

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Aguas residuales

Las aguas residuales son materiales que se derivan de residuos domésticos o de procesos industriales, y los cuales por razones de salud pública e impacto ambiental, no pueden ser desechados sin un tratamiento.

Como se menciona anteriormente las aguas residuales se clasifican de acuerdo a su origen en aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales. Las aguas residuales pueden contener contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los contaminantes orgánicos que puede traer el agua residual son proteínas, carbohidratos, nitrógeno, fósforo, aceites, grasas, fenoles, etc. Los contaminantes inorgánicos pueden ser arenas, sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc [1].

El verter aguas residuales sin un tratamiento previo es perjudicial para el medio ambiente ya que contaminamos pozos, acuíferos, ríos y lagunas.

1.2 Aguas industriales

Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales que pueden tener orígenes muy distintos: agua usada como medio de transporte, del lavado y enjuague, de transformaciones químicas usando el agua como disolvente, como subproductos de procesos físicos de filtración o destilación, como medio de transporte de calor, etc [1].

Algunos contaminantes, en especial los metales pesados y ciertas sustancias orgánicas, están sometidas a severas restricciones y para algunas industrias se requieren autorizaciones basadas en estudios de impacto ambiental y de análisis de riesgos.

Para poder limpiar las aguas residuales es necesario dar un tratamiento para producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente. Para lo cual, se establecen 3 tipos de tratamientos, que son el tratamiento primario (asentamiento de sólidos), el tratamiento secundario (tratamiento biológico de sólidos flotantes y sedimentables) y el tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas de oxidación, micro filtración o desinfección) [2].

La selección del tren de tratamiento depende de las necesidades industriales y domésticas y de los costos que generen. Las aguas residuales y su tratamiento son un tema de gran importancia ya que el agua no es abundante en todas las partes del planeta y hay lugares como nuestro estado de Sonora donde las sequías han mermado los sectores agrícolas y ganaderos en la última década. Por eso se requiere cuidar el agua e insistir en las industrias donde se use el agua el aplicar un correcto tren de tratamiento de aguas para así contribuir con el cuidado de la misma.

1.3 Características de las aguas residuales

El entendimiento de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales son muy importantes en el diseño, operación y manejo de la recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales. La naturaleza de las aguas residuales incluye las características físicas, químicas y biológicas las cuales dependerán del uso del agua de la comunidad, además del uso de la industria, de la agricultura y del clima.

Cuando las aguas residuales son frescas tienen un color gris y el olor es tolerable. El color cambia gradualmente de gris a negro. Olores desagradables se pueden desarrollar como resultado en aguas residuales contenidas en fosas sépticas. Las características físicas más

importantes de las aguas residuales son la temperatura y la concentración de sólidos [3]. La temperatura y los sólidos contenidos en aguas residuales son factores muy importantes para los procesos de tratamiento de aguas residuales. La temperatura afecta las reacciones químicas y las actividades biológicas. Los sólidos afectan la operación y el tamaño de las unidades de tratamiento [3].

1.4 Normatividad Mexicana

Las siguientes normas mencionan los límites permisibles de contaminantes dependiendo de donde se descargue y su uso.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para los lodos y biosólidos, así como su disposición final.

1.5 Industria automotriz

La industria automotriz se encarga del diseño, desarrollo, fabricación, ensamblaje, comercialización y venta de automóviles. El sector automotriz es el segundo en importancia en la industria nacional, sólo detrás del petrolero. En el ámbito privado es el más importante de México.

1.5.1 Evolución reciente de la industria automotriz en México

La industria automotriz junto con la electrónica, ha sido uno de los sectores más dinámicos en el desarrollo industrial del país durante las últimas décadas. Cabe señalar, que desde la apertura comercial se convirtió en el sector clave en las manufacturas dirigidas al mercado de Estados Unidos. En efecto, el mercado estadounidense es el principal destino de las exportaciones de autopartes mexicanas, ya que representa el 78 por ciento de las exportaciones totales de esta industria [4].

