritol | glicerina | glicerina | ---- |
| Solubilidad1 | excelente | excelente | excelente | excelente | excelente |
| Solubilidad2 | parcial | mala | parcial | mala | regular |
| Solubilidad3 | parcial | mala | parcial | parcial | excelente |
| Solubilidad4 | excelente | buna | excelente | excelente | excelente |
| Solubilidad5 | excelente | buna | excelente | excelente | buna |

Nota: solubilidad: (1) solventes aromáticos, (2) alifáticos, (3) butanol, (4) acetatos, (5) cetonas.

Las propiedades que confieren estas resinas al producto terminado son las siguientes:

ALKIPOL 307/50T: excelente secado inicial en esmaltes de secado al aire, en combinación con urea o melamina se logran películas de muy buena elasticidad y dureza.

ALKIPOL 400/50T: excelente secado, buen brillo y buena retención de color. Con proporciones bajas de UREPOL, se obtienen esmaltes homeables de buena dureza a baja temperatura de curado.

ALKIPOL 409/50T: buena retención de color a temperaturas menores que 120°C en esmaltes homeables. Buen secado inicial en esmaltes de secado al aire.

ALKIPOL 505/50X: buena dureza y excelente brillo. Buena retención de color en el horneado y resistencia al amarilleo.

UREPOL 1060/60: muy buen brillo y dureza. Muy buena resistencia a la abrasión y a la acción de agentes químicos.

En base a las propiedades mencionadas, se decidió trabajar con las resinas alquídicas 409/50T a base de aceite de girasol y la 505/50X a base de aceite de coco. Ambas son aptas tanto para productos de secado al aire como secado a temperatura (horneado). En este último caso las dos se caracterizan por sus bajas temperaturas de curado (máximo 120°C), resistencia a la intemperie y al amarilleo. Tienen un contenido de aceite adecuado (entre 35-39%) y excelente solubilidad en disolventes de alta polaridad.

El agregado de resina UREPOL 1060/60 confiere a las formulaciones (comerciales o elaboradas en el CIDEPINT) una **conductividad intrínseca**, que facilita alcanzar los valores adecuados para la aplicación electrostática; la presencia de UREPOL en la formulación contribuye a acelerar el secado a baja temperatura (curado por horneado) y a mejorar el brillo y la dureza de la película.

3.2- Solventes

Una ventaja del sistema de pintado electrostático es que permite el empleo de pinturas de formulación más o menos convencional dado que el sistema de pintado se basa en establecer una diferencia de potencial entre la pintura y el objeto a pintar. Es evidente que lo fundamental es conseguir que la pintura, en condiciones de aplicación, tenga un valor de conductividad específica, que permita aprovechar al máximo las ventajas del sistema de pintado. Esta será la resultante de las características particulares de los pigmentos, aditivos y solventes usados en la formulación.

Los **solventes** son los componentes fundamentales de las pinturas que poseen las características de conductividad adecuadas para ser aplicadas por atomización. Por ser un componente volátil, el solvente solo afecta la pintura en las etapas de aplicación y formación de la película. Dado que todo el solvente electrostático se agrega en el momento de preparar la pintura para su aplicación, el proceso de elaboración y manipuleo no requiere tal incorporación. De esta manera la pintura puede ser destinada tanto al pintado electrostático como a cualquiera de los otros métodos de aplicación. Debido a que el agregado del solvente provoca una caída de viscosidad, el producto ideal es aquel que produce una adecuada polaridad con una baja caída de viscosidad.

Los solventes a emplear deben tener, además de un buen poder de solvencia (esto es, eficiencia para reducir la consistencia de la resina), muy buena compatibilidad y una curva de evaporación satisfactoria. En la TABLA IV se enumeran algunos de los solventes más usados en pinturas electrostáticas con su correspondiente resistividad, polaridad y evaporación relativa (referida ésta última a valor 100 para el acetato de butilo).

