

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CRECIMIENTO
MULTICAPA DE PELÍCULAS DELGADAS PARA UN SPUTTERING DE 3
BLANCOS.**



**Jorge Armando Serna Jaramillo
Jonathan Eduardo Martínez Muñoz**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL E INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2014**

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CRECIMIENTO
MULTICAPA DE PELÍCULAS DELGADAS PARA UN SPUTTERING DE 3
BLANCOS.**



ANEXOS

**Jorge Armando Serna Jaramillo
Jonathan Eduardo Martínez Muñoz**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL E INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2014**

Tabla de contenido

ANEXO A. SISTEMA DE POSICION DE LOS SHUTTERS	6
ANEXO B. LEVANTAMIENTO	21
ANEXO C. DIAGRAMAS REDES DE PETRI	32
ANEXO D. PROCEDIMIENTO DE CRECIMIENTO MULTICAPA DE PELÍCULAS DELGADAS MODELADO CON ISA S 88.....	43
ANEXO E. MANUAL DEL PROCESO DE CRECIMIENTO MULTICAPA DE PELICULAS DELGADAS MODELADO CON ISA S 88	61

Lista de figuras

Figura A.1. Montaje del sistema de posición de shutters dentro de la cámara de vacío del equipo Sputtering de tres blancos.....	6
Figura A.2. Subsistema shutters blancos	7
Figura A.3. Subsistema shutters horno.....	7
Figura A.4. Extensión perilla_shutters	7
Figura A.5. Plano subsistema shutters blancos.....	8
Figura A.6.Plano subsistema shutters horno	9
Figura A.7. Plano extensión perilla_shutters.....	10
Figura A.8. Plano shutter horno.....	11
Figura A.9.Plano shutter blanco central	12
Figura A.10. Plano shutter blanco izquierdo	13
Figura A.11. Plano shutter blanco derecho	14
Figura A.12. Plano base shutters horno.....	15
Figura A.13. Plano shutter base blancos	16
Figura A.14.Plano varilla shutter blanco izquierdo.....	17
Figura A.15. Plano varilla shutter blanco derecho	18
Figura A.16. Plano varilla shutter blanco centro	19
Figura A.17. Plano extensión perilla shutter	20
Figura B.1.Cañón-magnetron vista lateral.....	21
Figura B.2. Cañón-magnetron vista aérea	21
Figura B.3. Cañón-magnetron vista inferior.....	21
Figura B.4. Pasa muro en acordeón vista lateral	22
Figura B.5. Pasa muro en acordeón vista aérea.....	22
Figura B.6. Base Cañón-magnetron	22
Figura B.7. Vista aérea tapa superior cámara de vacío	22
Figura B.8. Vista lateral horno y blancos	22
Figura B.9. Acople de tubería.....	22
Figura B.10. Vista frontal gabinete control de temperatura	23
Figura B.11. Vista interna gabinete control de temperatura.....	23
Figura B.12. Conector de cables fuente de poder.....	23
Figura B.13. Acople de tubería.....	23

