



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL OPERACIONAL DE  
EQUIPOS DE BAJA ROTACIÓN DEL LABORATORIO DE  
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN LA EMPRESA PPG  
INDUSTRIES COLOMBIA LTDA**

Autor

Ramón Andrés Velásquez Arrieta

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Medellín, Colombia

2019



Determinación del potencial operacional de equipos de baja rotación del laboratorio de investigación y desarrollo en la empresa PPG Industries Colombia Ltda.

Ramón Andrés Velásquez Arrieta

Informe de práctica como requisito para optar al título de Ingeniero Químico

Asesores

Diego Pérez Mesa, Ingeniero Químico

Lina María González Rodríguez, Ingeniera Química

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

Medellín, Colombia

2019

## **Determinación del potencial operacional de equipos de baja rotación del laboratorio de investigación y desarrollo en la empresa PPG Industries Colombia Ltda.**

---

### **Resumen**

El área de Investigación y Desarrollo es una parte fundamental en cualquier planta de producción, ya que ésta es importante en el desarrollo de nuevos productos y servicios o en la mejora de los actuales. Este hecho implica que en muchos de los casos el desarrollo de proyectos involucre la adquisición de equipos para pruebas o análisis y/o el desarrollo de procedimientos para una aplicación específica. No obstante, el uso de estos equipos se convierte en algo muy esporádico, lo que puede causar pérdidas económicas a la empresa, ya sea por el deterioro físico de estos equipos o por el no aprovechamiento de ellos en otros procesos. Es así que este proyecto se enmarcó en la evaluación, determinación, estandarización y documentación del uso de aquellos equipos de la empresa PPG usados en pruebas no lote a lote en el laboratorio de investigación y desarrollo. Los resultados permitieron generar guías e instructivos, así como proponer mecanismos de difusión para determinar el uso potencial y operacional de estos equipos. Además, una evaluación económica permitió a la compañía tener ahorros de aproximadamente 12 millones de pesos anuales por la realización de pruebas internamente que se contratan con un laboratorio externo.

### **Palabras clave**

Equipos de baja rotación, pruebas de laboratorio, análisis económico, estandarización, documentación

## **1. Introducción**

La documentación de procesos se establece como una guía para completar una tarea de manera sistemática. Las empresas poseen procesos continuos, repetibles y de gran impacto que son un pilar clave para que sus operaciones sean exitosas, por lo tanto, la documentación de procesos sirve como guía fundamental para empleados y directores. De esta manera, cualquier tarea que se lleve a cabo más de una vez o que sea realizada por varias personas, debe ser documentada; ya que esto brinda uniformidad en la organización y permite monitorear y supervisar los procesos que están en marcha. Para aquellos procesos que son basados en información intuitiva, en experiencias descriptivas o en datos cualitativos, la documentación y la estandarización, así mismo como la cuantificación, se vuelven claves. En este sentido en este trabajo se realizó la documentación y estandarización de 10 pruebas de laboratorio y a equipos utilizados en el proceso (Pruebas: Lijabilidad, Adherencia por Tracción, Masa molar epóxica con potenciómetro y coloriméto, Medición de pH con potenciómetro, Sólidos por volumen, Lecturas en microscopio, Flexibilidad y Secatividad; Equipos: Impactometro y Airless). Adicionalmente en este trabajo, se realizó una evaluación económica basada en el beneficio directo que la compañía tendría al realizar algunas pruebas internamente, sin tener que contratar un laboratorio externo. Los resultados mostraron un ahorro aproximado de 12 millones de pesos por año. En este análisis económico se tuvo en cuenta que estos equipos son activos fijos de la empresa en donde por depreciación el costo actual de los equipos analizados es el 29 % del valor de compra. Finalmente gracias al proceso realizado, se logró dar a conocer por medio de guías e instructivos el uso potencial y operacional de dichos equipos.

## **2. Objetivos**

### **2.1. General**

Determinar el uso potencial de equipos de chequeo con baja rotación o de uso no rutinario en el laboratorio de investigación y desarrollo en la empresa PPG Industries Colombia Ltda.

### **2.2. Específicos**

- Establecer de acuerdo a los procesos estandarizados el uso y estado de los equipos de alta y baja rotación.
- Documentar el uso de equipos de laboratorio que no presenten instructivos de operación de acuerdo a los patrones establecidos en la empresa para este tipo de uso.
- Identificar el impacto económico por equipos de baja rotación que no sean utilizados como apoyo a desarrollo de nuevos productos y de análisis de reclamos de clientes.

### 3. Marco Teórico

El área de Investigación, Desarrollo e Innovación (I +D+i) en una empresa es fundamental para el mejoramiento de sus procesos. El trabajo realizado en esta área se basa en el desarrollo de procesos de investigación que permiten, por un lado, conseguir innovaciones a aplicar en los productos existentes, y por otro desarrollar prototipos de otros nuevos. Además, con una adecuada inversión se podrá conseguir que la concepción técnica y el diseño de los productos sean superiores a los de la competencia, lo cual repercutirá muy positivamente en la imagen de marca de la empresa [1].

Debido a la mejora continua de las compañías, con respecto a exigencias de los consumidores a recibir productos de mayor calidad, así como el avance tecnológico que se desarrolla a gran velocidad, es necesario la estandarización de los procesos como un órgano vital de desarrollo sistemático y como método para aplicar y actualizar patrones; todo esto permite que aquello que se desarrolla dentro de la empresa este documentado [2].

Un proceso que mantiene las mismas condiciones produce los mismos resultados. Por tanto, si se desea obtener resultados consistentes es necesario estandarizar las condiciones de trabajo incluyendo materiales, maquinaria, equipos, así como métodos y procedimientos de trabajo [3].

La adquisición de equipos para el desarrollo de pruebas en el laboratorio de Investigación y Desarrollo en la empresa PPG es un hecho importante que le ha permitido a la empresa el mejoramiento de sus procesos, así como la incorporación de nuevos productos al mercado. No obstante, la adquisición de estos equipos acarrea el tener un stock de ellos con baja rotación o de uso no rutinario.

Estos equipos tienen un potencial de uso grande por lo que es necesario evaluarlo, así como la estandarización de su uso. Es importante al momento de evaluar estos equipos, tener en cuenta que desde el momento inicial que se adquiere se convierte inmediatamente en un activo el cual presenta desgaste o una pérdida de valor debido al uso que se haga de él con el paso del tiempo. Debido a esto, cuando el activo se utiliza para generar ingresos, sufre un desgaste normal durante su vida útil que al final de este periodo lo lleva a ser inutilizables. De esa manera para poder reconocer este desgaste es necesario la utilización del mecanismo de la depreciación que permita reconocer el desgaste del activo. Este reconocimiento es proporcional al tiempo en que el activo puede generar ingresos. A esto se le llama vida útil de un bien, en el cual el activo se mantiene en condiciones de ser utilizado y de generar ingresos. Así, para equipos de laboratorio se ha determinado una vida útil de 10 años [4].

Para el cálculo de la depreciación se pueden utilizar diferentes métodos. El más utilizado en el campo empresarial es el método de línea recta que consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo, así se puede conocer la depreciación anual de cada bien y poder cuantificar el impacto económico que deja la subutilización o el no aprovechamiento de este activo fijo dentro de la compañía [4].

