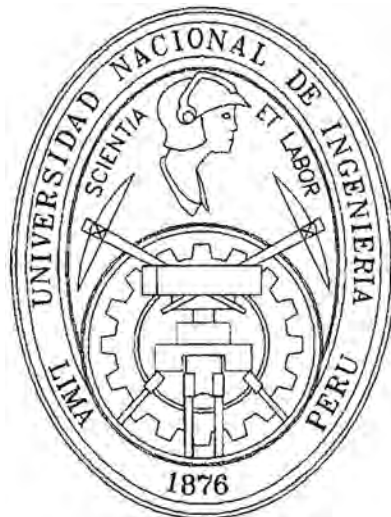


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



**“MEJORA EN LA RECUPERACIÓN DE SOLVENTES EN
UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PINTURAS
APLICANDO UNA ESTRATEGIA DE CONTROL”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR

PEDRO ARNALDO ESPINOZA COLÁN

**LIMA- PERÚ
2003**

AGRADECIMIENTOS

El presente informe constituye uno de los pasos finales en cuanto al logro de una de las metas mas anheladas por todo profesional: la obtención del título profesional.

Doy las gracias a mis padres por todo lo que me han dado, a la Sra. Maruja Alva por su apoyo para que ingrese a la UNI, gracias a mi esposa por su paciencia y comprensión , gracias al Ing° Emerson Collado por sus consejos como amigo y asesor y las gracias también a todos mis profesores tanto del ciclo de actualización de conocimientos que acaba de finalizar como a todos mis profesores de pregrado por haberme brindado las herramientas con las que hoy me desenvuelvo.

Deseo también agradecer a todas las personas que me han ayudado a la elaboración del presente informe, de manera muy especial a los señores Alfredo Salinas de MINSUR y Mirko Costa de CPPQ, por facilitarme no solo el ingreso a la planta de fabricación de pinturas sino además el personal técnico, operarios, datos etc.

INDICE

I.	Introducción	4
II.	La industria de la fabricación de pinturas	5
III.	Descripción del proceso de recuperación de solventes	18
IV.	Caracterización de la unidad de tratamiento	21
V.	Diagnóstico actual	27
VI.	Estrategias de control sugerida	29

I. INTRODUCCION

El presente informe muestra la alternativa planteada para mejorar la recuperación de solventes en una planta de fabricación de pinturas aplicando una estrategia de control. Los datos han sido obtenidos directamente del tablero de control de la unidad de recuperación de solventes de la fábrica de pinturas de la Corporación Peruana de Productos Químicos (CCPQ), ubicada en Lima, en el distrito de Breña.

Se han recolectado datos en dos turnos entre el 14 de noviembre y el 14 de diciembre del 2001. Las mejoras que se plantean son de carácter tecnológico y no considera los costos de la implementación. El análisis de costos se ha realizado para comparar la economía de la operación de recuperación de solventes con tener que comprar solventes frescos.

Los solventes químicos se usan tanto como insumo en la fabricación de la pintura en si, así como en la limpieza de los recipientes en donde se fabrican los diferentes tipos de pinturas (pailas). Los solventes utilizados en esta limpieza se recolectan en una poza y desde aquí se bombean a un destilador. Es aquí en donde se plantea hacer el trabajo de mejora.

Actualmente el equipo posee un sistema de control. Es un equipo que tiene una antigüedad aproximada de 12 años y el principal defecto de muestra es que no tiene controlado el flujo de ingreso de solvente a recuperar, éste se viene haciendo manualmente y es aquí en donde radica la mejora tal y como se plantea en el siguiente informe.

II. LA INDUSTRIA DE LA FABRICACION DE PINTURAS

Una pintura es una formulación constituida por una materia sólida que imparte color, suspendida en un medio líquido y aplicada como recubrimiento a diversos tipos de superficies.

El propósito del recubrimiento puede ser decorativo, protector o funcional. Los efectos decorativos pueden deberse al color, al brillo o a la textura. El recubrimiento protector puede ser la pintura en una embarcación de madera, con el objeto de que sirva de barrera contra la humedad y evite la descomposición; el recubrimiento interior de tambores o latas metálicas para evitar la corrosión causada por alimentos o productos químicos, etc. Un ejemplo de las aplicaciones funcionales de las pinturas son las señales de tráfico que delimitan el centro y los bordes de las carreteras para proporcionar un marco seguridad en la circulación de automóviles.

La industria de las pinturas atiende a dos tipos principales de mercados, las ventas al menudeo y las ventas industriales (recubrimientos químicos).

Las ventas al menudeo están formadas por pinturas para el hogar y otros productos que se comercializan al público en general y para los pintores profesionales. Se usan tanto en construcciones nuevas como para mantenimiento de edificios. En esta categoría se incluye también las pinturas que se venden a los talleres de reparación de automóviles, mantenimiento de botes y lanchas, pinturas para publicidad, materiales para maquinaria y equipo y pinturas que se venden a las agencias gubernamentales, especialmente a las de tránsito para señalización de calles y carreteras.

Las ventas industriales están constituidas por los recubrimientos que se venden directamente a las empresas dedicadas a la actividad de transformación de materias primas en productos con valor agregado. Entre los productos a los que se les aplica pintura se incluyen artículos duraderos como automóviles, aparatos del hogar y

paneles para construcción, así como artículos de consumo tales como latas para alimentos y bebidas.

Todos los recubrimientos contienen un constituyente resinoso o formador de resinas al que se le llama *aglutinante*. Este puede ser un líquido tal como un agente secante o una resina que pueda transformarse en un gel sólido por medio de una reacción química. En algunos casos, cuando el aglutinante es un sólido o es muy viscoso para aplicarse como película fluida, se añade también un disolvente volátil o *adelgazador*. Este material se evapora después de depositar la película, produciéndose la solidificación de la misma. Al conjunto del aglutinante y el disolvente se le llama *vehículo*. La mayor parte de las pinturas también contienen *pigmentos*.

Además de los pigmentos, aglutinantes y adelgazadores, una pintura puede contener muchos aditivos, tales como antiespumantes, espesantes, agentes de fluidización y secantes, para mejorar ciertas propiedades específicas.