TABLA IV
Propiedades de los solventes empleados en pinturas electrostáticas

| Solvente | Resistividad Mohms | Evaporación relativa | Polaridad |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|
| Metil cellosolve | 0.03 | 47 | alta |
| Metiletilcetona | 0.05 | 572 | alta |
| 2 Nitropropano | 0.07 | --- | alta |
| Acetona | 0.04 | 1160 | alta |
| Acetato de etilo | 0.3 | 615 | alta |
| Butil cellosolve | 0.05 | 6 | alta |
| Acetato de butilo | 4.00 | 100 | alta |
| Tolueno | > 40 | 240 | baja |
| Xileno | > 40 | 70 | baja |
| Aguarrás mineral | > 40 | --- | baja |
| Estasol | > 40 | <1.0 | baja |

La evaporación está relacionada con las condiciones iniciales de secado y con el adecuado balance de disolventes que permitan llegar al período final de secado manteniendo una correcta composición que facilite la formación de la película.

3.3- Aditivos

Debido a que existe un fuerte compromiso entre conductividad y caída de consistencia, es conveniente el uso de aditivos polarizantes. Éstos cumplen dos funciones primordiales: aumentar drásticamente la conductividad eléctrica del medio orgánico y mantener dicha conductividad a lo largo del proceso de pulverización, desde la formación de la gota hasta su llegada a la superficie y adhesión al sustrato.

Por lo tanto, dos propiedades son deseables en un aditivo polarizante: permanencia y tensioactividad. La permanencia es importante en el traslado de la gota desde la boquilla hasta su deposición sobre el sustrato, ya que durante dicho recorrido se produce la evaporación de parte de los disolventes polares que tienen alta tensión de vapor. Este fenómeno es función de la temperatura ambiente.

El poder tensioactivo mejora la formación de la gota durante la pulverización y la calidad de la película formada al facilitar la deformación del polímero, la unión entre gotas y la dispersión sobre el sustrato.

Los aditivos polarizantes son auxiliares catión-activo fuertemente polares, en general aminas, que pueden dosificarse en las diferentes etapas del proceso de elaboración.

En el presente trabajo se han ensayado la dietilamina, trietanolamina y morfolina.

4.- Desarrollo de formulaciones

4.1- Desarrollo de soluciones conductoras

Se trata de obtener un producto de fuerte carácter polar, soluble en los solventes y resinas que contienen los esmaltes sintéticos (generalmente mezclas de aguarrás mineral-tolueno ó xileno y resinas alquídicas). La polaridad puede aumentarse por el agregado de resinas uréicas ó amínicas, ya que ambas son de tipo catión-activo, polarizadas eficazmente por la presencia de n-butanol.

Basado en estas consideraciones, se formularon las mezclas mejoradoras de conductividad (SERIE A; muestras 1 a 6) cuya composición (% P/P) y valores de conductividad se muestran en la TABLA V.

TABLA V
Mezclas conductoras y valores de conductividad (SERIE A)
g.100g⁻¹

| Mezcla N° | Resina Uréica | MRF* | ETG* | Butanol Xileno | Butanol MEC* | Butilglicol | K, μScm^{-1} |
|-----------|---------------|------|------|----------------|--------------|-------------|-------------------------|
| 1 | 80 | 2 | 18 | ---- | ---- | ---- | 19.5 |
| 2 | ---- | 2 | 18 | 80 | ---- | ---- | 19.0 |
| 3 | ---- | 2 | 18 | ---- | 80 | ---- | 138.6 |
| 4 | 80 | 2 | ---- | ---- | ---- | 18 | 3.7 |
| 5 | ---- | 2 | ---- | 80 | ---- | 18 | 1.1 |
| 6 | ---- | 2 | ---- | ---- | 80 | 18 | 27.55 |

* : MRF (morfolina); ETG (etilenglicol); MEC (metiletilcetona).