Las principales plantas de la industria automotriz se encuentran en la zona norte del país, debido a los procesos de integración productiva con las empresas estadounidenses. Por ejemplo, en el área industrial Saltillo-Ramos Arizpe, se concentran las empresas de General Motors (en la producción de motores y ensamble de automóviles) y la empresa Chrysler (en la generación de motores). Por otro lado, la firma Ford sobresale en la producción de motores en el estado de Chihuahua, mientras que en Hermosillo, Sonora concentra su producción en troquelado y ensamble. Por su parte, la empresa Renault centra su producción en la ciudad de Gómez Palacio, Durango. En lo que respecta al centro del país, sólo dos empresas sobresalen en la producción de motores, Nissan y la Volkswagen en el Estado de México y Puebla, respectivamente [4].

La producción de autopartes a nivel nacional ha crecido notablemente desde 1994, año en que entró en vigor el TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte), cuando registró una producción de 13 mil 893 millones de dólares, y diez años después alcanzó un

nivel de 22 mil 419 millones de dólares, lo que representó un crecimiento de más del 60 por ciento. Por ello, se considera a la industria automotriz como una de las más beneficiadas por el TLCAN. Tan sólo en el 2005 alcanzó un nivel de producción de 23 mil 451 millones de dólares (Tabla 1). En cuanto a volúmenes de exportación y producción de autopartes, durante febrero del año 2006 registró un nivel de 121 mil unidades de exportación y 166 mil unidades de vehículos. En el mismo mes la marca que más vendió fue General Motors con 20,136 unidades, seguida por Nissan con 18,337 unidades; Ford, con 14,024; Volkswagen, 10,969; Chrysler con 9,178 ventas [5].

Tabla 1. Producción de autopartes en México.

Periodo	Millones de dólares
1994	13,893
1995	11,120
1996	13,324
1997	15,400
1998	16,637
1999	18,279
2000	21,617
2001	20,521
2002	20,423
2003	19,547
2004	22,419
2005	23,451

Fuente: Industria Nacional de Autopartes. www.ina.com.mx

1.5.2 Importancia de la industria automotriz en la economía nacional

La industria automotriz demandó alrededor de medio millón de empleos directos y, como consecuencia de los insumos utilizados en sus procesos productivos, generó un número

importante de plazas laborales de forma indirecta. Asimismo, promueve el desarrollo de diversas actividades ubicadas en las manufacturas e incluso en otros sectores económicos, como el comercio (compra venta de: vehículos; refacciones; gasolinas y lubricantes, etc.) y los servicios (transportes, reparación y mantenimiento de automóviles y camiones, entre otras [6].

1.5.3 Procesos de la industria automotriz

Las operaciones fundamentales van desde el estampado y construcción de carrocerías, pintura de los vehículos, ensamblado y pre entrega, hasta el embarque de vehículos. Las áreas de soporte con las que cuenta son Planeación y Logística de Materiales, Contraloría, Recursos Humanos, PVT (Plant Vehicle Team) e Ingeniería. de Planeación de Manufactura, así como el equipo de personal del área de Lanzamiento. Todo esto conforma una industria automotriz, que a su vez también es consolidada por medio de los numerosos proveedores que tienen las ensambladoras de autos.

1.6 Procesos de recubrimiento automotriz

Existen 2 principales tipos de recubrimiento en la industria automotriz. Estos son e-coat y pintura en polvo. Los procesos de recubrimiento en la industria automotriz son muy importantes ya que ofrecen una excelente calidad de acabado, una protección contra la corrosión y una base para aplicar acabados finales de pintura. Los procesos de recubrimiento metálico utilizan un pretratamiento previo para impedir la corrosión. La pintura es un sustrato que ha permitido embellecer y proteger la superficie metálica. Sin embargo, ésta no ofrece a la pieza pintada durabilidad y resistencia a la corrosión, ya que la película de pintura es permeable a la humedad y oxígeno del aire y además, como la superficie metálica se conserva conductora bajo la película de pintura, posibilita que se produzca un deterioro bajo ella, ya que las corrientes de corrosión fluyen sin impedimento entre los potenciales locales de la superficie metálica.