Las pinturas pueden clasificarse de acuerdo al tipo de aglutinante usado en: alquídicas, vinílicas y epóxicas. Las pinturas también se clasifican en base a sus propiedades o uso final. Por ejemplo, los esmaltes alquídicos son pinturas brillantes con buena resistencia a la abrasión y propiedades de limpieza, mientras que las pinturas alquídicas mate se caracterizan por una baja brillantez y buenas propiedades de película.

Las pinturas que se aplican directamente a las superficies reciben el nombre de mano interior o primario. Los primarios se usan para incrementar la adherencia de la capa final a la superficie y para evitar que dicha capa final se absorba en las superficies porosas. También sirven para evitar la corrosión de las superficies metálicas. Los tapaporos son primarios especiales que rellenan las hendiduras y las imperfecciones superficiales para obtener una buena tersura.

Las pinturas que se usan como capa final se conocen también como acabados o pintura externa. Algunas pinturas de acabado son autoimprimadoras.

Aglutinantes

Las propiedades protectoras de un recubrimiento dependen en alto grado del aglutinante usado. En los primeros tiempos de la tecnología de las pinturas, los aglutinantes estaban limitados a materiales de origen natural, tales como aceites secantes, resinas congo y asfaltos. Estos materiales todavía tienen aplicaciones en la industria de los recubrimientos protectores. Sin embargo, durante los últimos años, las industrias químicas y de los polímeros han desarrollado un gran número de aglutinantes sintéticos que permiten preparar pinturas con propiedades protectoras y decorativas muy superiores.

Los recubrimientos en forma líquida pueden dividirse en dos tipos, *soluciones* y *dispersiones*. En los sistemas de soluciones, la resina aglutinante se disuelve en un disolvente. En los sistemas de dispersión, la resina está en forma de esferas minúsculas (generalmente de 10 μ o menos) suspendidas en un medio líquido volátil. Cuando el líquido de un sistema de dispersión es agua, al sistema se llama emulsión; si se trata de un material orgánico recibe el nombre de organosol. Cuando el líquido se evapora, queda una mezcla blanda de resina y pigmento que se fusiona en forma de película continua.

A continuación se describen los tipos de resinas empleadas. Algunas veces se usan mezclas de dos o más para mejorar ciertas propiedades.

Aceites – de fácil aplicación, solubles en disolventes alifáticos.

Alquídicas – de uso general, se combinan con otras resinas, la mayor parte son solubles en disolventes alifáticos.

Celulósicas – (nitrato y acetato), se usan para lacas, son de secado rápido.

Acrílicas – buen color y durabilidad.

Vinílicas – buena durabilidad, resistentes a la abrasión.

Fenólicas – buena resistencia química, resistentes a la abrasión.

Epóxicas – buena resistencia química.

Poliuretánicas – buena flexibilidad, resistentes a la abrasión.

Siliconas – buena resistencia al calor.

Amínicas – se mezclan con las alquídicas para esmaltes de horno, tenaces, buen color.

Estireno-butadieno - bajo costo, resistentes a los álcalis.

Acetatos polivinílicos - bajo costo, buena retención de color.

Acrílicas - buen color y durabilidad.

Disolventes

El tipo de aglutinante determina qué tipo de disolvente o adelgazador debe usarse en la formulación de la pintura. El adelgazador más común es un hidrocarburo alifático inodoro que pueda usarse en cualquier tipo de áreas, incluyendo las casas habitación. Por desgracia, los adelgazadores alifáticos no disuelven a todas las resinas. En tales casos, se hace necesario usar disolventes fuertes como hidrocarburos aromáticos, ésteres y cetonas.

Por lo general, los disolventes se clasifican como de volatilidad baja, intermedia o alta, dependiendo de su velocidad de evaporación. La industria de las pinturas requiere varios intervalos de volatilidad, que dependen de la aplicación específica. Algunos ejemplos de disolventes, clasificados en base a su composición química son como sigue:

Hidrocarburos, alifáticos-nafta y gasolinas y aromáticos: benceno, tolueno y xileno.

Alcoholes: alcohol metílico, alcohol etílico y alcohol butílico.

Eteres- éter dimetílico y éter monoetílico de etilenglicol.

Cetonas- acetona, metil-etil-cetona y metilisobutil-cetona.

Esteres- acetato de etilo, acetato de butilo y lactato de butilo.

Compuestos clorados- tetracloroetano.

Compuestos nitrados- nitrometano, nitroetano, y 1 nitropropano.

Las pinturas de látex o de emulsión usan agua como componente volátil y, por lo tanto, pueden usarse en el hogar.

Propiedades generales de los diversos tipos de pinturas.

Acrílicas. Las resinas acrílicas se usan en lacas protectoras y decorativas para papel, telas, cuero, plásticos, madera y metal. Las resinas acrílicas sirven para preparar esmaltes blancos de horno con excelente resistencia a los productos químicos y vapores corrosivos. Los vehículos acrílicos se usan en pinturas luminiscentes. Los acabados automovilísticos actuales se basan en resinas acrílicas.

Se han desarrollado resinas acrílicas de tipo termofijo que se entrelazan al calentarse para aparatos del hogar tales como lavadoras, hornos y lavaplatos, que resisten las condiciones de servicio.

Alquídicas. Las resinas alquídicas son de tipo ftálico modificado con aceites, que se secan al reaccionar con el oxígeno del aire circundante. Los acabados alquídicos son de tipo de uso general y pueden formularse para acabados transparentes o pigmentados. Existen pinturas alquídicas mate, semimate, o de alto brillo en una gran paleta de colores. Son de fácil aplicación y pueden usarse en la mayoría de las superficies con excepción del concreto fresco, mampostería y yeso, que son materiales alcalinos. Los acabados alquídicos tienen un buen brillo y color, y retienen estas características en interiores y exteriores excepto cuando prevalecen condiciones muy corrosivas. Existen formulaciones inodoras de pinturas alquídicas para usarse en hospitales, cocinas, recámaras, y otras áreas donde el olor de pintura fresca puede ser objetable.

En las ventas al menudeo, las pinturas alquídicas se usan para muros interiores y madera tanto en acabados brillantes como mates y en exteriores como pinturas de guarniciones.

En los acabados industriales, las pinturas alquídicas se combinan con resinas amínicas para producir acabados de horneado duros sobre aparatos del hogar, muebles metálicos, etc.