Toda aquella tarea que se haga más de una vez y por personas diferentes, tiene que ser documentada, debido a que esto ofrece la oportunidad de uniformidad y facilita el control y la supervisión de los procesos en marcha, de igual manera, permite identificar el estado actual del proceso con el fin de saber cómo mejorarlo. Al no documentar procesos se corre el riesgo de que importante información sin registrar, pierda su valor, y además, si se tienen diferentes personas realizando el mismo proceso, se verá en la libertad de rediseñarlo cada vez que se repita. Un proceso documentado ayuda a que si se incorpora una persona nueva al proceso, sea de mayor facilidad la capacitación formal del mismo y cuando aquella tarea es de información intuitiva o está basada en ensayos no formales, la documentación se convierte en algo fundamental [5].

#### **4. Metodología**

Con el fin de lograr los objetivos planeados en este proyecto se siguió la siguiente metodología de trabajo:

- Identificación de los equipos del laboratorio para pruebas no estandarizadas y su documentación y/o uso.
- Reconocimiento de los equipos sin procedimiento de operación y además si tienen documentación y/o uso.
- Reconocimiento del estado de dichos equipos, condiciones de operación de los equipos, calibración y mantenimiento correctivo y preventivo.
- Ingreso a metrología de los equipos que están sin codificación.
- Generación de instructivos de operación para los equipos que no lo tienen.
- Identificación de las pruebas a desarrollar para poner en práctica los instructivos generados.
- Difusión de los instructivos generados a las áreas de control de calidad, Factory Service, metrología y división técnica.



## 5. Resultados y análisis

### 5.1. Instructivos actualizados

#### 5.1.1. Resistencia al impacto

Para la industria de pinturas y recubrimientos algunas propiedades físicas son exigidas actualmente para cumplir con estándares de calidad. En este caso la elasticidad y la resistencia a la deformación forman parte de las principales propiedades a evaluar, de tal manera que al someter a ciertos ensayos deben soportar un nivel aceptable de impacto. La flexibilidad en revestimientos y pinturas es la aptitud de una película seca para adaptarse a las deformaciones del sustrato, sin sufrir fisuras, cuarteamiento o desprendimientos [6].

Debido a esto se establece un método general para determinar variaciones de apariencia y en las propiedades físicas mencionadas anteriormente donde el sistema experimenta la acción de un impacto de una masa desde una altura determinada, Figura 1.



*Figura 1. Impactometro*

Como actualización de un método cualitativo, se determinó la prueba de impacto de acuerdo a la norma **ASTM D2794-93** que nos permite cuantificar el efecto que tiene el impacto de la masa sobre un material de prueba. Gracias a la normatividad implementada se determina una nueva forma de interpretación de resultados, en el cual se estandariza el número de láminas de pintura a preparar para garantizar la reproducibilidad de la prueba (Figura 2), además de una plantilla de reportes donde se tenga el siguiente modelo, Tabla 1:

Tabla 1. Reporte de resultados prueba de impacto

Altura de Fallo	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5
80 Lbf-in	Fallo	Fallo	Fallo	Fallo	Paso
60 Lbf-in	Fallo	Fallo	Paso	Fallo	Paso
40 Lbf-in	Paso	Paso	Paso	Paso	Paso



Figura 2. Pruebas de resistencia al Impacto.

Al tabular el número de veces o la descripción del resultado, se puede conocer fácilmente el valor de altura en el cual es el punto final de fallo. En la tabla 1 se muestra que el punto final de fallo es en 60 Lbf-in, donde se dio un cambio de descripción y a la vez se mantuvo dicha descripción un mayor número de veces. Así al tener en cuenta la norma y el desarrollo experimental, esto se puede cuantificar en unidades de energía así:

$$E = H * 0.113$$

Donde:

$E$  = Energía del impacto (Joules)

$H$  = altura de impacto donde falló el recubrimiento (Fuerza de impacto) (LbF-in)

Así, es posible documentar el ensayo con datos cualitativos y reales, donde no se llegue a ambigüedades o simples datos descriptivos [7].

### 5.1.2. Flexibilidad

Los recubrimientos y pinturas adheridos a ciertos sustratos se alargan cuándo estos sustratos son dimensionalmente inestables o se doblan durante la fabricación de artículos o cuando estos artículos son usados en algún tipo de trabajo o como herramienta de servicio.

Estos métodos de prueba de flexibilidad han sido útiles para calificar los recubrimientos adheridos por su capacidad para resistir el agrietamiento cuando son alargados. En esta prueba el ensayo consiste en doblar una probeta metálica o plástica recubierta con el sistema a evaluar, sobre un mandril cilíndrico o cónico con un diámetro específico y observar si se forma fisuras y/o desprendimiento, Figura 3.



Figura 3. Mandril cilíndrico

En este caso, siguiendo la norma **ASTM D522/D522M-17**, se estableció el reporte cualitativo para el mandril cilíndrico donde se determina el rango de alargamiento mediante la siguiente ecuación:

$$E = e_1 + tc_1$$

Donde:

$E$  = Elongación total (%)

$e_1$  = Elongación donde falla recubrimiento (%), tomada de Tabla 1 de Norma ASTM D522/D522M-17 [8].

$t$  = Espesor (mm)

$c_1$  = Factor de corrección Tabla 2 de Norma ASTM D522/D522M-17 [8].

Por otro lado, se desarrolló todo el procedimiento para la determinación de la flexibilidad con el mandril cónico documentando y estandarizando la forma adecuada de realizar y cuantificar el proceso, Figura 4.

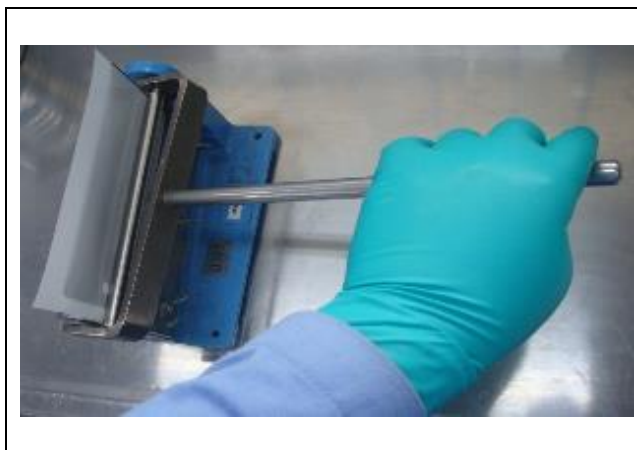


Figura 4. Mandril cónico.

Así para poder conocer la elongación total del recubrimiento se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = e_1 + tc_1$$

Donde

$E$  = Elongación total (%)

$e_1$  = Elongación (%) tomada de la figura 2 de norma ASTM D522/D522M-17

$t$  = Espesor en seco (mils)

$c_1$  = Factor de corrección tomada de la figura 3 de la norma ASTM D522/D522M-17 [8].

### 5.1.3. Medición de pH

En este documento se añadió la lectura del valor de pH, mediante el potenciómetro el cual es uno de los equipos con baja rotación, brindándole una alternativa de uso potencial (Figura 5). En este caso con la ayuda del software ya adquirido e instalado, mediante algoritmos de programación, se desarrolla toda la medición para determinar el potencial de hidrogeno de una solución acuosa. Esta información es útil para pigmentos susceptibles de ser dispersados en medio acuoso, pinturas base agua y productos de pretratamiento (desengrasantes). Cabe resaltar que en este instructivo se dejó documentado el almacenamiento adecuado y uso del electrodo de prueba.



Figura 5. Potenciómetro.

Adicionalmente, se hizo énfasis en el funcionamiento del software y se resaltó en el reporte que arroja el equipo para poder determinar el valor de pH (Figura 6).