Nota : butanol-xileno (50/50); butanol-MEC (75/25).

Para probar la eficacia de las mezclas, se tomaron 60ml de esmalte sintético comercial ALBALUX 001-BLANCO, en los que se agregaron volúmenes crecientes de los productos a ensayar, registrándose la cantidad de ml agregados hasta alcanzar el valor mínimo ($0.32 \mu\text{S.cm}^{-1}$; Led 4) y máximo ($0.62 \mu\text{S.cm}^{-1}$; Led 10) de conductividad, determinándose también el valor de la consistencia final (TABLA VI). Este último dato es importante debido a que un producto apto para aplicar con soplete electrostático debe tener una consistencia comprendida entre 18 y 24 segundos (medida en copa Ford N° 4).

TABLA VI

Valores de conductividad y consistencia final en función del volumen de solución conductora agregada (SERIE A)

| Mezcla N° | Volumen agregado, ml | | K, μScm^{-1} | | Consistencia final, seg * |
|-----------|----------------------|--------|-------------------------|--------|---------------------------|
| | Led 4 | Led 10 | Led 4 | Led 10 | |
| 1 | 37 | 42 | 0.32 | 0.62 | 188 |
| 2 | 20 | 28 | 0.32 | 0.62 | 28 |
| 3 | 13 | 15 | 0.32 | 0.62 | 40 |
| 4 | 40 | 55 | 0.32 | 0.62 | 70 |
| 5 | 60 | 75 | 0.32 | 0.62 | 14 |
| 6 | 19 | 22 | 0.32 | 0.62 | 22 |

* : Consistencia inicial, seg : 250.

El análisis de los resultados obtenidos permite observar que el factor determinante de la conductividad es la presencia de la mezcla butanol-MEC que produce valores iniciales altos de conductividad (muestra 3: $138.6 \mu\text{Scm}^{-1}$; muestra 6: $27.55 \mu\text{Scm}^{-1}$). Esto implica que el agregado de solamente 3.4% y 5% (sobre el total de pintura) de solución conductora N° 3 y N° 6 respectivamente (TABLA VI), logra llevar el valor de la conductividad al máximo posible dentro del rango apto para la aplicación, aunque la primera no permite obtener la consistencia establecida anteriormente para su uso con la pistola. Esto puede deberse a la ausencia de aromáticos (Xileno) en la mezcla. Cuando están presentes, este tipo de disolventes producen una importante caída de viscosidad con poco agregado de producto y mantienen el contenido de sólidos en valores cercanos a los de la muestra sin diluir. Actúan además como buenos reguladores de la evaporación, ayudando a la obtención de buenos acabados.

En base a estos resultados, se modificaron las mezclas empleadas con el objeto de optimizar la relación conductividad-consistencia final, obteniéndose una nueva serie de muestras (SERIE B) cuyas características se muestran en la TABLA VII.

TABLA VII
Mezclas conductoras y valores de conductividad (SERIE B)
g.100g⁻¹

| Mezcla N° | Resina Uréica | MRF* | ETG* | Xileno | Butanol MEC* | Butilglicol | K, μScm^{-1} |
|-----------|---------------|------|------|--------|--------------|-------------|-------------------------|
| 10 | 60 | 2 | 16 | 0 | 20 | 2 | 61.4 |
| 11 | 40 | 2 | 16 | 0 | 40 | 2 | 120.1 |
| 12 | 20 | 2 | 16 | 0 | 60 | 2 | 170.9 |
| 13 | 10 | 2 | 16 | 10 | 60 | 2 | 92.5 |
| 14 | 5 | 2 | 16 | 15 | 60 | 2 | 70.2 |
| 15 | 0 | 2 | 16 | 20 | 60 | 2 | 40.3 |

* : MRF (morfolina); ETG (etilenglicol); MEC (metiletilcetona).

Nota : butanol-MEC (75/25).