Celulósicas. Los derivados celulósicos de uso más general son los ésteres especialmente el nitrato y el acetato de celulosa. El nitrato de celulosa se combina con muchos tipos de resinas para formular recubrimientos muy útiles. Las combinaciones más notables son las que se basan en resinas alquídicas y amínicas para obtener lacas duras, tenaces y durables, que son capaces de resistir las condiciones severas de uso en automóviles, aviones y otros acabados industriales.

También se formulan recubrimientos combinando nitrocelulosa con resinas naturales y aceites secantes, breas modificadas, resinas fenólicas, resinas acrílicas, ciertas resinas vinílicas y otros materiales. Entre las aplicaciones se incluyen recubrimientos para metal, madera, papel, telas, cuero y celofán.

Epóxicas. Los aglutinantes epóxicos son de dos tipos: (1) Las composiciones modificadas con aceites, que se secan por oxidación; y (2) los materiales de dos componentes, que contienen epóxicos y endurecedores de aminas o poliamidas y que se mezclan inmediatamente antes de usarse. En el segundo tipo, los dos ingredientes reaccionan al mezclarse para formar el recubrimiento curado. Estas formulaciones tienen una duración limitada una vez mezcladas, que por lo general no pasa de una jornada de trabajo. Los remanentes que sobran se desperdician.

Las pinturas epóxicas pueden usarse sobre cualquier superficie y pueden aplicarse con un alto contenido de sólidos, por lo que permiten engrosar la película con pocas aplicaciones. El acabado curado tiene excelentes propiedades de dureza, adherencia, flexibilidad y resistencia a la abrasión, a los álcalis y a los disolventes y, además, es muy resistente a la corrosión. Sus usos principales son los acabados de tipo de alto brillo para concreto y mampostería y para la protección del acero estructural en los

ambientes corrosivos. Su costo inicial es elevado, pero se compensa por el alto contenido de sólidos y el menor número de aplicaciones requeridas para lograr el espesor de película adecuado. Cuando se usan en superficies exteriores, las pinturas epóxicas tienden a degradarse perdiendo brillo y decolorándose. A excepción de este efecto, su durabilidad es excelente.

Los recubrimientos de epoxi con alquitrán de hulla se preparan añadiendo alquitrán como ingrediente de la pintura, con lo cual se reduce el costo. Tienen una excelente resistencia a la corrosión y se usan para superficies interiores y sumergidas. Este tipo de acabado está limitado al color negro.

Pinturas al aceite. El aceite de linaza es el de mayor uso en las pinturas domésticas. Estas pinturas son los recubrimientos más antiguos que existen. Se usan principalmente en maderas y metales exteriores, pues son de secado demasiado lento para interiores. Son bastante sensibles a la alcalinidad de la mampostería. Las pinturas al aceite son fáciles de usar y producen películas gruesas con pocas aplicaciones. También humectan la superficie muy bien, por lo que la preparación previa es menos crítica que con otros tipos de pintura para metal. Las pinturas de aceite son poco duras y resistentes a la abrasión, a los productos químicos y a los disolventes fuertes, pero si son bastante durables en medios ambientales normales.

Pinturas oleoresinosas. Estos aglutinantes se preparan procesando aceites secantes con resinas duras, tales como breas naturales, ésteres de colofonia y resinas de hidrocarburos. Por lo general se usan como barnices relucientes o como vehículos de mezclado para pinturas de aluminio.

Fenólicas. Los aglutinantes fenólicos se preparan procesando un aceite secante con una resina fenólica, y por consiguiente, corresponden a los de tipo oleoresinoso. Pueden usarse como acabados mate o de alto brillo, que pueden ser transparentes o pigmentados, con una buena variedad de colores. Los acabados transparentes se pueden usar en maderas exteriores y como vehículos de mezclado para pinturas de aluminio. La durabilidad de los acabados transparentes es muy buena para este tipo

de material, esto es, de uno o dos años, la durabilidad de la pintura de aluminio es excelente.

Las pinturas fenólicas se usan como recubrimientos finales para metales en medios ambientales sumamente húmedos y como primarios para inmersión en aguas dulces. Estas pinturas requieren el mismo grado de preparación previa que las alquídicas, pero son de costo ligeramente superior a éstas. Los recubrimientos fenólicos tienen excelente resistencia a la abrasión, al agua y a los productos químicos de acción moderada. No pueden prepararse en colores blanco o pastel debido al tono relativamente oscuro del aglutinante.

Los aglutinantes fenólicos y alquídicos suelen mezclarse entre sí para combinar la dureza y resistencia de los fenólicos con el color y la retención de color de los alquídicos. Esto puede hacerse ya sea mezclando barnices fenólicos con el vehículo alquídico o por medio de la adición de resinas fenólicas durante el procesamiento de la resina alquídica.

Silicones. Las resinas de silicones se usan para acabados resistentes al calor. Tienen buena resistencia al agua y una notable retención del brillo. Cuando se pigmentan con aluminio, los acabados orgánicos con una alta concentración de silicones son muy resistentes al calor, pues pueden llegar a soportar temperaturas hasta de 650°C. Una combinación de resinas de silicón y alquídicas produce cierta resistencia al calor a bajo costo.

Uretanos. Los aglutinantes de uretanos son de tres tipos: (1) modificados con aceites, que se curan con el oxígeno del aire; (2) de curado con humedad, que se curan por la acción de la humedad del aire; (3) sistemas de dos partes que se mezclan inmediatamente antes de usarse.

Los uretanos modificados con aceites son similares a los barnices fenólicos. Aunque son un poco más costosos, tienen un mejor color inicial y una mayor retención del mismo, se secan con más rapidez, son más duros y tienen propiedades superiores de resistencia a la abrasión. Se pueden usar en barnices lustrosos exteriores o como acabados duros para pisos. Los uretanos con modificación de aceites pueden usarse

sobre cualquier tipo de superficie. Al igual que todos los recubrimientos transparentes, tienen una durabilidad limitada cuando se usan en superficies exteriores.

Los uretanos de curado húmedo se usan de manera similar a los recubrimientos de una sola formulación, excepto que los recipientes deben estar siempre llenos para evitar la humedad durante su almacenamiento. Tienen características excelentes de resistencia a la abrasión y a los productos químicos.