Un fosfatizado convierte la superficie metálica en un conductor pobre. Esta capa de tan sólo unos pocos micrones de espesor, proporciona una barrera aislante a la corrosión. El fosfatizado, por si mismo, protege limitadamente al metal contra la corrosión. Se aumenta notablemente su beneficio protector cuando se aplica sobre él una película de pintura u otro acabado orgánico. Las extraordinarias propiedades de absorción de la capa de fosfato a la pintura, se debe a la rugosidad micro cristalina que produce sobre la superficie metálica.

Los grandes beneficios de la capa de fosfato, como tratamiento previo a la aplicación de pintura sobre un metal, se resumen en el aumento notable en la adherencia de la pintura y la resistencia a la corrosión del metal base, así como la resistencia al impacto, mejorando la elasticidad metal-pintura. Hay diversos tipos de pretratamientos los cuales usan diferentes tipos de fosfatizados. Los principales son 3 y son el fosfato de zinc, hierro y manganeso [7].

El fosfato de hierro, es una capa amorfa de apariencia iridiscente, ampliamente usado en el pintado de metales. Existen fosfatos de hierro a los que se les agregan surfactantes adecuados para que la limpieza y el fosfatizado se realicen en una sola etapa. Además tiene características importantes como son una estructura delgada amorfa, buena resistencia contra la corrosión y un peso de recubrimiento de 30 a 90 mg/pie² [7].

El fosfato de zinc es un proceso más complejo, que implica etapas de desengrase, enjuagues, activación con sales de titanio, sellado no crómico y enjuagues para después entrar a la etapa de e-coat. La capa de zinc es de naturaleza cristalina y de color gris. Es muy usado en el pintado de metales y ofrece la más alta adherencia a la pintura. El fosfato de zinc es ideal en la industria automotriz debido a su gran resistencia contra la corrosión [7].

La capa de fosfato de manganeso es de naturaleza cristalina, de color gris oscuro a negro brillante, que se utiliza como protección y capa antifricción, ampliamente empleada en la industria militar y automotriz. El fosfato se aplica a los metales con el fin de seguir como base para subsiguientes capas de pintura, esmaltes o lacas. El recubrimiento de fosfato más

económico es aquel extremadamente delgado producido por un débil ataque de ácido fosfórico [8].

1.6.1 E-coat

El proceso de e-coat o electrorrecubrimiento, le ofrece al cliente muchas ventajas. Éstas empiezan con el pretratamiento apropiado, siguen con el e-coat, y terminando con el curado térmico. Además, el e-coat ofrece una solución que protege al medio ambiente utiliza bajo nivel de los VOC's (compuestos orgánicos volátiles), y no usa HAP's (hidrocarburos aromáticos policíclicos) o metales pesados.

Para asegurar la mejor protección, es importante seleccionar el pre tratamiento apropiado. El proceso de pretratamiento ofrece un anclaje con el e-coat y además previene la corrosión.

El proceso de e-coat es un método que utiliza una corriente eléctrica. El e-coat involucra la depositación de partículas coloidales de resina cargadas eléctricamente en dispersión acuosa sobre un sustrato conductor [9]. El proceso sigue el principio de atracción de las cargas opuestas.

El principio fundamental de la física del e-coat es que los materiales con cargas eléctricas opuestas se atraigan. Este sistema aplica una carga de corriente continua a una pieza metálica sumergida en un baño de pintura con partículas opuestamente cargadas. Las partículas de pintura son atraídas hacia la pieza metálica y la pintura es depositada en ésta formando una capa uniforme.

El proceso continúa sobre cada superficie en cada hendidura y esquina hasta que la cobertura alcance el espesor deseado. Una vez obtenido el espesor deseado, la capa aísla la pieza y la atracción cesa terminando el proceso de e-coat [9].

1.6.2 Pintura en polvo

La pintura en polvo es diferente de la pintura líquida. No hay líquidos ni solventes. Por lo tanto, es el mejor recubrimiento para el medio ambiente. Con las recientes regulaciones ambientales en las emisiones al aire y descarga de aguas residuales, el cambio de recubrimiento de pintura líquida a pintura en polvo está prevaleciendo [10]. Debido a su estado seco, la sobre pulverización del polvo se puede recuperar para obtener una aplicación más eficaz. Utiliza calor para convertir su estado en polvo a una capa continua. Los materiales de la pintura en polvo son plásticos que se han pulverizado a un estado de polvo fino. El polvo de pintura consiste de las resinas plásticas, los pigmentos, aglutinantes, agentes de flujo y otros ingredientes especiales que proporcionan las características deseadas de la capa de recubrimiento.