Como en el caso anterior, se probaron las mezclas frente al esmalte comercial anteriormente especificado obteniéndose los resultados indicados en la TABLA VIII.

TABLA VIII
Valores de conductividad y consistencia en función del volumen de solución conductora agregado (SERIE B)

| Mezcla N° | Volumen agregado, ml | | K, μScm^{-1} | | Consistencia final, seg * |
|-----------|----------------------|--------|-------------------------|--------|---------------------------|
| | Led 4 | Led 10 | Led 4 | Led 10 | |
| 10 | 15 | 20 | 0.32 | 0.62 | 68 |
| 11 | 14 | 17 | 0.32 | 0.62 | 46 |
| 12 | 13 | 15 | 0.32 | 0.62 | 32 |
| 13 | 16 | 20 | 0.32 | 0.62 | 24 |
| 14 | 15 | 17 | 0.32 | 0.62 | 23 |
| 15 | 15 | 17 | 0.32 | 0.62 | 13 |

* : Consistencia inicial, seg : 250.

Desde el punto de vista de la conductividad, la solución 15 es la que brinda mejores resultados, pero la consistencia cae por debajo del valor mínimo aceptable para la aplicación con pistola electrostática. Tanto la solución 14 como la 13 se consideran óptimas para el trabajo, ya que la viscosidad cae dentro de los valores especificados para la aplicación (18-24 seg).

Mediante una selección de ensayos normalizados de laboratorio (según NORMA IRAM 1107 para pinturas esmalte sintéticas brillantes), se evaluaron en ambas series importantes propiedades de la pintura, como por ejemplo: tiempo de secado (tacto y duro), consistencia, elasticidad (doblado), adhesividad, brillo y resistencia al agua destilada. Estas propiedades no deben ser afectadas significativamente por el agregado de la mezcla mejoradora de conductividad.

Los resultados obtenidos para la SERIE A demuestran que el agregado de resina uréica a esmaltes de tipo comercial produce importantes interferencias en el secado, aumentando el tiempo de secado al tacto y del secado final, disminuyendo en forma importante el brillo y la adhesión y produciendo alteraciones en la flexibilidad (TABLA IX). Este defecto debe atribuirse a una incompatibilidad entre la resina alquídica principal del esmalte sintético comercial y la resina UREPOL e indica que no es conveniente introducir otro componente en la formulación sin conocer perfectamente su composición.

TABLA IX
Variación de propiedades en función de mezcla conductora (SERIE A)

| Solución | 0* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------|-----------|-----------------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
| Tiempo Secado Tacto, min | 30 | 65 | 35 | 25 | 60 | 38 | 25 |
| Tiempo Secado Duro, hs | 5 | >8 | 5.8 | 5 | >8 | 6 | 4 |
| Consistencia seg | 250 | 188 | 28 | 40 | 70 | 14 | 22 |
| Elasticidad | S** | C** | S** | S** | C** | S** | S** |
| Adhesividad % | 100 | 60 | 95 | 98 | 70 | 92 | 95 |
| Brillo | 85 | 57 | 83 | 80 | 59 | 82 | 84 |
| Resistencia al agua | S** | perdida brillo *** | S** | S** | perdida brillo *** | S** | S** |

* : muestra original

** : S (satisfactorio); C (cuarteado).

*** : ablandamiento.

Los ensayos realizados sobre la pintura modificada con las mezclas de la SERIE B (TABLA X) confirman las conclusiones mencionadas precedentemente.