Vinílicas. Las lacas basadas en cloruro de polivinilo modificado se usan sobre acero cuando se desea una buena durabilidad en condiciones de uso anormal. Son de costo moderado, pero tiene baja proporción de sólidos y requieren una buena preparación previa de la superficie para lograr la adherencia. Debido a sus bajos sólidos los acabados vinílicos requieren varias aplicaciones para lograr el espesor de película deseado; por consiguiente, el costo total de la operación es mayor que el de casi todas las demás pinturas. Puesto que los recubrimientos vinílicos son lacas, el mejor método de aplicación es con pistola, y su secado es muy rápido incluso a temperaturas bajas. El repintado debe hacerse con cuidado para evitar el desprendimiento de las capas previas causado por los disolventes fuertes que contiene. Además, estos disolventes presentan problemas de olores. Los vinilos pueden usarse sobre metal o mampostería, pero no se recomiendan para madera. Tienen una resistencia excepcional al agua, a los productos químicos y a los medios corrosivos, pero no son resistentes a los disolventes.

Las combinaciones vinílicas-alquídicas ofrecen un buen balance entre la excelente durabilidad y resistencia de las pinturas vinílicas y el bajo costo, alto contenido de sólidos, facilidad de manejo y adherencia de la alquídica. Pueden aplicarse con brocha o pistola y se usan mucho para acero estructural en medios ambientales marinos y de corrosión moderadamente severa.

Pinturas a base de caucho. Los aglutinantes a base de caucho son materiales adelgazados con disolventes y no deben confundirse con los de látex, a los que también se les llama emulsiones de caucho. Existen cuatro tipos: caucho clorado,

estireno-butadieno, vinilo-tolueno-butadieno y estireno-acrílico. Son productos tipo laca que secan rápidamente para formar acabados de alta resistencia al agua y a las sustancias químicas de acción moderada. El repintado debe hacerse con cuidado para evitar que los disolventes fuertes desprendan las capas anteriores. Las pinturas a base de caucho pueden prepararse en una gran diversidad de brillos y colores. Se usan para mampostería exterior y para áreas expuestas a la humedad, tales como piscinas, cuartos de lavandería, baños, cocinas, etc.

Látex. Las pinturas de látex se basan en emulsiones acuosas de tres tipos principales de polímeros: acetato de polivinilo, poliacrílicos y poliestireno-butadieno. Secan por evaporación de agua, tras lo cual la coalescencia de las partículas poliméricas forma la película tenaz e insoluble. Tienen poco olor, se aplican con facilidad y secan con gran rapidez. Las pinturas de látex para interiores se usan generalmente como primarios o capa final sobre muros y techos de yeso o aglomerados. Las pinturas de látex para exteriores se usan directamente sobre mampostería o madera con primarios. No son inflamables, resultan económicas y tienen excelente color y retención de color. Las películas de pinturas de látex son algo porosas, por lo que el ampollamiento debido al vapor de agua es un problema menos crítico que en el caso de los acabados adelgazados con disolventes. No se adhieren bien a superficies sucias o poco consistentes, ni a las superficies muy brillantes. Por lo tanto, su uso requiere una buena preparación previa.

Las pinturas de látex son muy durables en atmósferas normales. La popularidad de las pinturas de aceite se debe principalmente a la facilidad de limpieza de las brochas, y demás materiales que se hace con agua.

Aglutinantes inorgánicos. Los principales aglutinantes inorgánicos son silicatos de sodio, potasio, litio y etilo. Estos materiales se usan en primarios pigmentados con polvo de zinc, que reaccionan con el polvo metálico para formar películas muy duras. Estos recubrimientos son sumamente resistentes a la corrosión en medios ambientales húmedos o marinos. Muchos de estos primarios también contienen concentraciones

sustanciales de óxidos de plomo que reaccionan con los silicatos en combinación con el zinc, para incrementar aún más la resistencia a la corrosión.

Otro tipo de aglutinante inorgánico es el cemento Pórtland. La pintura se suministra en forma de polvo al que se le agrega agua poco antes de usarla. Las pinturas de cemento se usan en superficies ásperas tales como concreto, mampostería y estuco. Al secarse forman películas duras, mates y porosas, que permiten la permeación del vapor de agua. Las pinturas de cemento no deben usarse en regiones áridas. Cuando se curan de manera apropiada, las pinturas de cemento de buena calidad son bastante durables; cuando no están bien aireadas, se degradan fácilmente desprendiéndose capas de polvo y el repintado es bastante problemático.

En la siguiente tabla se muestra una fórmula típica para una pintura de exteriores:

Análisis de una Pintura Blanca para Exteriores de Casas.

	Kilogramos	Litros	% (en peso)
Dióxido de titanio (rutilo)	47.7	11.8	7.4
Plomo blanco - carbonato básico	72.7	7.1	11.3
Oxido de zinc (con 35% de plomo)	168.2	28.6	26.2
Talco	109.1	55.6	16.9
Aceite de linaza - consistencia 3	38.6	39.8	6
Aceite de linaza refinado con álcali	159.1	171.8	24.8
Secante - naftenato de manganeso al 6%	0.9	1.0	
Secante - naftenato de plomo al 24%	3.5	2.7	
Gasolina blanca	47.7	60.1	7.4
Total	647.5	378.5 (100 gal)	100.0

Constantes:

Viscosidad	90 UK (unidades krebs)
PVC	30%
Sólidos del vehículo	80%
Sólidos totales	92.5%
Kg/L (lb/gal)	1.57 (13.1)

Fabricación de Pinturas.

La fabricación de una pintura se basa en las siguientes operaciones: mezclado, molienda, adelgazamiento, ajuste y envasado.

Uno de los métodos antiguos consistía en mezclar todo el pigmento y parte del vehículo para formar una pasta de consistencia adecuada, que se alimentaba en forma de corriente continua a un tanque de adelgazamiento con agitador de aspas rotatorias. Aquí se agregaba el resto del líquido y se procedía a controlar la viscosidad, el color y otras características del producto, pertinentes a la formulación producida. Después de ser aprobado, el lote se tamizaba y se envasaba en los recipientes del tamaño adecuado.

El término “molienda” es impreciso, pues las partículas de pigmento no se rompen durante el proceso, pero sigue siendo muy usado en esta industria. La palabra dispersión sería más descriptiva.

La dispersión en los molinos antiguos de piedras es muy lenta y costosa y casi está obsoleta. En la actualidad se usan diversos tipos de equipos más eficientes. No obstante, el principio general es el mismo, esto es, humectar todas las partículas individuales con el vehículo y dispersar los agregados floculados. Los molinos que se usan hoy en día son los de rodillos de acero, de bolas, de guijarros naturales, de arena, impulsores de alta velocidad, el molino Morehouse (de tipo piedra pero de alta velocidad), y el dispersor Cowles.