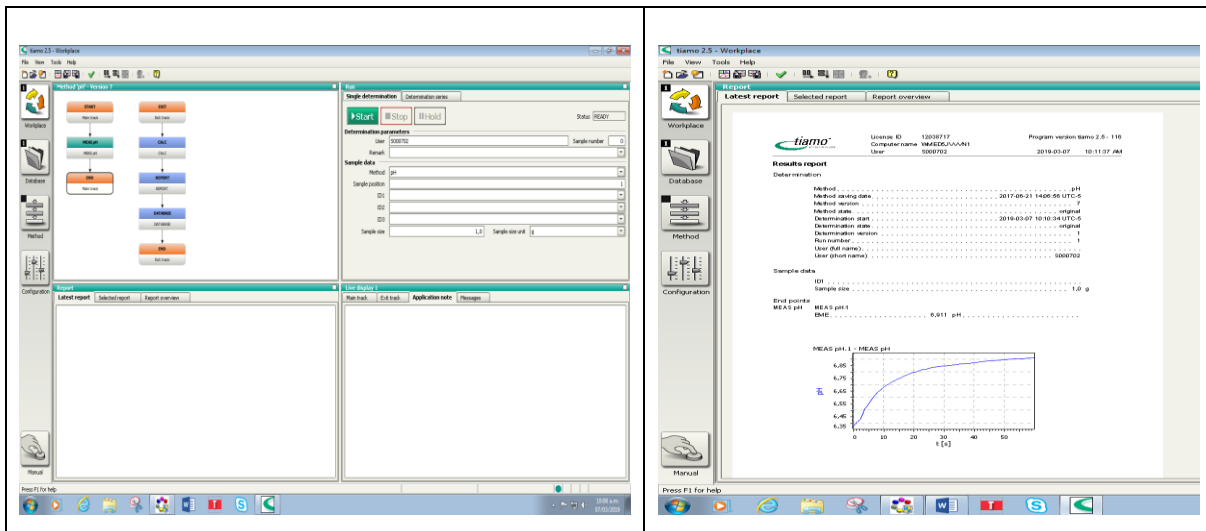


Figura 6. Software análisis potenciométrico – Tiamo 2.5

### 5.1.4. Secatividad

Este método permite determinar el tiempo de secado para que la pintura o el recubrimiento pasen de un estado líquido a un estado sólido. El tiempo de secado corresponde al proceso de evaporación de todos los solventes y diluyentes añadidos, de igual forma al endurecimiento de la resina principal a la vez de pigmentos y aditivos creando al final un recubrimiento sólido y adherente [9].

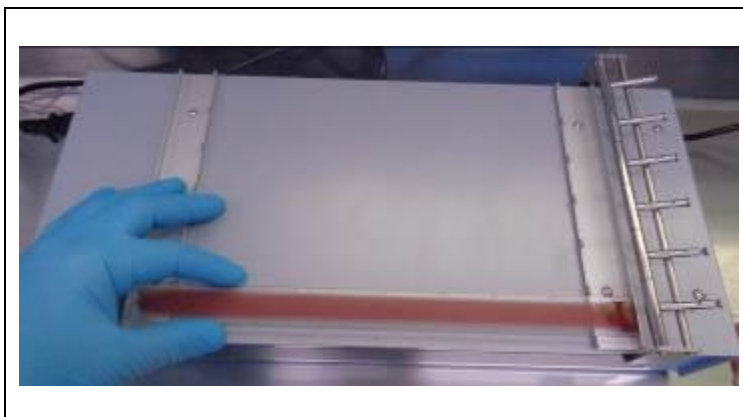


Figura 7. Prueba de secado BK DRYING TIME RECORDER.

El ensayo de secatividad hace parte también de control calidad, donde una vez terminada la pintura se hace la aplicación (con pistola, corrido en vidrio o brocha) y se establece el tiempo en que demora en secarse parcial o totalmente para lograr un mejor acabado, evitando defectos como piel de naranja, fogueo y/o pérdida de brillo, entre otros.

El principal desarrollo en este instructivo se realizó con productos donde los tiempos de secado son prolongados y en el cual es necesario cuantificar condiciones controladas de tiempos y espesor con ayuda del equipo BK DRYING TIME RECORDER, Figura 7. En este equipo se realizó todo el desarrollo operativo con todas sus especificaciones y según la norma **ASTM D5895-13** se determinó la interpretación de resultados al momento de realizar esta prueba (Figura 8) [10].

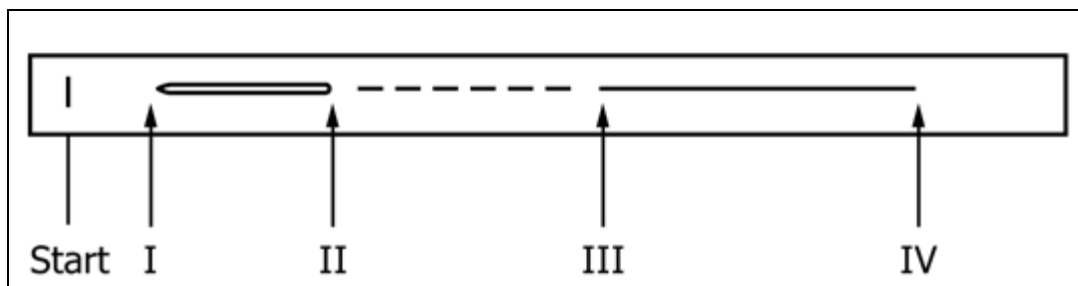


Figura 8. Análisis prueba de secado

***Etapa I:*** Secado al tacto

***Etapa II:*** Libre de tactosidad

***Etapa III:*** Secado duro

***Etapa IV:*** Secado final

### **Ejemplo**

Se realizó la prueba para un producto epóxico, con un espesor de 76  $\mu\text{m}$ , obteniendo el siguiente presentado en la Figura 9:



*Figura 9. Prueba de campo de secado.*

En el cual para alcanzar la *etapa I* (Secado al tacto) se tiene un tiempo de 5 minutos, para la *etapa II* (Libre de tactosidad) un tiempo de 35 minutos, la *etapa III* (Secado duro) de 1 hora y 35 minutos y la *etapa IV* (Secado final) 1 hora y 45 minutos.

### **5.1.5. Lijabilidad**

Este método determina la facilidad que presenta un recubrimiento a ser lijado. Se realizó un nuevo procedimiento mediante la cuantificación de la pérdida de peso de la probeta de prueba al realizar el ensayo de lijabilidad para observar la tendencia y la reproducibilidad. Así mismo los resultados determinan el producto que tiene mejor lijabilidad lo que le aporta propiedades físicas atractivas para el cliente. Debido a que si es una base con mejor lijabilidad se van a tener menos gastos operacionales y menos recursos. Además, se posibilitó el uso de uno de los equipos con baja rotación, el probador de abrasión, Figura 10.



*Figura 10. Prueba de lijabilidad en probador de Abrasion.*

Se adjuntó todo el procedimiento operacional para al final obtener curvas características representativas del producto (Figura 11), donde se reproduzcan datos de tiempo se secado vs porcentaje de pérdida de peso, de tal manera que si se evalúa varios recubrimientos se obtenga datos comparativos para determinar cuál de ellos es el más adecuado. Para cuantificar la pérdida de peso se determinó el siguiente parámetro:

$$\% \text{ Perdida de peso} = \frac{\text{Peso Inicial Lamina} - \text{Peso Final Lamina}}{\text{Peso Inicial Lamina}} * 100$$

Así, se realizó un diseño de experimentos en el cual se evalúan dos productos (Primer 1 y Primer 2) con dos tipos de endurecedores (E1 y E2) en un tiempo de secado después de aplicación entre 30 min y 1440 min (1 día). Además se examinan las láminas para determinar el momento óptimo de lijado (no embotamiento), los resultados se presentan en la Figura 11.