Hay dos clasificaciones básicas de los materiales de la pintura en polvo. Éstos son los polvos "termoplásticos" y "termoestables".

Los polvos termoplásticos se aplican generalmente a una superficie precalentada a una temperatura mucho más alta que la del punto de fusión del polvo. Cuando el polvo termoplástico se aplica a la superficie caliente se derrite y forma un "enlace de fusión" en la superficie y entonces "fluye fuera de" como una capa fuerte y continua. Cuando la capa se refresca desarrolla sus características físicas. Los materiales de nylon son los polvos termoplásticos usados comúnmente. Los polvos termoplásticos son conocidos por su durabilidad y resistencia a las sustancias químicas. El recubrimiento en polvo usando termoplásticos está basado en resinas termoplásticas de alto peso molecular [10].

Los polvos termoestables contienen un catalizador activado por el calor y se aplican generalmente a una superficie a temperatura ambiente. La superficie y el polvo entonces se calientan y cuando la temperatura sube más allá del punto de fusión del polvo (normalmente 121.1°C - 135°C) se derrite y forma un "enlace de fusión" en la superficie. Mientras que la temperatura continúa elevándose (normalmente 182.2°C - 193.3°C) un catalizador sensible al calor se activa y causa el cambio o la "polimerización" de la

estructura molecular del material plástico. La temperatura se mantiene mientras que el material de recubrimiento cura y forma una capa fuerte y dura. Los sistemas de la pintura en polvo termoestables ofrecen amplia flexibilidad de formulación [10].

Los procesos de la pintura en polvo pueden variar por el tipo de material de recubrimiento que es aplicado. Sin embargo, los procesos se pueden dividir generalmente en cuatro funciones: preparación de la superficie, aplicación del polvo, calentamiento de la pieza y curado de la capa [11].

1.6.2.1 Preparación de la superficie

Esta comienza con un proceso para asegurar que la superficie esté limpia y libre de suciedad, como por ejemplo, los aceites de la fabricación. Los tratamientos superficiales subsecuentes pueden incluir la limpieza por rodillos y neumáticos, si es requerida, y la aplicación del fosfato de hierro o de zinc dependiendo de la resistencia a largo plazo de la corrosión deseada.

Los polvos termoplásticos requieren normalmente un primer para promover la adhesión. Los polvos termoestables no requieran un primer porque hay algo en su composición que promueve la adhesión. Sin embargo, el primer, que es una capa de pintura protectora, se pueden utilizar con los polvos termoestables para mejorar algunas propiedades. El material usado en la preparación debe ser compatible con las temperaturas de curado requeridas por los recubrimientos de polvo.

1.6.2.2 Aplicación del polvo

La aplicación del polvo puede derivarse de dos técnicas principales. Estas técnicas son la de "lecho fluidizado" y "spray electrostático".

1.6.2.2.1 Lecho fluidizado

El lecho fluidizado es un proceso de inmersión que utiliza materiales de plástico secos y finamente divididos [11]. El lecho fluidizado es un tanque con una placa porosa en el fondo, como se ve en la Figura 1. La cámara bajo la placa porosa provee una baja presión de aire uniformemente a través de la placa. El aire emergente suspende las finas partículas plásticas en polvo, por lo que la mezcla de aire y polvo semeja a un líquido hirviendo. Los productos que son precalentados por encima de la temperatura de fusión del material de recubrimiento en polvo son sumergidos en el lecho fluidizado, donde los polvos se derriten y se fusionan creando un recubrimiento continuo [11].