Aplicación de la Pintura.

Las pinturas pueden aplicarse de muchas maneras diferentes. Aunque la mayor parte de las pinturas arquitectónicas se aplican con brocha o rodillo, los pintores profesionales hacen un gran uso de equipo de aspersión con o sin aire. Con las unidades de aspersión sin aire, la pintura se atomiza forzándola a través de un orificio muy pequeño con presiones muy altas. Entre los demás tipos de aplicación por atomización se pueden citar la aspersión electrostática, la aspersión en caliente, la aspersión con vapor, la aspersión de dos componentes y la aspersión con aerosoles.

En la aspersión electrostática, la pintura atomizada es atraída por el substrato conductor que se va a pintar al aplicar un potencial electrostático entre éste y la pintura. Las ventajas de este proceso son el uso eficiente del recubrimiento, la rapidez de la aplicación y la facilidad de recubrir uniformemente formas irregulares. El equipo de aspersión de dos componentes consiste en dos líneas que conducen a la pistola de aplicación, de tal manera que se puedan mezclar en ella dos materiales, por ejemplo, un epoxi y su catalizador.

Existen otros métodos para la aplicación industrial de pinturas. La aplicación por inmersión es un método simple que consiste en sumergir los objetos por pintar en un tanque de pintura. Este método es muy común para recubrimientos base en los que la uniformidad y la apariencia no son factores importantes. La electrodeposición consiste en depositar pintura sobre una superficie conductora por medio de un baño que contiene la pintura. Las partículas, cargadas negativamente, son atraídas hacia el objeto, que se convierte en el ánodo cuando se aplica el potencial eléctrico. De esta manera, es posible aplicar pintura sobre superficies muy irregulares con un espesor uniforme y muy pocas pérdidas. El sistema está limitado a una capa de bajo espesor y el costo del equipo es elevado.

III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACION DE SOLVENTES.

La fábrica de pinturas de la Corporación Peruana de Productos Químicos (CPPQ), utiliza solventes orgánicos tanto en la elaboración de la pintura como en la limpieza de los recipientes en los que se realiza dicha fabricación. A estos recipientes se les denomina “pailas”. Los principales solventes orgánicos que se utilizan son: acetona, toluol y xilol.

Los consumos mensuales de estos solventes son:

Acetona	:	1600 Kg/mes
Toluol	:	5000 Kg/mes
Xilol	:	1700 Kg/mes

Los costos de estos solventes son:

Acetona	:	0,685 US\$/Kg + IGV
Toluol	:	0,548 US\$/Kg + IGV
Xilol	:	0,560 US\$/Kg + IGV

Dependiendo de las características de la pintura a fabricar es que se utilizan algunos de estos solventes o a veces una mezcla de éstos.

La Figura 1, muestra un esquema en el que se puede apreciar que los solventes orgánicos forman parte de la pintura y la Figura 2, muestra una diagrama en el que se observa que otro uso de los solventes orgánicos es para limpiar las pailas de fabricación.

Cuando se fabrica un tipo de pintura en una paila, una vez que se envasa el producto final, la paila queda impregnada interiormente de la pintura. Dado que no se limpia inmediatamente, esta pintura se seca. Cuando se va a utilizar la paila para fabricar pintura de un color diferente al anterior, la paila se tiene que limpiar.

Hay que disolver la pintura anterior que ha quedado impregnada y esto se hace mediante el uso de solventes orgánicos.

Dado que resulta caro emplear solvente puro o limpio para limpiar la paila, lo que se hace es limpiar inicialmente con solvente puro. Este solvente que ha servido para limpiar las pailas y que ha quedado contaminado lo llamaremos solvente sucio. Este se recolecta en una poza, a esta poza llegan los solventes sucios de todo tipo de color, al mezclarse forman un líquido casi negro que va a ser el líquido de donde se va a recuperar el solvente o mejor dicho, la mezcla de solventes empleados mediante una operación de destilación. El solvente recuperado se guarda en cilindros y se utiliza nuevamente pero esta vez solo para lavar las pailas, ya no se utiliza como insumo para la fabricación de las pinturas, para esto se utiliza siempre solvente fresco o puro. A esta unidad, en la que se recupera el solvente, la vamos a denominar unidad de recuperación y es aquí donde se ha realizado el presente informe.