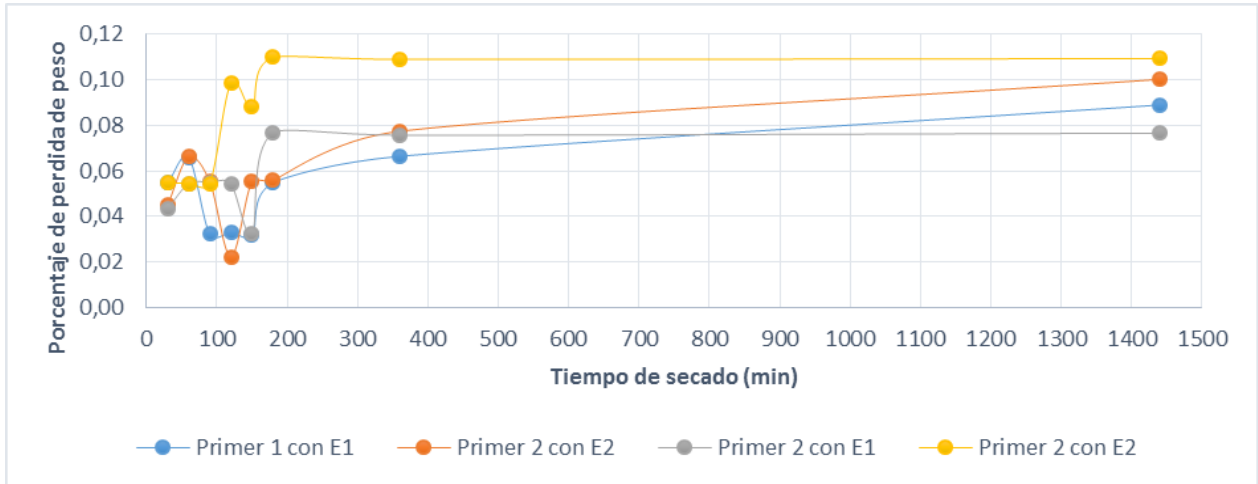


Figura 11. Resultados prueba de lijabilidad.

Según la prueba de lijado y la Figura 11, se observa que el Primer 2 con endurecedor E2 presenta un mayor porcentaje de pérdida de peso, lo que permite inferir que presenta mejores índices de lijabilidad.

Además se realizaron pruebas de campo mediante evaluación cualitativa, es decir, técnicos de la empresa con experiencia en lijado, de acuerdo a su criterio visual y de apariencia. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 12.

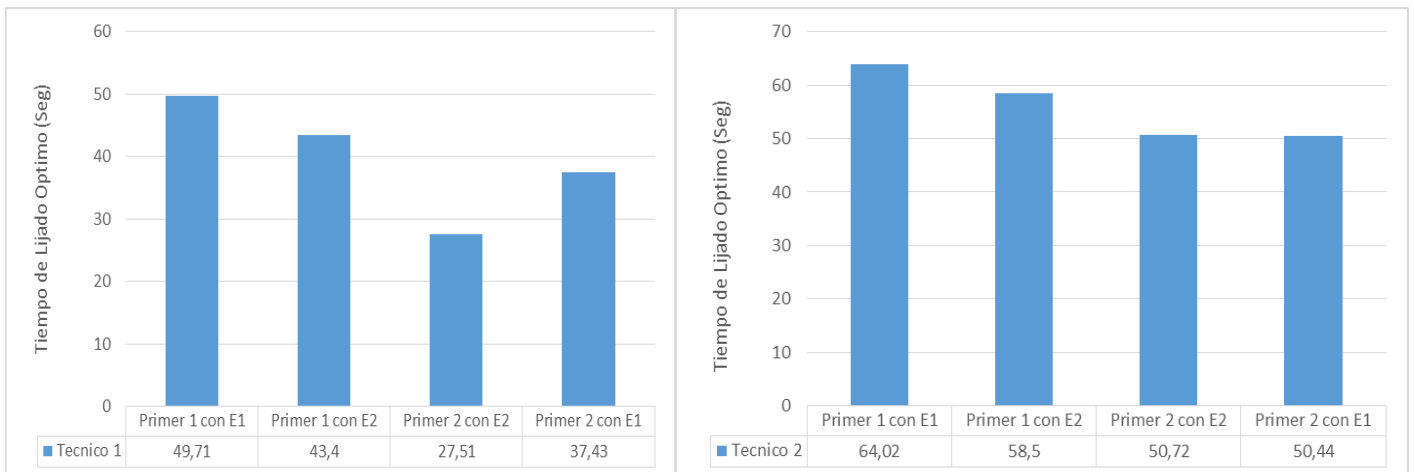


Figura 12. Resultados prueba de lijabilidad cualitativa.



En este caso se comprueba que el método por pérdida de peso determinado cuantitativamente, da resultados reproducibles y que coinciden con las evaluaciones cualitativas basados en las evidencias empíricas de la lijabilidad, de esta manera, para ambos técnicos el Primer 2 con endurecedor E2 es la que menos tiempo consume para tener una superficie lijada con buen aspecto y apariencia.

### 5.1.6. Adherencia por tracción (Pull-off)

Las pruebas de adherencia de un sistema de pinturas, variando espesores o temperaturas de horneado en algunos casos, pueden presentar variación dependiente de las condiciones adversas que se pueda presentar en las instalaciones o líneas de producción del cliente. Por esto es necesario la realización de estos ensayos para asegurar que se adhiera adecuadamente a los sustratos sobre los que se aplican, donde después del proceso de aplicación del revestimiento, indica la fuerza de la unión entre el sustrato y el revestimiento, o entre diferentes capas, o la fuerza de cohesión de los materiales.

La adherencia de un recubrimiento a una superficie depende en gran medida de la calidad del proceso de preparación de la superficie, así como la compatibilidad entre el recubrimiento y el sustrato. Así, la adherencia de un sistema monocapa o multicapa se determina midiendo la mínima fuerza necesaria para desenganchar o romper el recubrimiento del sustrato. El método de adherencia por tracción maximiza la fuerza en vez de emplear velocidad, el cual arroja resultados no comparativos en la mayoría de los casos como en las pruebas de rayado o cuadrícula.



Figura 13. Equipo Pull-Off.

Equipos como el Pull-Off, Figura 13, es un medidor de adherencia manual que mide esta fuerza anteriormente descrita. Este equipo realiza una tracción de prueba sobre un diámetro específico para separar el recubrimiento del sustrato mediante presión hidráulica. En el

documento desarrollado para la empresa se concretó todo el procedimiento operacional del equipo, destacándose dentro del funcionamiento la determinación del tiempo de curado del adhesivo (Figura 14). Mediante un diseño de experimentos se determinó que, para pruebas realizadas en campo acompañado de interventoría el tiempo debería estar entre 40 min y 1 hora para facilidad del cliente; pero en pruebas estándar a nivel del laboratorio seguir las instrucciones de curado del fabricante de 24 horas a temperatura ambiente.



*Figura 14. Adhesivos prueba Pull-off.*

Además de acuerdo a las normas **ASTM D4541-17** e **ISO 4624:2002** se determinó que recubrimientos con espesores mayores a 6 mils en seco deben ser lacerados mediante la herramienta de corte prevista por el equipo (Figura 15) [11], [12].