TABLA X
Variación de propiedades en función de mezcla conductora (SERIE B)

| Solución | 0* | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------------------|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
| Tiempo Secado Tacto, min | 30 | 65 | 50 | 40 | 35 | 35 | 15 |
| Tiempo Secado Duro, hs | 5 | >8 | >8 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| Consistencia seg | 250 | 68 | 46 | 32 | 24 | 23 | 13 |
| Elasticidad | S** | C** | C** | C** | S** | S** | S** |
| Adhesividad % | 100 | 70 | 70 | 55 | 95 | 98 | 100 |
| Brillo | 85 | 65 | 60 | 58 | 80 | 80 | 85 |
| Resistencia al agua | S** | perdida brillo *** | perdida brillo *** | perdida brillo *** | S** | S** | S** |

* : muestra original

** : S (satisfactorio); C (cuarteado).

*** : ablandamiento.

Así puede observarse que el tiempo de secado al tacto tiende a disminuir a medida que desciende el contenido de resina uréica en las soluciones, alcanzando valores casi coincidentes con la pintura original en las composiciones 13 y 14 (que contienen 10 y 5% de resina ureica respectivamente) y cae por debajo del mismo en la muestra 15 que no contiene dicha resina. En este último caso, el agregado de una mezcla de mayor riqueza en componentes volátiles y libre de solidos adicionales (resina uréica) actúa como los “thinners” comerciales: produce una rápida caída en el valor de la consistencia y acelera el tiempo de secado al tacto, sin interferir en el secado duro, que determina el valor final de dureza de la película.

El resto de las propiedades estudiadas tienen un comportamiento similar al comentado precedentemente para los tiempos de secado, ya que sus resultados son función del contenido de resina uréica en la composición.

4.2 - Formulación de pinturas

En base a los resultados obtenidos, se decidió formular dos series de pinturas, dentro de cuya composición se utilizan resinas con propiedades intrínsecamente conductoras.

Pese a las notables interferencias que ocasiona la resina UREPOL en los productos comerciales se eligió esta resina uréica (UREPOL 1060/60), de tipo catión-activa, que baja rápidamente la conductividad en presencia de disolventes polares, debido a que es muy empleada en formulaciones para aplicación electrostática.

Las dos series tienen composiciones similares pero se diferencian en el tipo de resina principal elegida. La SERIE I tiene como resina básica la ALKIPOL 409/50T, la que ha sido reemplazada en parte por la resina uréica que constituye la parte catión-activa (TABLA XI).

TABLA XI
Pinturas electrostáticas a base de ALKIPOL 409/50T (SERIE I)

| | Componente | Pintura 1 | Pintura 2 | Pintura 3 | Pintura 4 |
|----------------------------------|---------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Fracción no polar | TiO₂ | 31.4 | 31.4 | 31.4 | 31.4 |
| | 409/50T | 37.85 | 37.85 | 37.85 | 37.85 |
| | Xileno | 5.05 | 5.05 | 5.05 | 5.05 |
| | Lecitina soja | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | Aguarrás | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | Bentone SD2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | Fracción polar | 409/50T | 5.73 | 0 | 5.73 |
| Urepol | | 15.93 | 21.65 | 15.93 | 21.65 |
| Morfolina | | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| Etilenglicol | | 2.45 | 2.45 | 2.45 | 2.45 |

La SERIE II tiene como resina básica la ALKIPOL 505/50X, la que también fue reemplazada, en parte por resina uréica (TABLA XII). Dentro de las formulaciones se incluye la resina ureica UREPOL 1060, pues es completamente compatible con las resinas alquídicas principales elegidas, por lo que no produce interferencias en el secado y en las propiedades finales de la película. Su presencia baja rápidamente la conductividad por

ser de tipo catión-activa y permite emplear ambas formulaciones tanto para secado al aire como para secado al horno, de acuerdo a la dureza final de película que se desee obtener.