Figura B.14. Abrazaderas y acoples de tuberías.....	23
Figura B.15. Base cañón-magnetron	24
Figura B.16. Cañón-magnetron	24
Figura B.17. Pasa muro en acordeón vista lateral	24
Figura B.18. Pasa muro en acordeón vista aérea.....	24
Figura B.19. Vista aérea tapa superior cámara de vacío	24
Figura B.20. Conector de cables fuente de poder.....	24
Figura B.21. Tapa de pasa muro.....	24
Figura B.22. Vista Horno e interior cámara de vacío.....	25
Figura B.23. Acople de tuberías	25
Figura B.24. Vista frontal gabinete control temperatura.....	25
Figura B.25. Acople cámara de vacío cañón- magnetron.....	25
Figura B.26. Resaltado en rojo potenciómetro de calibración del indicador analógico de presión Thermotron TM 120	26
Figura B.27. Resaltados en rojo potenciómetros de calibración del sensor pirani.....	26
Figura B. 28. Primeras fugas detectadas, debidas a orrin de cobre sucio y/o reutilizado. Fuente propia.....	26
Figura B.29. Bomba Turbomolecular de vacío ensamblada por primera vez.	26
Figura B.30. Dos (2) orrin de cobre nuevos, Fuente propia	27
Figura B.31. Orrin de goma nuevo.....	27
Figura B.32. Panel frontal del sistema de control de temperatura; controlador de temperatura, Swichts de encendido y calefacción y bombillo indicador de calefacción.	27
Figura B.33. Interior del Horno.....	28
Figura B.34. Parte inferior del Horno.....	28
Figura B.35. Parte lateral del Horno.....	28
Figura B.36. Cables Horno.....	28
Figura B.37. Panel de control de temperatura funcionando en momento de caracterización.	28
Figura B.38. Conexiones de mangueras de refrigeración cañones-magnetrones.....	29
Figura B.39. Indicador de flujo tipo molinete en perfecto estado.	29
Figura B.40. Evidencia de las primeras pruebas de la fuente PCN600 en el equipo Sputtering.	30
Figura B.41. Instalación del cableado desde la fuente al cañón-magnetron.....	30
Figura B.42. Entrega del sistema en funcionamiento a la universidad.....	31
Figura B.43. Vista Equipo Sputtering actualmente (enero 2014)	31
Figura C.1. Red de Petri del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.....	32
Figura C.2. Sub Red de Petri pulverizar blanco 1.	35
Figura C.3. Sub Red de Petri crecimiento película delgada 1.	37
Figura C.4. Sub Red de Petri finalizar plasma 1.	38
Figura C.5. Sub Red de Petri pulverizar blanco 2.	39
Figura C.6. Sub Red de Petri crecimiento película delgada 2.	40
Figura C.7. Sub Red de Petri finalizar plasma 2.	40
Figura C.8. Sub Red de Petri extraer material.....	41