*Figura 15. Laceración área de prueba.*

Como reporte final de la prueba se deben tener en cuenta toda la terminología y las directrices que la norma describe, de esta manera se estandariza el reporte como un

promedio de la tensión de tracción de las pruebas realizada. Además como registrar la naturaleza de la fractura mediante inspección visual y estimar el resultado como un porcentaje estimado del área, teniendo en cuenta los siguientes resultados (Figura 16):

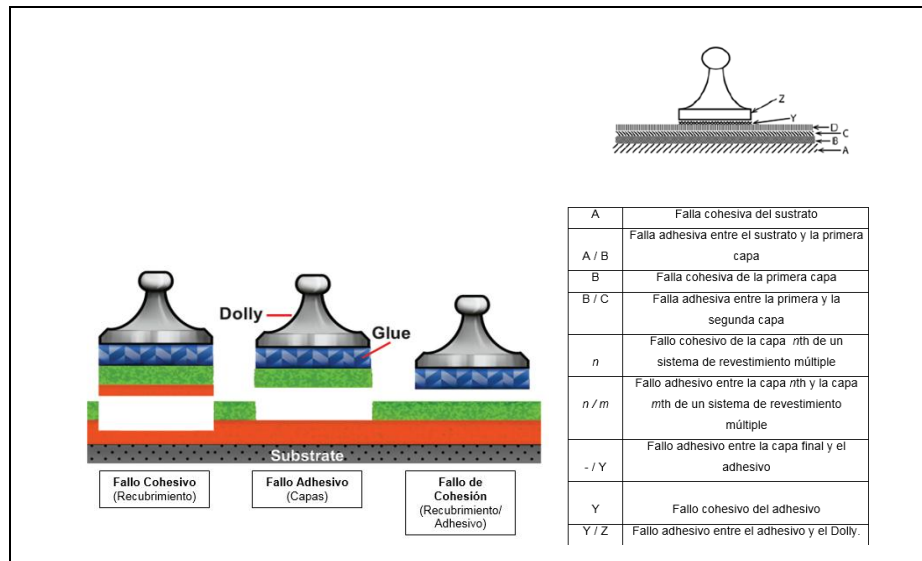


Figura 16. Interpretación de resultados según ASTM D4541-17.

### 5.1.7. Aplicaciones con Airless

La tecnología Airless permite la pulverización de pintura y otros materiales a alta presión, ideales para productos con alta viscosidad. Los pulverizadores portátiles (Figura 17) sin aire son herramientas esenciales para realizar trabajos pequeños rápidamente, ofreciendo una velocidad inigualable y un acabado impecable. Los pulverizadores eléctricos se especializan en repintar y remodelar trabajos más grandes que requieran potencia y flujos adicionales para una variedad de recubrimientos y acabados.



Figura 17. Equipo Airless.

En este documento se definieron las especificaciones sobre la selección del tipo de boquilla y la identificación según su codificación (Figura 18), de la siguiente manera:



	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los primeros tres dígitos (LTX) son los números de identificación del proveedor que diferencian varios estilos de punta. Los segundos tres dígitos (517) representan el tamaño real de la punta (abanico y orificio).</li> <li>2. El número (5), cuando se duplica, indica el ancho aproximado del abanico. El ancho del abanico en una punta 517 es aproximadamente 10 a 12 pulgadas (254 a 305 mm).</li> <li>3. Los últimos dos dígitos (17) indican que la punta tiene un tamaño de orificio de 0.017 pulgadas (0.43 mm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los primeros caracteres (LP) son las letras de identificación del proveedor que diferencian varios estilos de punta. Los segundos tres dígitos (523) representan el tamaño real de la punta (abanico orificio).</li> <li>2. El número (5), cuando se duplica, indica el ancho aproximado del abanico. El ancho del abanico en una punta 523 es aproximadamente 10 a 12 pulgadas (254 a 305 mm).</li> <li>3. Los últimos dos dígitos (23) indican que la punta tiene un tamaño de orificio de 0.023 pulgadas (0.58 mm).</li> </ol>

Figura 18. Selección y tipo de boquilla.

De esta manera para realizar cualquier tipo de aplicación el abanico tiene diferentes comportamientos y de esta manera se tiene diferentes tipos de acabados, Figura 19.

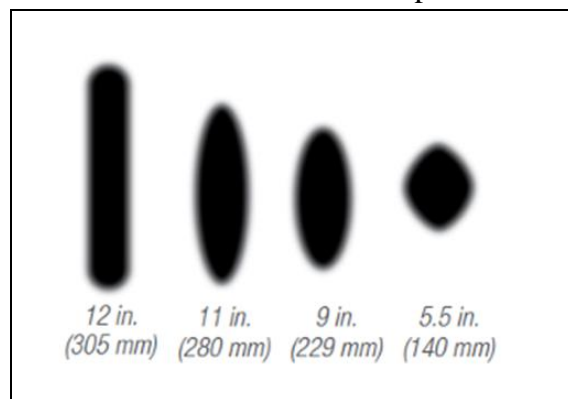


Figura 19. Tipo de abanico.

A parte, se definieron los tamaños de orificio recomendados para cierto tipo de recubrimiento mediante la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2. Tamaños de orificio según material para aplicar.

<b>Materiales Recomendados</b>	<b>Tamaño orificio (Últimos dígitos)</b>
Pinturas base aceite, laca y recubrimientos claros.	9-13
Esmaltes industriales y base aceite	13-15
Pintura Latex	15-19
Latex pesado y elastómeros lisos	21-25
Elastoméricos y Recubrimientos de concreto	25-39

Al final, se describió un procedimiento operacional para cada pulverizador portátil donde se describen los pasos para su arranque/limpieza, puesta en marcha/pulverizar y limpieza/almacenamiento.

#### **5.1.8. Masa Molar Epóxica**

Peso en gramos de resina que contiene una mol de grupos epoxi o es el número de equivalentes de epoxi por un kilogramo de resina. El contenido de epoxi de las resinas epóxicas es una variable importante para determinar su reactividad y las propiedades de los recubrimientos hechos de ellas. Estos métodos de prueba se pueden usar para determinar el contenido de epoxi de las resinas epoxis fabricados y confirmar el contenido de epoxi declarado de las resinas epoxis comprados [13].

##### **5.1.8.1. Valoración potenciométrica**

Mediante el potenciómetro, equipo de baja rotación, se realizó el esquema operacional para poder realizar esta prueba. Se resaltó en el instructivo la limpieza y correcto almacenamiento del electrodo del equipo, como paso fundamental para poder realizar las pruebas (Figura 20).



Figura 20. Limpieza y almacenamiento de electrodo.

Así mismo, en el software TIAMO 2.5, suministrado por el proveedor de equipo, se realizó todo el diseño del algoritmo que permite cuantificar dicha prueba (Figura 21). Esto permitió el desarrollo de un método de titulación semiautomática, donde por medio de titulación simple se puede determinar la masa molar epóxica.