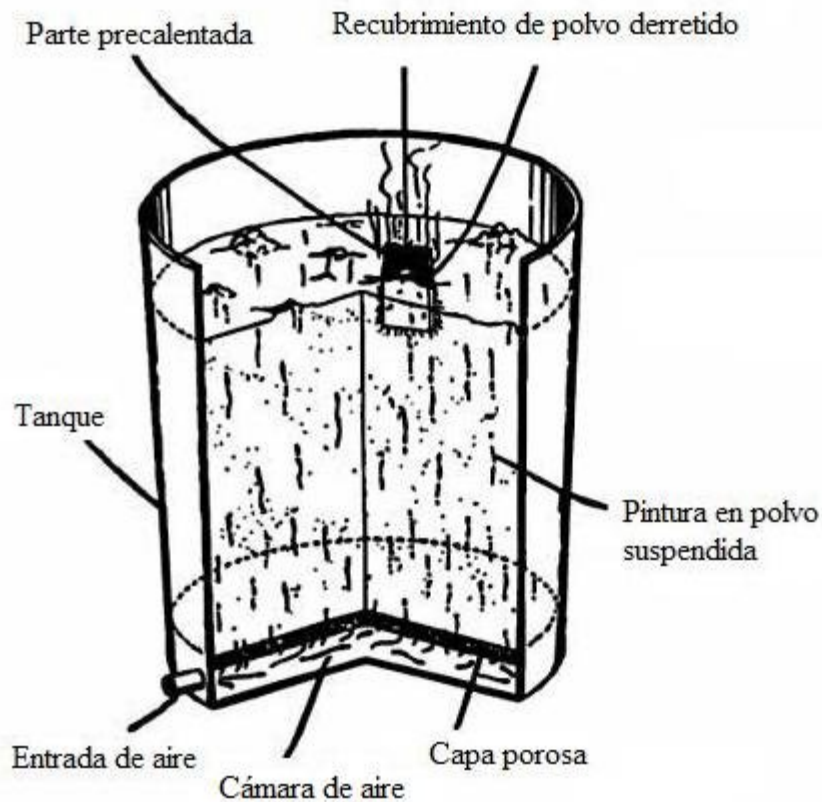


Fig. 1 Ilustración de un proceso simple de lecho fluidizado [11].

Este método es utilizado para aplicar grandes espesores, de 3 a 10 milésimas de pulgada. El espesor del recubrimiento dependerá de la química del polvo, de la temperatura de precalentamiento y su tiempo de permanencia en el lecho [11].

1.6.2.2 Lecho fluidizado electrostático

El lecho fluidizado electrostático es esencialmente un lecho con una red de corriente directa instalada por encima del plato poroso para cargar las partículas suspendidas en el lecho como se observa en la Figura 2 . Una vez cargadas, las partículas son repelidas por la red y se separan unas a otras formando una nube de polvo encima de la red. Estas partículas electrostáticas son atraídas y recubren productos que están aterrizados eléctricamente.

La desventajas de estos lechos fluidizados electrostáticos son el tamaño de los productos a recubrir, además que dentro en las esquinas del lecho el espesor de los productos es menor, esto debido al efecto jaula de Faraday. La ventajas es que piezas pequeñas, como componentes eléctricos, pueden ser pintadas rápido y uniformemente. Además ofrecen la ventaja de aplicar un recubrimiento en objetos como hojas delgadas en un solo lado [10].

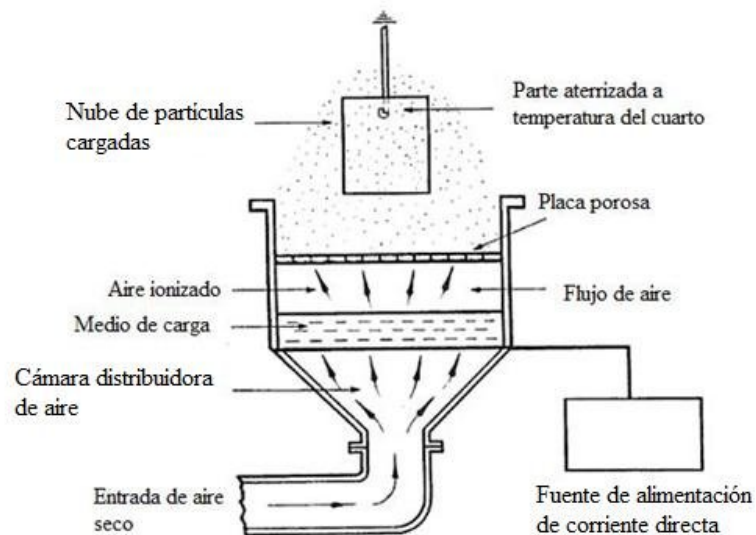


Fig. 2 Lecho fluidizado electrostático [10].