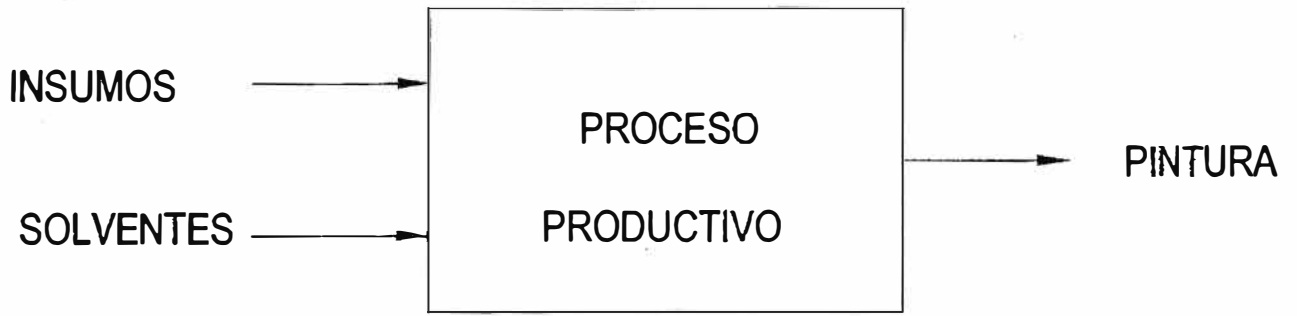


Figura 1 . ESQUEMA GENERAL DE PRODUCCION

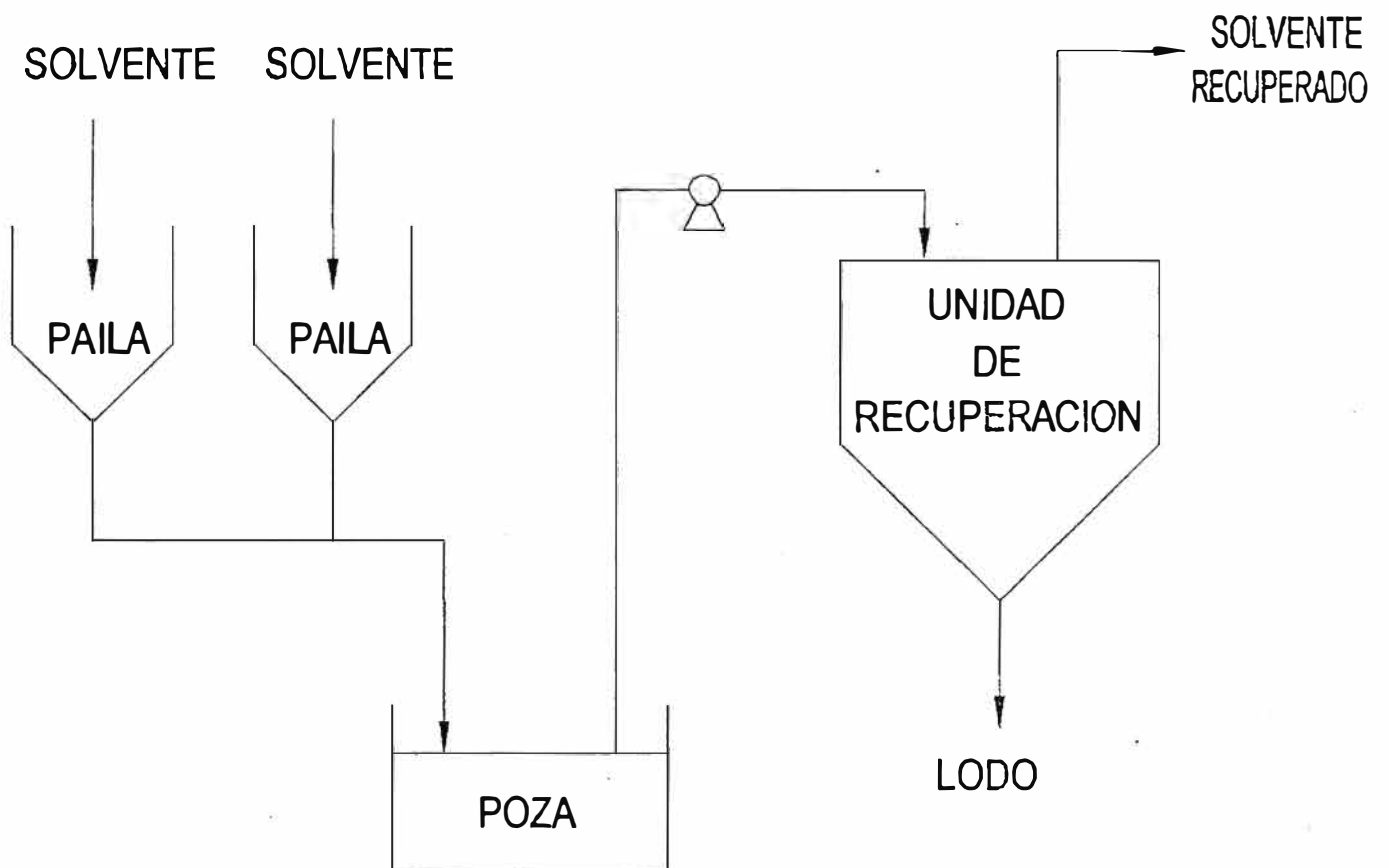


Figura 2 . UBICACION DE LA UNIDAD EN ESTUDIO

IV. CARACTERIZACION DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO

La unidad de tratamiento es un destilador que trabaja en forma continua en dos turnos: de 7:00 a 15:00 y de 15:00 a 23:00 horas. Dependiendo de la cantidad de solvente a recuperar a veces se utilizan hasta tres turnos. Una bomba alimenta solvente sucio de la poza al destilador. Debido a que no está funcionando el indicador de nivel del destilador, la bomba de alimentación se activa manualmente hasta que por la mirilla del destilador, se observa que se alcanza un determinado nivel de líquido.

El equipo es básicamente un tanque enchaquetado. El fluido que calienta al solvente sucio bombeado desde la poza, es aceite. Este aceite a su vez, es calentado por resistencias eléctricas y trabaja en recirculación, es decir, cuando las resistencias calientan el aceite, este sube a la chaqueta, calienta al solvente sucio, la mezcla alcanza el punto de ebullición y forma la fase vapor que posteriormente se condensa (este condensado es el solvente recuperado). Una vez que el aceite ha cedido calor baja hasta la resistencia eléctrica donde se vuelve a calentar, sube a la chaqueta, cede calor, y así sucesivamente.

Salvo la alimentación del solvente sucio, que es manual, todo el equipo trabaja de manera automática. Tiene un panel de control en el que se puede apreciar al PLC que se encarga de controlar su funcionamiento. El solvente recuperado se deposita en cilindros que posteriormente son pesados para así obtener la cantidad de solvente recuperado en los dos turnos de trabajo en cada día. La Figura 3 muestra un esquema del equipo de trabajo.

Al inicio del primer turno el equipo se carga mediante el bombeo manual, hasta cierto nivel. Luego se enciende el equipo, éste equipo verifica que todo esté en orden, por ejemplo: no empieza a calentar el aceite si no está disponible el agua para condensar los vapores de solvente recuperado.

En el panel de control figuran los set-point para la temperatura del aceite de calentamiento, para los lodos que se forman en el fondo del destilador y para el vapor formado. Estos set point son:

Para la temperatura del aceite:	480°F
Para la temperatura de lodos :	430°F y
Para la temperatura del vapor:	400°F

Aquí es bueno hacer notar que si bien es cierto los set-point están fijados por ingenieros, el hecho de que la alimentación al destilador se haga manualmente por los obreros provoca que en distintos turnos se tengan distintas eficiencias pues el criterio para activar la bomba de alimentación influye en la obtención de mas o menos masa de destilado. Este es el principal defecto que se nota al actual funcionamiento pues, un sistema de control debe eliminar realmente esta perturbación.