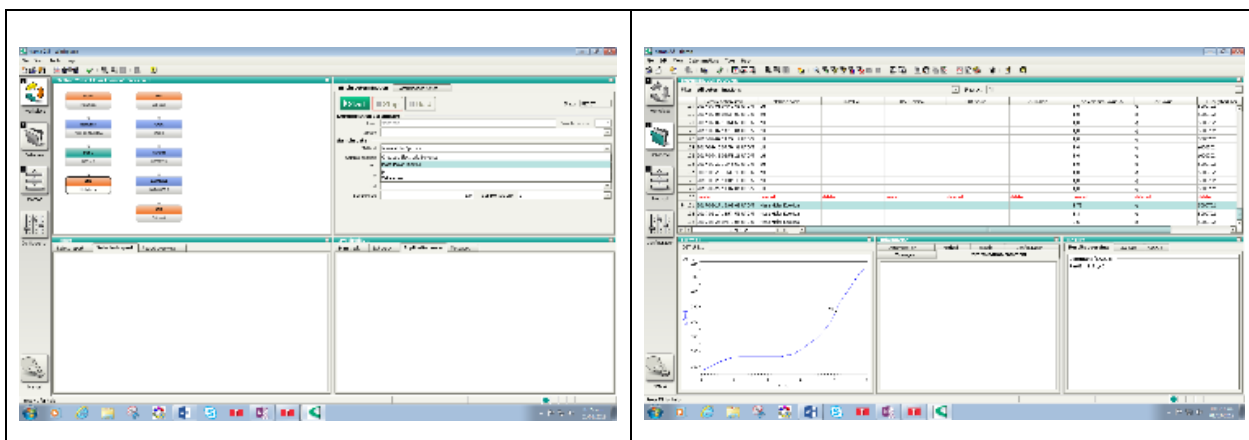


Figura 21. Algoritmo de proceso y reporte.

### 5.1.8.2. Valoración manual

Mediante titulación manual, con valoración colorimétrica, se puede determinar la masa molar epóxica de la muestra a analizar (Figura 22).

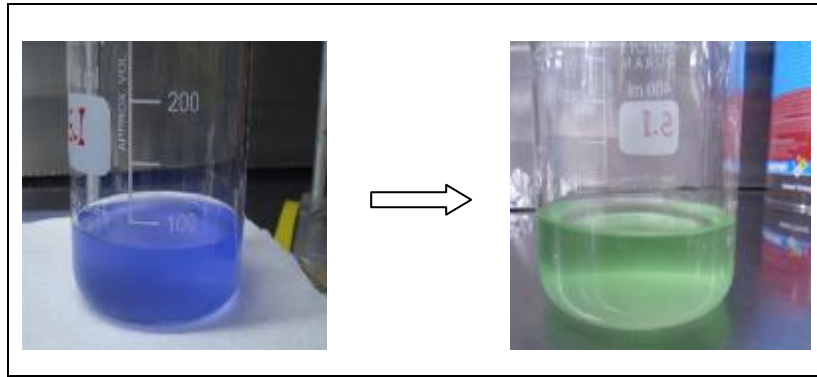


Figura 22. Colorimetría masa molar epoxica.

En este caso, se deben realizar cálculos manuales por medio de la siguiente formula:

$$MME = \frac{W}{V} * 10000$$

Donde:

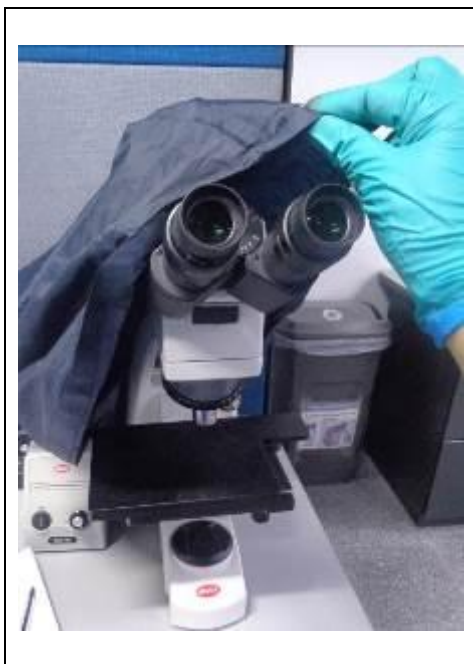
*V*: Volumen de ácido gastado.

*W*: Peso de muestra.

*MME*: Masa Molar Epóxica.

### 5.1.9. Lectura en Microscopio

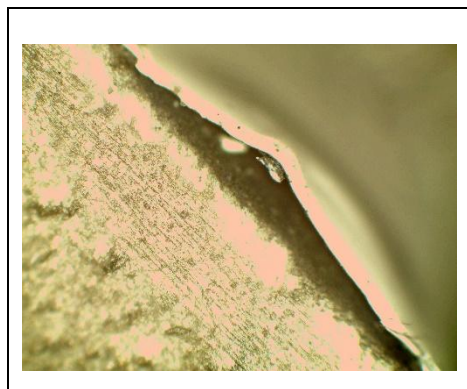
Al utilizar un microscopio compuesto (Figura 23) basado en lentes ópticos (también se le conoce como microscopio de luz o microscopio de campo claro) con más de un lente, se pueden examinar objetos transparentes o cortados en láminas tan finas, donde se puede observar la estructura y organización microscópica, incorporándose esto con éxito en los desarrollos de producto.



*Figura 23. Microscopio.*

En este caso el objetivo de la documentación de presencias y estandarización de la estructura del tipo de defectos que puede presentar en una lámina de aplicación de pintura o recubrimiento, tales como:

- Aire: Presencia de burbujas en la superficie de la película de acabado (Figura 24).



*Figura 24. Defecto aire.*

- Poros: presencia de cavidades cuya profundidad alcanza el fondo o el sustrato (Figura 25).





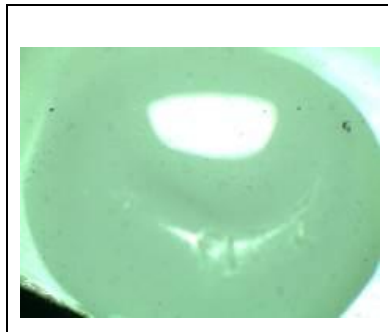
*Figura 25. Defecto poro.*

- Suciedad y polvo: partículas de suciedad y polvo, incrustadas en las capas de acabado (Figura 26). La presencia de estas partículas es causada por la superficie insuficientemente limpia, poco mantenimiento de la pistola de aplicación, presión demasiado baja o alta en la cabina de aplicación, ropa de trabajo no adecuada o en general suciedad en la cabina o en la zona de aireo.



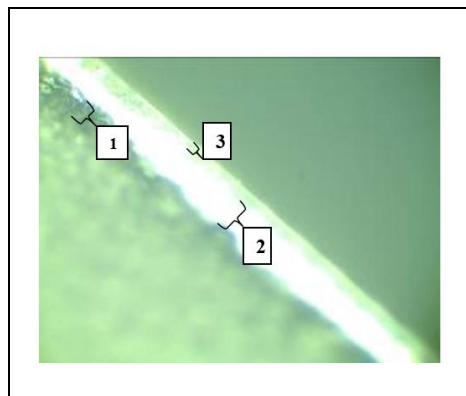
*Figura 26. Defecto suciedad y polvo.*

- Grumos: La mayoría de los grumos son causados por abultamientos en ciertas zonas de la probeta de prueba y pueden ser generados cuando al momento de realizar la aplicación quedan partículas de pintura suspendidas en el aire, en el cual al momento de descender llegan a adherirse a la zona aplicada (Figura 27).



*Figura 27. Defecto Grumos.*

A parte de los defectos, es posible observar el número de capas que posee un recubrimiento. Por lo general en las pinturas encontramos tres capas distintas, las cuales cumplen diferentes funciones, estas pueden ser (Figura 28): Primer (1), Pintura de Color (2) y Barniz (3).