Es posible formar espesores de 100 milésimas de pulgada usando altas temperaturas y tiempos de residencia grandes. Esto se puede ver gráficamente en la Figura 3.

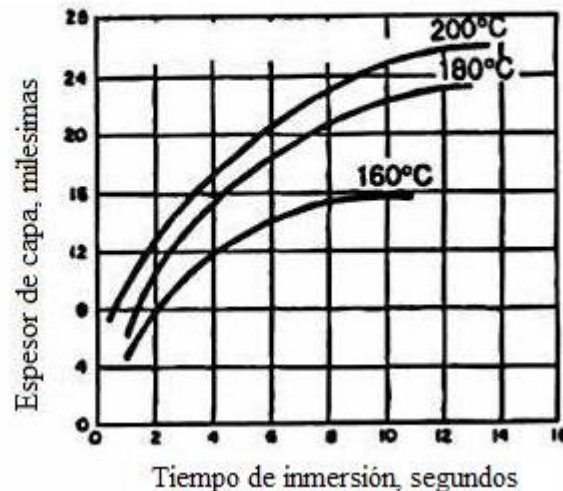


Fig. 3 Efecto del pre calentamiento y el tiempo de residencia en el espesor en una barra de acero con resina epóxica [11].

1.6.2.2.3 Spray Electroestático

El recubrimiento de spray electroestático con polvo es un método donde se aplican unas finas partículas de plásticas cargadas electroestáticamente a productos que están aterrizados. La nube de polvo que se forma en el lecho fluidizado es suministrado por una manguera a un spray en forma de pistola, la cual tiene un electrodo cargado en la boquilla de alimentación por medio de una corriente directa. En algunos casos el polvo puede ser electroestáticamente cargado por medio de fricción.

El espesor de los recubrimientos con polvo que se pueden aplicar es de 1.5 a 5 milésimas de pulgada en productos fríos. Si el producto es calentado ligeramente, el recubrimiento puede

tener un espesor de 20 a 25 milésimas de pulgada [11]. La ventaja de este método es que el recubrimiento, usando varios tipos de resina, puede ser aplicado con un bajo espesor (de 1.5 a 3 milésimas de pulgada) y no tener emisiones de compuestos orgánicos volátiles con una extrema eficiencia de transferencia. En la Figura 4 se puede observar una pistola de spray electrostático.

La desventaja es la dificultad de obtener un espesor continuo de menos de 1 milésima, y además debido a la complejidad del sistema, los cambios de color son más difíciles que con sistemas de spray líquido.

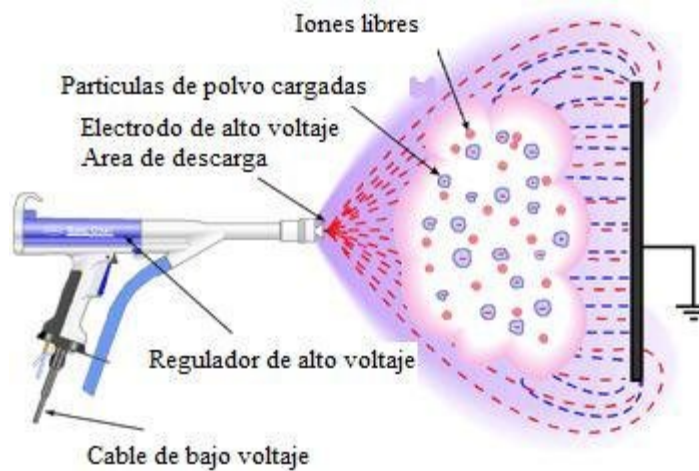


Fig. 4 Esquema de un spray electrostático.[10]

1.7 Aguas residuales de la industria del electrorrecubrimiento automotriz

Las aguas residuales en la industria automotriz es un tema de gran importancia al momento de hablar de tratamiento de aguas residuales. Las características y volúmenes que se generan dependerán de que proceso sea el que está involucrado ya que hay procesos como el moldeo de plásticos, el estampado, pintura, ensamblaje, etc. Los volúmenes más grandes están dentro de la industria de pintura automotriz y sobre todo donde el proceso de pintura es por inmersión en tanques [9].