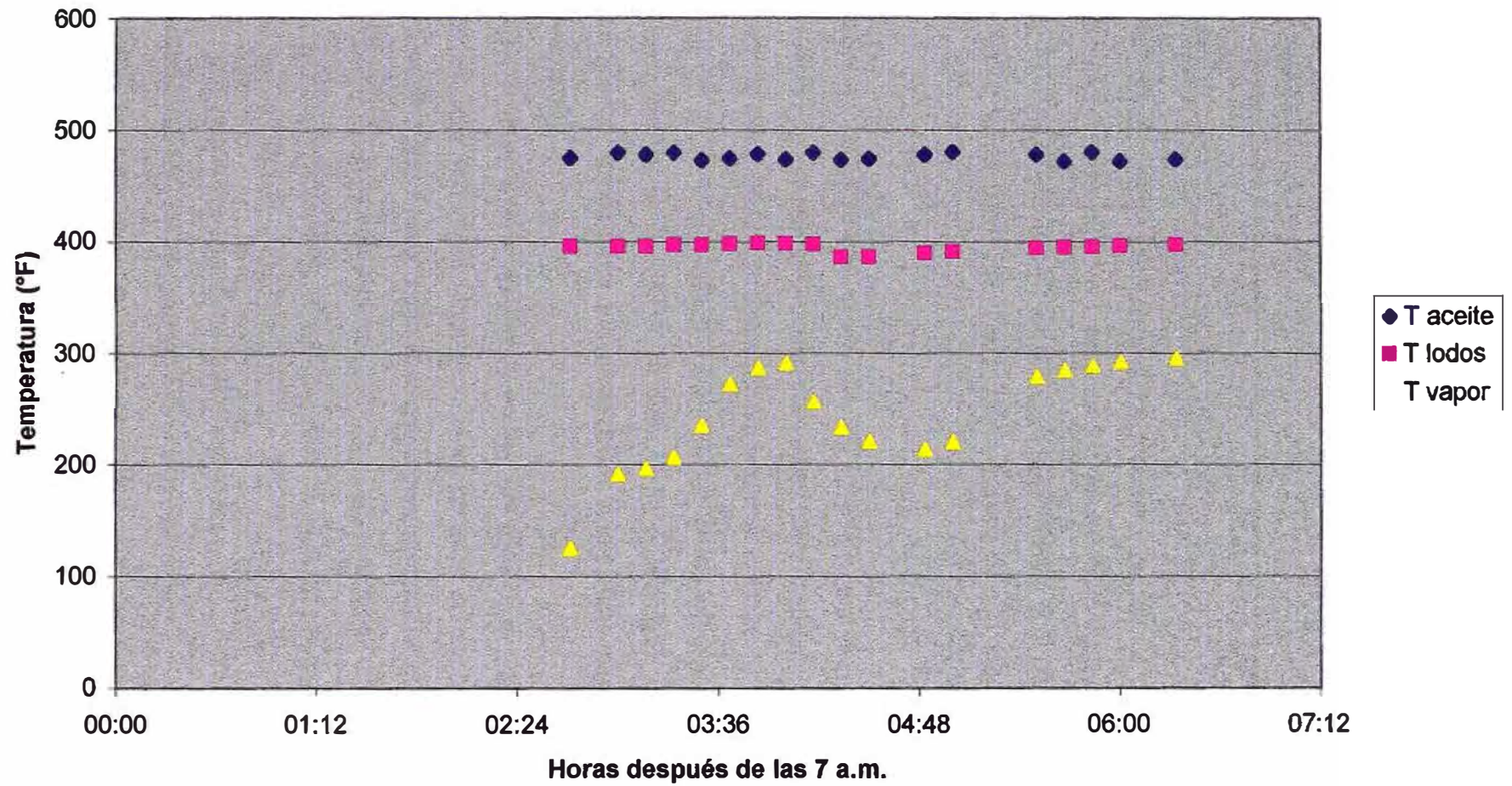
El equipo inicia su funcionamiento a las 07:00 horas, pero recién después de las 09:40 se puede decir que empieza a trabajar con relativa estabilidad. La siguiente tabla muestra la variación de las temperaturas (observadas en el tablero de control) en el tiempo y en grados Fahrenheit:

Hora	T aceite	T lodos	T vapor
09:43	475.10	395.90	125.40
10:00	480.00	396.30	191.40
10:10	478.00	396.10	196.60
10:20	480.00	397.30	206.50
10:30	473.00	397.20	235.00
10:40	474.90	398.40	272.10
10:50	478.50	399.00	286.80
11:00	473.70	398.80	291.00
11:10	480.00	398.00	256.00
11:20	473.30	386.40	233.40
11:30	474.50	386.50	220.90
11:50	478.30	390.00	214.00
12:00	480.30	391.40	220.40
12:30	478.30	394.60	278.50
12:40	472.00	395.40	284.80
12:50	480.30	395.70	288.70
13:00	472.00	396.40	292.00
13:20	474.00	397.50	295.60

La Figura 4 muestra la variación de estas temperaturas gráficamente. De esta gráfica se puede apreciar que la temperatura del aceite prácticamente permanece constante y en el valor deseado. La temperatura de los lodos también se mantiene constante pero ligeramente alejada del valor deseado. Donde se aprecia que no existe un comportamiento que siquiera se aproxime al valor deseado es en la temperatura del vapor. La temperatura del vapor presenta un pico a las 11:10 horas y luego cae. Esto se debe a que en ese instante, el operario activó manualmente la bomba de alimentación de solvente sucio. Como este solvente ingresa frío se puede apreciar que la fase que inmediatamente siente la disminución de temperatura es la fase vapor. Esto origina también que el flujo de la cantidad de destilado que se viene recolectando disminuya. De este gráfico también se puede apreciar que la temperatura del vapor tarda aproximadamente dos horas en volver a subir al nivel máximo en donde estaba. Esto lleva a pensar en que la mejora al funcionamiento de esta unidad de recuperación, debe tener en cuenta a esta perturbación: ingreso de alimentación de solvente sucio.

Actualmente, el bombeo de solvente sucio desde la poza, trabaja prácticamente de manera independiente del sistema de control de la unidad de recuperación. La activación de la alimentación del solvente sucio para ser destilado, depende de la habilidad del operario. Se han recolectado datos en los dos turnos y por mes y medio (del 14 de noviembre al 22 de diciembre del 2001), de lunes a sábado y no se ha podido encontrar un patrón de funcionamiento.