TABLA XII
Pinturas electrostáticas a base de ALKIPOL 505/50X (SERIE II)

| | | | | | |
|--------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Fracción no polar | Componente | Pintura 5 | Pintura 6 | Pintura 7 | Pintura 8 |
| | TiO₂ | 32.01 | 32.01 | 32.01 | 32.01 |
| | 505/50X | 37.08 | 37.08 | 37.08 | 37.08 |
| | Xileno | 5.15 | 5.15 | 5.15 | 5.15 |
| | Lecitina soja | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | Aguarrás | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | Bentone SD2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Fracción polar | 505/50X | 11.2 | 0 | 11.2 | 0 |
| | Urepol | 10.4 | 21.6 | 10.4 | 21.6 |
| | Morfolina | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | Etilenglicol | 2.45 | 2.45 | 2.45 | 2.45 |

Como agentes secantes se emplearon soluciones de octoato de cobalto (6% de Co), octoato de calcio (4% de Ca) y naftenato de plomo (16% de Pb) en las cantidades que se indican en la TABLA XIII.

TABLA XIII
Secantes agregados a las formulaciones

| Pintura N° | Cobalto g | Calcio g | Plomo g |
|-------------------|------------------|-----------------|----------------|
| 1 | 1.16 | 2.9 | 3.63 |
| 2 | 0.90 | 2.23 | 2.80 |
| 3 | 1.16 | 2.90 | 3.63 |
| 4 | 0.90 | 2.23 | 2.80 |
| 5 | 1.00 | 2.50 | 3.14 |
| 6 | 0.90 | 2.20 | 2.70 |
| 7 | 1.00 | 2.50 | 3.14 |
| 8 | 0.90 | 2.20 | 2.70 |

4.3- Método de elaboración de pinturas

El método de elaboración empleado en escala de laboratorio es el denominado de pasta madre (“master batch”) o concentrados. El mismo consiste en dispersar el ó los pigmentos en un concentrado líquido que contiene entre el 70-90% de la resina, los disolventes y diluyentes, el antisedimentante y el agente dispersante. El conjunto formado es un producto de alta viscosidad que se introduce en un molino de bolas para realizar la dispersión. Finalizada la misma, se agregan los secantes y el resto de la resina, la que viene acompañada por los componentes de alta polaridad (la resina uréica, morfolina y etilenglicol).

Se verificó también la influencia de la polaridad del medio dispersante sobre la conductividad del pigmento. Las muestras 1-2 (TABLA XI) y 5-6 (TABLA XII), se prepararon dispersando el pigmento en la fracción no polar, mientras que las muestras 3-4 (TABLA XI) y 7-8 (TABLA XII), lo fueron dispersando en la fracción polar. Se buscó establecer así si, de acuerdo a lo que teóricamente se postula, las características de polaridad (polar y no polar) de la capa de resina que rodea la partícula y que se adsorbe y absorbe sobre ella, tiene influencia sobre la conductividad de la parte inorgánica (pigmento) de la pintura.

4.4 - Ensayos de laboratorio según Norma IRAM 1107

Elaboradas las pinturas, se realizaron ensayos tendientes a evaluar su comportamiento en laboratorio. Se seleccionaron las propiedades que más pueden verse afectadas por la polaridad del sistema.

Los resultados obtenidos se muestran en las TABLAS XIV y XV.

TABLA XIV
Ensayos de laboratorio. Pinturas a base de resina ALKIPOL 409/50T

| Ensayo | Pintura 1 | Pintura 2 | Pintura 3 | Pintura 4 |
|--|------------|----------------------------|------------|--|
| Densidad g.ml ⁻¹ | 1.2417 | 1.2014 | 1.2227 | 1.2067 |
| Consistencia inicial, seg | 216 | 120 | 150 | 100 |
| Grado de dispersión | 1-2 | 2-3 | 4 | 1-2 |
| Tiempo de secado Tacto, min Duro, hs | 18 4.00 | 17 3.45 | 16 4.20 | 16 5.00 |
| Elasticidad | S* | cuarteado | S* | cuarteado |
| Adhesividad % | 95 | 90 | 97 | 92 |
| Brillo | 95.8 | 96.2 | 97.2 | 98.3 |
| Resistencia al H ₂ O destil. | S* | pérdida de brillo ** | S* | pérdida de brillo, arrugado, ** |

S* : satisfactorio.