Los volúmenes que se involucran en los procesos de pintura automotriz son muy variables ya que depende del tamaño de las partes automotrices a pintar y además hay muchos proveedores involucrados por lo que cada proveedor tiene su proceso de pintura y sus respectivos volúmenes de agua involucrados en su proceso. Las características de las aguas residuales en un proceso de pintura son de dos tipos generalmente, aguas alcalinas y aguas ácidas [12].

1.7.1 Aguas residuales alcalinas

Las aguas residuales alcalinas son aquellas que provienen de los tanques de desengrase en el proceso y del tanque de acondicionador. Las aguas residuales del desengrase tienen un pH que va desde 9.5 a 11.1 por lo que son muy alcalinas. Entre los componentes que contienen estas aguas tenemos hidróxido de potasio, ésteres de fosfato, ácido difosfónico, ácido glucónico, polímeros de propileno y polietileno. Las aguas provenientes del tanque de acondicionador tienen un pH de 8.6 a 9.2. Los componentes de esta agua residuales son trípoli fosfato de sodio, fluoruro inorgánico y sesquicarbonato de sodio, así como sales de titanio.

1.7.2 Aguas residuales ácidas

Las aguas residuales ácidas son aquellas que provienen del baño de fosfato así como de los enjuagues posteriores a éste. Estas tienen un pH que va de 2.8 a 3.3 aproximadamente. Los componentes que se encuentran en estas aguas residuales son fosfato de zinc, fosfato de magnesio, ácido fosfórico, nitrato de zinc, difluoruro de hidrógeno y nitrato de sodio. Además el tanque de sello no cromo contiene trietanol amina, ácido nítrico y ácido hidrofluozircónico. Los enjuagues posteriores a éstos tienen un pH que oscila entre 5.0 y 6.0 [9].

Las aguas residuales provenientes del sistema de pintura también son consideradas como ácidas debido a que éstas tienen un pH que oscila entre 5.5 y 5.8. Los volúmenes de ellas siempre son menores debido a que los sistemas de pintura de electrodeposición o e-coat son por lo general sistemas cerrados con pérdidas mínimas de pintura. Aun así, por trabajos de mantenimiento, hay volúmenes de pintura que se pierden y se consideran como aguas residuales por lo que se tienen que tener en consideración en el sistema de tratamiento de aguas residuales. La pintura está compuesta por agua, resina epóxica y pasta [9].

1.7.3 El fosfato de zinc en las aguas residuales

El fosfato de zinc en las aguas residuales proviene de diferentes etapas como lo son el fosfatizado y los enjuagues. La presencia de varios contaminantes en los enjuagues como fosfatos, zinc, manganeso y níquel nos lleva a serios daños al medio ambiente si este tipo de aguas residuales son descargadas directamente. Casi todas las industrias automotrices utilizan este tipo de recubrimiento, pero el fosfato de zinc ha sido señalado en los últimos años, debido a que introduce componentes fosfóricos en los sistemas de aguas, fomentando el rápido crecimiento de algas (eutroficación). Esto afectará la calidad del agua a través del consumo del oxígeno disuelto y destrucción de la vida acuática [13].

Hay algunos métodos de tratamiento como son la precipitación química, adsorción, electrocoagulación, bioabsorción, intercambio iónico y separación por medio de membranas para remover el zinc en efluentes municipales e industriales. En base a esto es necesario contar con un tren de tratamiento de aguas residuales para separar todos estos contaminantes del agua. Para lograrlo hay que tener en cuenta numerosos factores como son los volúmenes de aguas residuales a tratar, la composición de éstas, su origen, el espacio con que se cuenta para realizar una instalación de equipos y los factores económicos.