*Figura 28. Número de capas.*

#### **5.1.10. Determinación de sólidos por volumen**

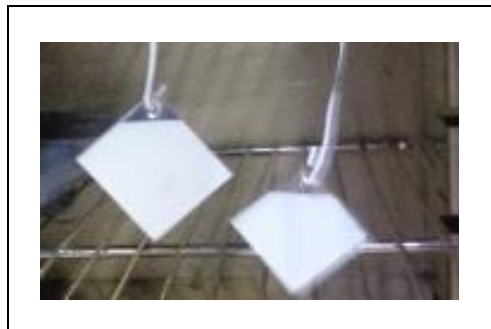
Se genero un procedimiento documentado para determinar el volumen de un recubrimiento seco proveniente de un volumen determinado de recubrimiento líquido. Este valor es de utilidad para conocer el cubrimiento teórico del recubrimiento (metros cuadrados de superficie recubierta a un espesor de película seca establecido por unidad de volumen).

En esta prueba se determina el peso y el volumen de un disco de acero inoxidable, después de que el disco se recubre con el material que se está probando, el peso y el volumen del disco más el revestimiento seco se determinan pesando en aire y luego pesando un líquido de densidad conocida que en este caso es agua destilada. El volumen es igual al cociente de la pérdida de peso del disco revestido (debido al efecto de flotabilidad de Arquímedes) dividido por la densidad del líquido desplazado. El líquido puede ser agua, un líquido orgánico tal como alcoholes minerales de baja solubilidad o querosina, o con modificaciones especiales no cubiertas específicamente en este método, mercurio. La elección del líquido depende de la naturaleza del recubrimiento a probar.



*Figura 29. Kit de sólidos por volumen*

A partir de los pesos y volúmenes medidos del disco antes y después del recubrimiento, se calculan el peso y el volumen de la película de recubrimiento seca, Figura 29. Basándose en la densidad del recubrimiento líquido y el porcentaje en peso de materia no volátil, el volumen del recubrimiento líquido depositado en él, se calcula el disco revestido. El volumen del recubrimiento seco dividido por el volumen de recubrimiento líquido, multiplicado por 100, proporciona el porcentaje de volumen de materia no volátil en el recubrimiento líquido total (Figura 30) [14].



*Figura 30. Prueba sólidos por volumen.*

## 5.2. Evaluación económica

La evaluación económica, tabla 3, se basó en el año de retorno de la inversión inicial del equipo, teniendo en cuenta el costo inicial y en el costo por año del número de pruebas en el cual se utiliza el equipo dependiendo del número de proyectos. Además, se calculó el beneficio que se presenta entre comprar directamente el equipo o realizar la prueba en el laboratorio de servicios de un tercero.

*Tabla 3. Evaluación económica equipos de la unidad de negocio.*

Equipo	Costo Inicial	Mediciones por año	Costo de prueba	Costo por Año	Año de Retorno de inversión	Beneficio
Pull of tester	\$6.278.000	30	\$26.000	\$780.000	8	\$ 1.522.000
Drying time recorder	\$10.833.000	91	\$31.000	\$2.821.000	3,8	\$ 17.377.000
Impactometro	\$6.150.000	60	\$26.000	\$1.560.000	3,9	\$ 9.450.000
Mandril Cónico	\$2.670.000	24	\$30.000	\$720.000	3,7	\$ 4.530.000
Airless	\$5.568.000	30	\$150.000	\$4.500.000	1,2	\$ 39.432.000

Según se observa en la tabla 3, para los equipos: Drying time recorder, el Impactometro y el Mandril Conico se tiene un retorno de inversión de 4 años aproximadamente con beneficios mayores al costo inicial del equipo, es decir, es más rentable la compra del equipo, que tercerizar la prueba. En el caso del Pull of tester, equipo con 8 años de retorno, aunque tardaría más años en recuperar la inversión el beneficio de su compra aporta \$780.000 como ahorro a la compañía. En el caso del Airless el costo por prueba es elevado, debido a que se debe tener en cuenta, que al momento de contratar un servicio se cobra por el uso de las instalaciones las cuales deben ser las apropiadas y se tarda un día entero en solo una aplicación. Además algunos otros procesos se pueden detener debido a la rigurosidad de la prueba, en este caso, se tiene un retorno a la inversión más bajo, con un beneficio más elevado, así demostrando que la inversión realizada inicialmente es justificada.

En la Tabla 4, se presenta la evaluación económica de tres equipos que pertenecen a otra unidad de negocio o son de uso compartido, en este caso solo se puede determinar el número de mediciones por año directamente de la unidad de negocio propia. De igual manera al tener el equipo en el mismo laboratorio, se tiene un ahorro por año de \$ 1.178.000, en comparación, si se realiza la prueba en un laboratorio de servicios de un tercero.

Tabla 4. Evaluación económica equipos de otra unidad de negocio.

Equipo	Mediciones por año	Costo de prueba	Costo por año (Beneficio)
Microscopio	5	\$ 81.000	\$ 405.000
Medidor de abrasión	3	\$ 31.000	\$ 93.000
Potenciómetro	10	\$ 62.000	\$ 620.000
Kit de sólidos por volumen	2	\$ 30.000	\$ 60.000

Para la determinación de la depreciación de los equipos de laboratorio, Tabla 5, la vida útil está estimada por 10 años. De esta manera se determina que la depreciación por año total de los equipos es de \$ 13.629.911, lo que implica que hasta la fecha se tenga un 71% del costo inicial de compra depreciado, esto se le atribuye a que existen equipos que ya sobrepasaron los 10 años de vida útil tal como el impactometro, el cual ya tiene 32 años desde su compra, lo que quiere decir que es un activo depreciado en su totalidad.

Tabla 5. Depreciación de equipos.

Equipo	Costo Inicial	Año de Compra	Depreciación	
			Por año	Total
Pull of tester	\$ 6.278.000	2014	\$ 627.800	\$ 3.766.800
Microscopio	\$ 19.488.000	2016	\$ 1.948.800	\$ 15.590.400
Kit de sólidos x volumen	\$ 2.964.112	2019	\$ 296.411	NA
Drying time recorder	\$ 10.833.000	2019	\$ 1.083.300	NA
Medidor de abrasión	\$ 25.350.000	2007	\$ 2.535.000	\$ 25.350.000
Potenciómetro	\$ 56.998.000	2015	\$ 5.699.800	\$ 39.898.600
Airless	\$ 5.568.000	2014	\$ 556.800	\$ 3.340.800
Impactometro	\$ 6.150.000	1987	\$ 615.000	\$ 6.150.000
Mandril Cónico	\$ 2.670.000	2005	\$ 267.000	\$ 2.670.000
<b>Total</b>	<b>\$ 136.299.112</b>		<b>\$ 13.629.911</b>	<b>\$ 96.766.600</b>

## **6. Conclusiones**

Mediante la estandarización y documentación de procesos dependiendo del desarrollo de nuevos proyectos en el área de investigación y desarrollo, así como la identificación de los patrones o usos establecidos de equipos dentro del laboratorio, es posible determinar el uso potencial de este recurso activo como apoyo al desarrollo de nuevos productos y de análisis de reclamos de clientes.

Durante el desarrollo de esta práctica se logró la documentación de 10 equipos de laboratorio, a través del mecanismo de instructivos de operaciones, así como establecer un proceso estandarizado al momento de algún requerimiento de clientes, de esta manera se deja a un lado la interpretación subjetiva de las pruebas y se logran resultados comparativos y cuantitativos; este hecho permite que exista un procedimiento que ofrece la oportunidad de uniformidad y facilita el control y la supervisión de los procesos en marcha.

De la mano con esta documentación, también se evaluó el impacto económico en la compañía por tener equipos con baja rotación o subutilizados. Con el mecanismo de depreciación fue posible conocer qué valor de estos equipos o de activo fijo se va de cierta manera desgastando hasta quedar en un activo en desuso. Mediante el método de línea recta, la depreciación del valor inicial invertido hasta la fecha es del 71% del costo total de los equipos. Este hecho implica que es importante el uso frecuente de estos para recuperar en un tiempo menor la inversión, de esta manera hasta la fecha el beneficio del uso de estos equipos internamente está alrededor del 15% con respecto al costo inicial, así es realmente valioso conocer el uso potencial para aumentar esta cifra.