** : ablandamiento.

Del análisis de los mismos surge que a medida que aumenta el contenido de resina polar, disminuye rápidamente la consistencia inicial, independientemente del tipo de resina alquídica utilizada.

La influencia del método de elaboración sobre la consistencia inicial es evidente. En todos aquellos casos en que la dispersión se realizó sobre la fracción polar (muestras 3, 4, 6 y 7), la consistencia inicial del producto

obtenido medida a las 24hs. de elaborado, fué siempre menor que en aquellos casos en que la dispersión se realizó en la fracción no polar.

TABLA XV
Ensayos de laboratorio. Pinturas a base de resina ALKIPOL 505/50X

| Ensayo | Pintura 5 | Pintura 6 | Pintura 7 | Pintura 8 |
|--|------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Densidad g.ml ⁻¹ | 1.2549 | 1.2805 | 1.2345 | 1.2446 |
| Consistencia inicial, seg | 184 | 120 | 112 | 70 |
| Grado de dispersión | 1-2 | 2-3 | 1-2 | 1-2 |
| Tiempo de secado Tacto, min Duro, hs | 20 4.00 | 21 4.25 | 20 3.52 | 20 5.10 |
| Elasticidad | S* | cuarteado | S* | cuarteado |
| Adhesividad % | 97 | 85 | 91 | 90 |
| Brillo | 96.1 | 99.2 | 96.5 | 97.9 |
| Resistencia al H ₂ O destilada | S* | pérdida de brillo ** | S* | pérdida de brillo ** |

S* : satisfactorio.

** : ablandamiento.

No hay evidencias de interferencias en el tiempo de secado por la adición de la resina uréica ya que el mismo se mantiene dentro de los límites establecidos por la Norma IRAM 1107. En tanto que un aumento en el contenido de ésta, afecta la flexibilidad (doblado), la adhesividad y la resistencia al agua destilada, independientemente del tipo de resina alquídica empleada en la formulación. Esto puede deberse a que la resina uréica es corta en acéite y se agrega a una composición que contiene resinas de este mismo tipo, produciendo una película con condiciones restringidas de resistencia a los factores que se desarrollan en los ensayos mencionados.

Es de destacar que el brillo inicial de las muestras obtenidas está muy por encima del mínimo establecido en norma y no es afectado por los polarizantes agregados en la formulación.

4.5 - Conductividad y caída de consistencia.

Dado el número de muestras de pinturas elaboradas y la cantidad de agentes polarizantes formulados, en esta etapa se trabajó con el que demostró ser más eficiente en los ensayos previos con la pintura comercial. Se eligió la solución 14 (TABLA XIV), debido a su alto valor de conductividad y rápida caída de consistencia producida por una baja adición de agente polarizante a la pintura comercial ensayada.

Del análisis de los resultados presentados en la TABLA XVI, puede observarse que para la pintura n° 1, una pequeña cantidad de solución (2ml) aumentó la conductividad de la pintura de $0.17\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $0.32\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (led 4) y sólo se necesitan 3ml para llegar a $0.62\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (led 10), límite máximo de la escala, antes de que la muestra adquiera sobreconductividad.

Analizando además la caída de consistencia se ve que ésta alcanza valores compatibles con la aplicación a soplete. Algo similar ocurre con el resto de las muestras aunque algunas no adquieren el valor de consistencia necesario. Esto indica que la necesidad de realizar un reajuste tanto de las formulaciones de pinturas como de la composición de los aditivos polarizantes.