Figura 4. Variación de las variables de proceso



V. DIAGNOSTICO ACTUAL

Algo de este tema se ha mencionado en la parte anterior. Al iniciar el trabajo se observó que no había un medidor que proporcione el consumo de energía de la unidad. Se hizo la observación al jefe de turno correspondiente y él ordenó que se colocara el medidor. En los casi dos meses que se trabajó en esta unidad se pudo notar que:

- El bombeo de solvente sucio no se hace de manera automática, sincronizado con todo el sistema de control de la unidad, sino que el operario activa la bomba de alimentación según su criterio.
- No hay un medidor de flujo que permita medir la cantidad de solvente sucio que ingresa al destilador en cada turno de trabajo. Esto impide realizar un balance de masa que pueda medir la eficiencia de la operación en cada turno.
- Aunque no se conoce la presión de trabajo del equipo, se puede apreciar que el set-point que se ha fijado para la temperatura del vapor es alto ya que, los 400°F que se han fijado hace que la temperatura del vapor alcance casi los 300°F (aproximadamente 150°C). Debemos tener en cuenta que el punto de ebullición de la acetona, que es uno de los solventes que participan es 135,04°F (56,5°C).
- No se tiene un control de calidad del solvente recuperado.
- No se tiene un medidor de flujo del solvente recuperado.
- El solvente recuperado no se obtiene como líquido, sino como una mezcla líquido-vapor.

Con base en el consumo de energía por día de trabajo obtenido de la lectura del medidor y con el costo de esta energía (proporcionada por el departamento de contabilidad) se ha realizado un balance económico de la operación, y resulta que el costo por obtener un kilogramo de solvente recuperado es de 0,04 US\$, valor menor que cualquiera de los solventes puros.

Esto indica que económicamente la operación no origina pérdidas respecto a utilizar solvente puro. Es decir, actualmente es más barato recuperar solvente que comprar solvente fresco. No obstante, se piensa que un sistema de control que optimice el funcionamiento de la unidad hará que de todas maneras los costos ocasionados por consumo de energía disminuyan y que los volúmenes de solvente recuperado serán mayores.

VI. ESTRATEGIA DE CONTROL SUGERIDA

La inestabilidad de la temperatura del vapor debida a la falta de control en el sistema de alimentación hace pensar que posiblemente se esté invirtiendo energía en obtener además del solvente o la mezcla de solvente deseada, otras sustancias no deseadas cuyos puntos de ebullición sean inferiores al del set-point fijado para la temperatura del vapor. La estrategia de control planteada como mejora se basa en un sistema de control por retroalimentación controlando la temperatura del vapor, teniendo como variable manipulada la temperatura del aceite de calentamiento que ingresa a la chaqueta del destilador. La temperatura del vapor irá a un controlador de temperatura que será el control maestro TRC1 que a su vez actuará en cascada con en TRC2 que controlará la temperatura del aceite, y tendrá como elemento final el control a un interruptor On – Off que activará y desactivará a la fuente de energía eléctrica que proporciona energía a la resistencia que calienta al aceite. El flujo de alimentación del solvente sucio proveniente de la poza se controlará mediante un sistema Feed Back teniendo como sensor a un medidor de flujo y como elemento de control final a una válvula de control. Aquí el controlador será el FRC1.

Para asegurarnos de que el solvente recuperado se obtenga en estado líquido, se hará un sistema de control también de retroalimentación teniendo como sensor a un registrador transmisor de temperatura colocado a la salida del solvente del condensador, conectada a un TRC3 y teniendo como elemento de control final a una válvula colocada en la línea de ingreso de agua al condensador.

Lo ideal sería hacer una destilación por componentes para así poder utilizar cada tipo de solvente recuperado en tareas específicas. Se percibe que a la gerencia de producción de CPPQ lo que le interesa es un mayor volumen de solvente recuperado, mas que obtener cada componente por separado. Esto debido a que los solventes recuperados se mezclan y se vuelven a utilizar con la finalidad de limpiar las pailas solamente. A continuación se detalla el sistema de control que planteo:

Características de los sensores a utilizar:

*Para sensar el flujo de entrada de solvente sucio a la unidad de recuperación hay que tener en cuenta que, por tratarse de un líquido sucio no es apropiado utilizar placa de orificio, tobera, tubo Venturi, tubo Pitot, tubo Annubar, ni rotámetro. Tratándose de que es un líquido viscoso y su costo relativo es medio se recomienda que sea un *pistón oscilante*.*

*Para sensar la temperatura del aceite de calentamiento, dado que este aceite trabaja en promedio a 500 °F (260°C) se recomienda un *termopar Cobre- Constantan**

*Para sensar la temperatura del vapor en la unidad de recuperación, como este vapor está entre 200 y 300 °F (93 y 149 °C) también se recomienda el par *Cobre-Constantan*, mas aún teniendo en cuenta que por tratarse de vapores de sustancias orgánicas, éstas tienen poca actividad oxidante-reductor.*

*Para sensar la temperatura del solvente recuperado (a la salida del condensador) el par debe ser también de *Cobre-Constantán* dado que el rango de temperatura de trabajo es prácticamente igual o menor que la del vapor que ingresa al condensador. En el condensador sólo se realizó un cambio de estado de una mezcla y esto hace que la temperatura que ahora estamos tratando sea inclusive menor que la del vapor de ingreso al condensador. Lo ideal es que este sensor se comporte además como un registrador y transmisor de temperatura.*

Características de los Controladores a utilizar:

Bajando el set point de la temperatura de vapor en el recuperador (ya que se trata de vapores de solventes orgánicos de bajos puntos de ebullición) y dado que el objetivo es el menor consumo de electricidad por parte del equipo, es recomendable que los controladores sean del tipo PID ya que la acción derivativa responde a la velocidad de variación de cualquiera de las perturbaciones que se presenten en el sistema.

Se ha podido apreciar que la temperatura del vapor disminuye considerablemente con el ingreso del solvente impuro cuando este ingreso se hace manualmente y en forma brusca. Esto se puede apreciar en la figura 4 aproximadamente a la 11.00 a.m. (4 horas después de las 7:00 a.m.).

El sistema de control planteado elimina este tipo de perturbación ya que lo que mas nos interesa es mantener la temperatura del vapor de la unidad de recuperación. Es por esto que necesitamos respuestas rápidas, este es otro de los motivos por los cuales los controladores deben ser PID.