## 7. Referencias Bibliográficas

[1] Casa de la Cultura, Santa Cruz de Tenerife. Recuperado de <http://www.creacionempresas.com/plan-de-viabilidad/que-es-un-plan-de-empresa-viabilidad/investigacion-desarrollo-e-innovacion>

[2] Tafolla, H (2000). *Estandarización y Globalización*. SEGMENTO. Julio 2000. Nro. 6 Año 2. Instituto Autónomo de México. Recuperado de <http://www.itam.com.mx/>

[2] Hernández, H. (2016). *ISO 9001:2015. SIMPLIFICACIÓN DE PROCESOS*. Buenos Aires, Argentina. Calidad y Gestión. Recuperado de <https://calidadgestion.wordpress.com/2016/11/30/iso-90012015-simplificacion-de-procesos/>

[4] Gerencia.com. (2018). *¿Que es la depreciación?*. Recuperado de <https://www.gerencie.com/depreciacion.html>.

[5] ISOtools Excellence Colombia. (2017) *¿Qué es y cómo se utiliza la documentación de procesos?* Bogotá, Colombia. ISOtools. Recuperado de <https://www.isotools.com.co/se-utiliza-la-documentacion-procesos/>

[6] Neurtek Instruments. *Impactómetros para pinturas*. Recuperado de: <https://www.neurtek.com/es/pintura-recubrimientos/impactometro-pintura? sm au =iHV51V07NfZ3DnsQ>.

[7] ASTM D2694-93. Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact). Estados Unidos de America: ASTM international, 2019. 3 p.

[8] ASTM D522/D522M-17. Standard Test Method for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings. Estados Unidos de América: ASTM international, 2018. 5 p.

[9] Las-pinturas.com. *Curado en las pinturas, métodos de curado*. Recuperado de: <http://www.las-pinturas.com/secado-de-la-pintura.html? sm au =iHV51V07NfZ3DnsQ>

[10] ASTM D5895-13. Standard Test Methods for Evaluating Drying or Curing During Film Formation of Organic Coatings Using Mechanical Recorders. Estados Unidos de America: ASTM international, 2019. 4 p.

[11] ASTM D4541-17. Standard Test Methods for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion. Estados Unidos de America: ASTM international, 2018. 18 p.


[12] ISO 4624:2002, IDT. Paint and Varnishes. Pull-Of test for adhesion. Nederlands Normalisatie-instituut.2002. 26 p.

[13] ASTM D1652-11. Standard Test Methods for Epoxy Content of Epoxy Resins. Estados Unidos de America: ASTM international, 2019. 4 p.

[14] ASTM D1697-03. Standard Test Methods for Volume Nonvolatile Matter in Clear or Pigmented Coatings. Estados Unidos de America: ASTM international, 2014. 3 p.



## Anexos

	NOMBRE DEL DOCUMENTO	CODIGO: Revisión N° Página: 1 de 2
Fecha Emisión	AA/MM/DD	Fecha Revisión
Elaboró	Nombre Apellido Cargo: (según perfil)	Aprobó
		Nombre Apellido Cargo: (según perfil)

**1.0 OBJETIVO.**

**2.0 ALCANCE.**

**3.0 RESPONSABILIDAD.**

**4.0 DEFINICIONES.**

**5.0 DESARROLLO.**

**6.0 DOCUMENTOS ASOCIADOS**

**7.0 REGISTROS**

Código	Registro (Descripción)	Ubicación (Física o electrónica)	Responsable	Tiempo Retención

	NOMBRE DEL DOCUMENTO	CODIGO: Revisión N° Página: 2 de 2
Fecha Emisión	AA/MM/DD	Fecha Revisión
Elaboró	Nombre Apellido Cargo: (según perfil)	Aprobó
		Nombre Apellido Cargo: (según perfil)

### 8.0 PARTES INTERESADAS

Este procedimiento es para conocimiento de:

- Gestión Estratégica
- Gestión de la Calidad
- Gestión Ambiental
- Gestión de seguridad y salud ocupacional
- Compras y Comercio Internacional
- Producción
- Control calidad
- División Técnica
- Almacén Abastecimiento
- Almacén Producto Terminado
- Mantenimiento
- Gestión Humana
- Gestión Comercial
- Gestión financiera
- Factory Service

### 9.0 TABLA DE CONTROL DE CAMBIOS

REVISIÓN No.	FECHA REVISIÓN	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO	NOMBRE Y CARGO DE QUIEN APRUEBA
	AA/MM/DD		

Figura A1. Formato para la creación de instructivos.

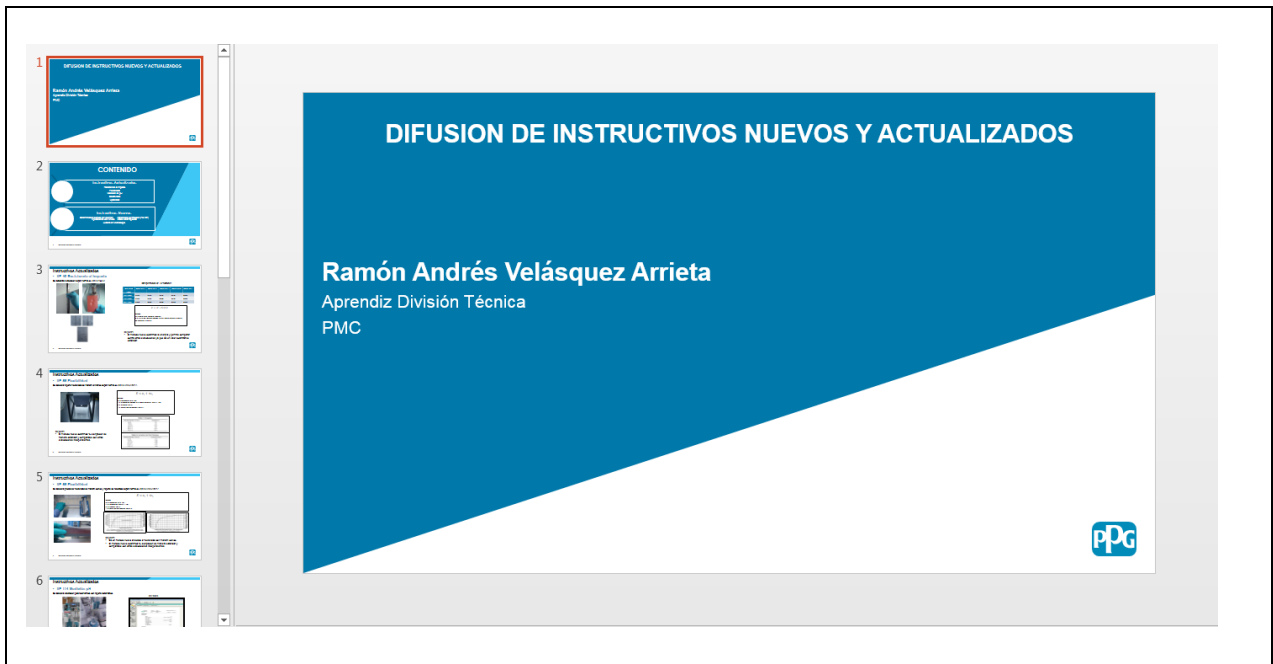


Figura A2. Presentación de difusión a control de calidad, Factory Service, metrología y división técnica.