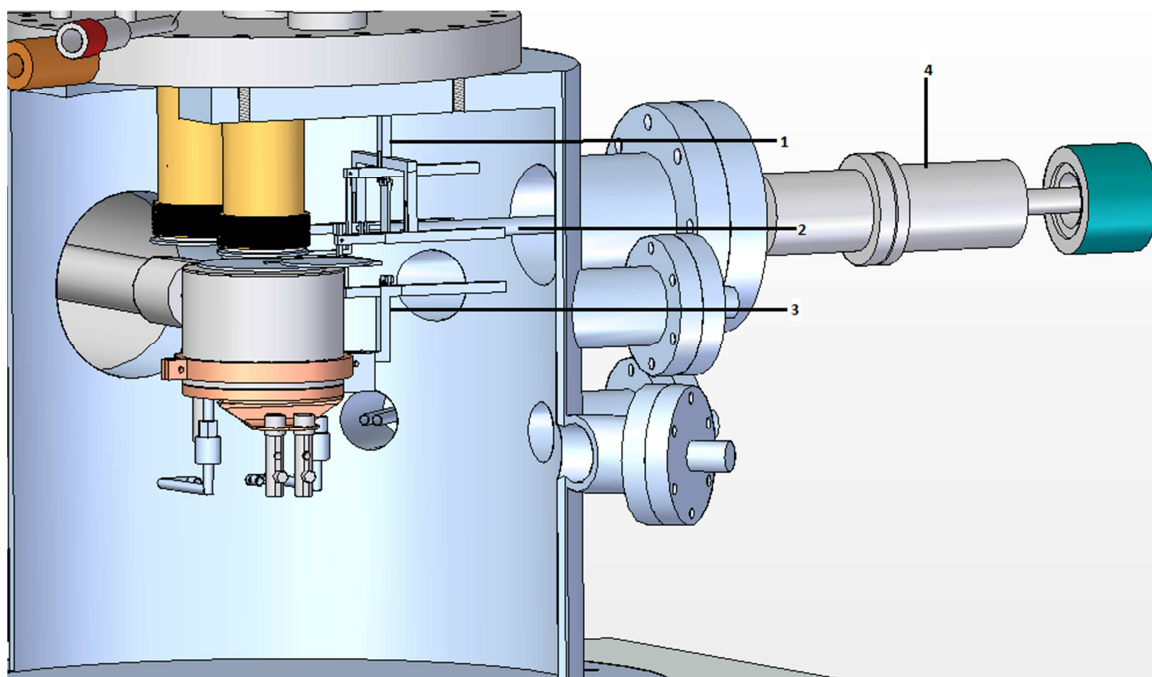
Lista de tablas

Tabla C.1. Transiciones de la Red de Petri del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.	33
Tabla C.2. Lugares de la Red de Petri del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.	33
Tabla C.3. Transiciones de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1	36
Tabla C.4. Lugares de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1	36
Tabla C.5. Transiciones de la sub Red de Petri crecimiento película delgada 1.	37
Tabla C.6. Lugares de la sub Red de Petri crecimiento películas delgadas 1.	37
Tabla C.7. Transiciones de la sub Red de Petri finalizar plasma 1.	38
Tabla C.8. Lugares de la sub Red de Petri finalizar plasma 1.	38
Tabla C.9. Transiciones de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1	39
Tabla C.10. Lugares de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1	39
Tabla C.11. Transiciones de la sub Red de Petri crecimiento película delgada 2.	40
Tabla C.12. Lugares de la sub Red de Petri crecimiento películas delgadas 2.	40
Tabla C.13. Transiciones de la sub Red de Petri finalizar plasma 2.	41
Tabla C.14. Lugares de la sub Red de Petri finalizar plasma 2.	41
Tabla C.15. Transiciones de la sub Red de Petri extraer material,	41
Tabla C.16. Lugares de la sub Red de Petri extraer material.	41
Tabla D.1. Proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas siguiendo la información dada por la norma ISA S88.	43

ANEXO A. SISTEMA DE POSICION DE LOS SHUTTERS

En este anexo se visualiza de forma detallada el sistema de posición de los shutters los módulos mecánicos diseñados para el funcionamiento y el manejo del sistema, permitiendo ampliar la información del trabajo de pregrado y brindando al equipo Sputtering de tres (3) blancos una mejora para su funcionamiento y que los resultados arrojados a través de las investigaciones desarrolladas en este sean de alta calidad.

El sistema de posición de Shutters está compuesto por tres (3) subsistemas: Subsistema Shutters blancos y Subsistema Shutters horno y extensión perilla_shutters, los cuales fueron diseñados de tal manera que vayan ubicados dentro de la cámara de vacío del equipo Sputtering de tres (3) blancos sin causar efectos negativos en el proceso y daños a los componentes internos ubicados dentro de la cámara de vacío. Finalmente el sistema de posición de Shutters permite realizar el proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas mejorando la calidad de las películas y de las investigaciones realizadas en este equipo. El sistema de posición de Shutters se observa en .la Figura A.1.



- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1. Subsistema shutters blancos | 2. Extensión perilla_shutters |
| 3. Subsistema shutters horno | 4. Perilla_shutters |

Figura A.1. Montaje del sistema de posición de shutters dentro de la cámara de vacío del equipo Sputtering de tres blancos.

[Fuente propia].

De acuerdo a ese diseño modular, a continuación se detallan las vistas ver Figura A.2, Figura A.3, Figura A.4 y los planos de cada subsistema que hace parte del sistema de

posición shutters ver planos desde la Figura A.8 hasta la Figura A.17, los cuales fueron desarrollados usando el software de Unigraphics Solutions Solid Edge V18.

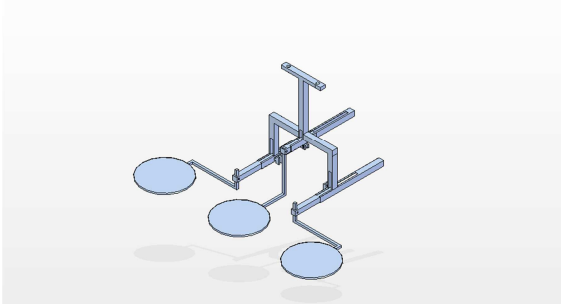


Figura A.2. Subsistema shutters blancos
[Fuente propia].

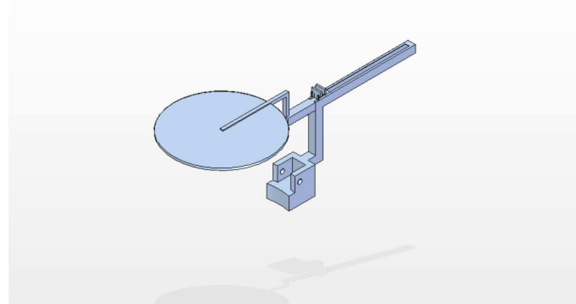


Figura A.3. Subsistema shutters horno
[Fuente propia].