TABLA XVI
Ensayo de conductividad y caída de consistencia

| Pintura | Consistencia inicial, seg | K inicial | Volumen agregado en led4, ml | Consistencia seg | Volumen agregado en led10, ml | Consistencia final, seg |
|---------|---------------------------|-----------|------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | 216 | 0.17 | 2 | 128 | 3 | 25 |
| 2 | 120 | 0.32 | 0 | 120 | 3 | 23 |
| 3 | 150 | 0.22 | 2 | 98 | 4 | 22 |
| 4 | 100 | 0.21 | 2 | 76 | 4 | 31 |
| 5 | 184 | 0.25 | 4 | 58 | 5 | 28 |
| 6 | 120 | 0.25 | 2 | 72 | 3 | 32 |
| 7 | 112 | 0.13 | 4 | 53 | 5 | 24 |
| 8 | 70 | 0.29 | 2 | 46 | 3 | 30 |

Conclusiones

1.- En la elaboración de las mezclas polarizantes es muy importante la correcta elección de los disolventes utilizados, sobre todo en los casos en que se adicionan a pinturas comerciales, formuladas para uso general y no específicamente para uso electrostático.

2.- En el caso de pinturas comerciales no es conveniente el agregado de resinas tipo catión-activo, debido a que pueden causar interferencias sobre el comportamiento normal de la resina principal alterando propiedades tan importantes como la flexibilidad, adhesividad, brillo y resistencia al agua.

3.- Las mezclas con mejor comportamiento como agentes polarizantes y reductores de consistencia, son en orden decreciente las muestras 6 y 5 en la SERIE A y 14, 13, 12 y 15 en la SERIE B, respectivamente. Las mismas poseen valores altos de conductividad inicial, lo que permite que la pintura alcance valores de conductividad y consistencia adecuados para una buena aplicación con soplete.

4.- El método de elaboración utilizado fué apto para obtener un producto final con buenas propiedades. Se verificó que el orden de adición de las fracciones que componen el producto no influye significativamente sobre la conductividad inicial de la pintura, ni sobre su tendencia posterior a aumentar la misma por agregado de una mezcla polarizante.

5.- La viscosidad inicial de la pintura está fuertemente influenciada por el método de elaboración utilizado. Si se agrega en primer lugar la fracción no polar, la pintura obtenida presenta mayor consistencia inicial que en el caso contrario. Este resultado no influye sobre la acción del aditivo polarizante ni impide alcanzar rápidamente la consistencia adecuada para su aplicación con soplete.

6.- Un aumento en el contenido de resina polar, produce una disminución rápida de la consistencia independientemente del tipo de resina alquídica utilizada y afecta en forma evidente las propiedades mecánicas (adhesión y flexibilidad) y químicas (resistencia al agua destilada) del producto final.

Bibliografía

- 1.- Glasstone, Samuel - Tratado de Química Física 2^{da} Edición. Aguilar-Madrid, 1961.
- 2.- Mellan, Ibert - Industrial Solvents Handbook 2nd edition - Noyes Data Corp, New Jersey, 1977.
- 3.- Polidur San Luis SAIC - Catálogo de Resinas Sintéticas - Buenos Aires, 1996.
- 4.- Sward, G. - Paint Testing Handbook 13th edition. ASTM Special Technical Publication 500- Philadelphia, 1972.
- 5.- Tatton, W. and Drew E. - Industrial Paint Application 2nd edition - Londres, 1971.
- 6.- Rayu, K.V., Yaseen M. - Reology of alkyds in solvents - Europ. Coat Journ 7-8, 1991, 463.
- 7.- Taylor C. and Marks M. Paint Technology Handbook Part IV. The application of surface coatings - Oil and Col. Chem. Assoc.. Chapman and Hall, Londres, 1965.
- 8.- Parker, Dean - Tecnología de los recubrimientos de superficie Tomo 7 - Bilbao, 1977.
- 9.- IRAM. Instituto Argentino Racionaliz. Materiales. Norma IRAM 1107. Esmaltes Sintéticos - Buenos Aires.
- 10.- IRAM. Instituto Argentino Racionaliz. Materiales. Norma IRAM 1109. Métodos generales de ensayo - Buenos Aires.