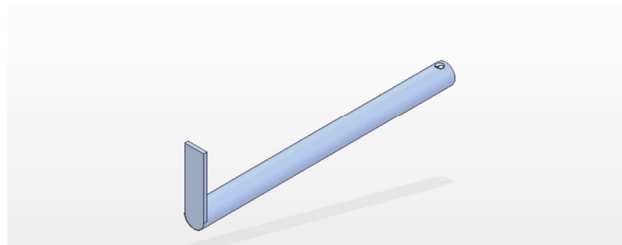


Figura A.4. Extensión perilla_shutters
[Fuente propia].

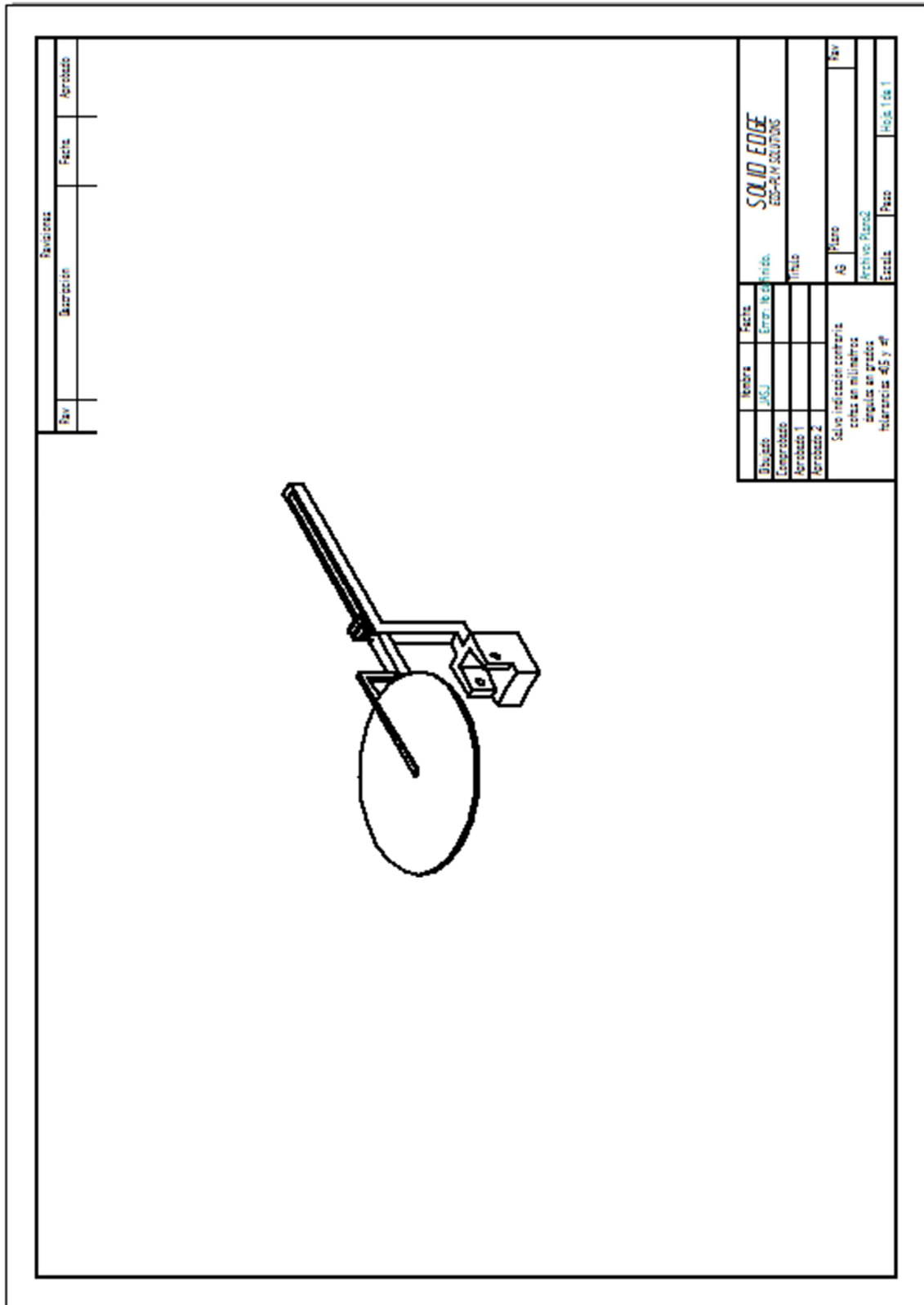


Figura A.6.Plano subsistema shutters horno
[Fuente propia].

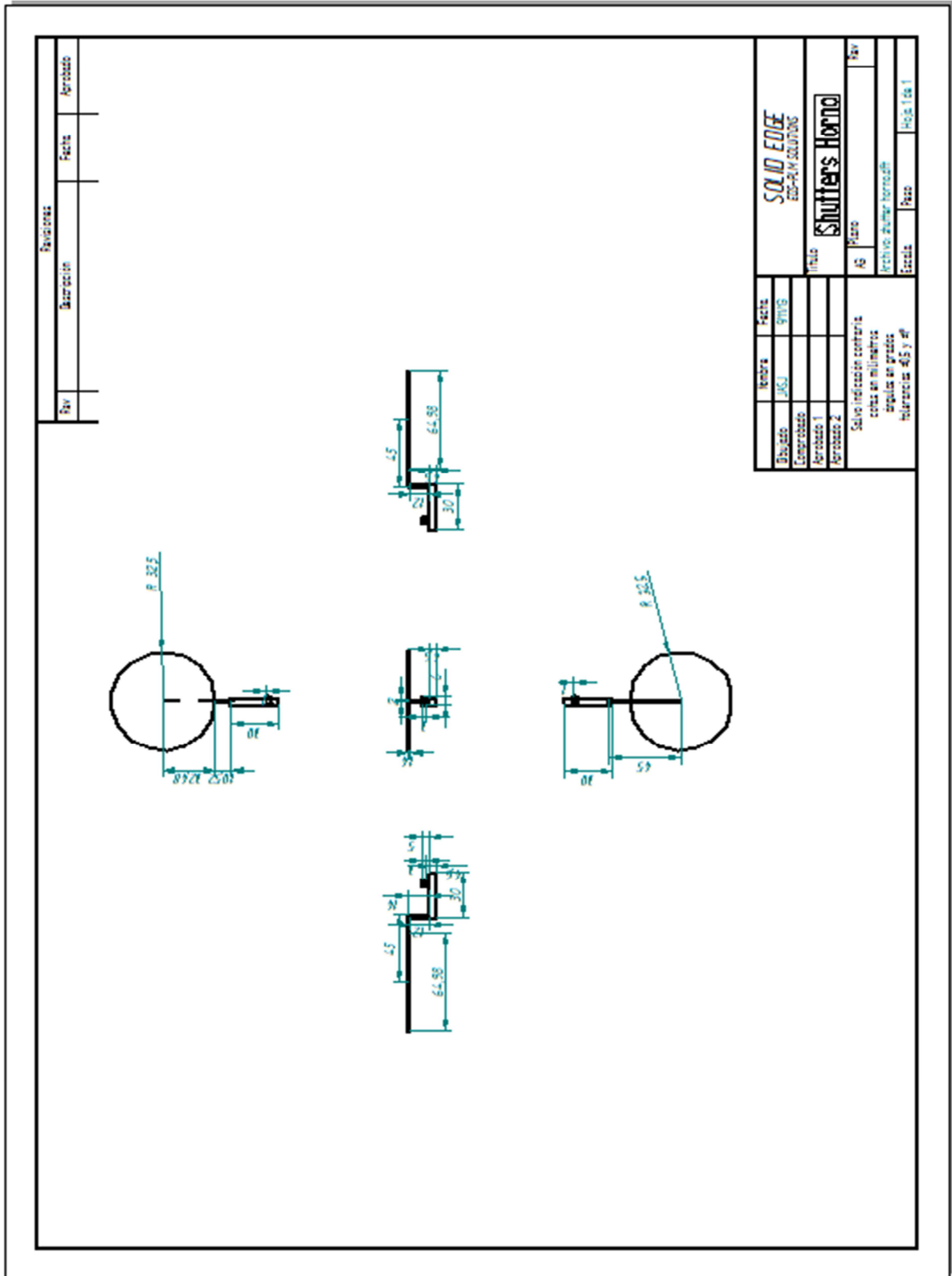


Figura A.8. Plano shutter horno
[Fuente propia].

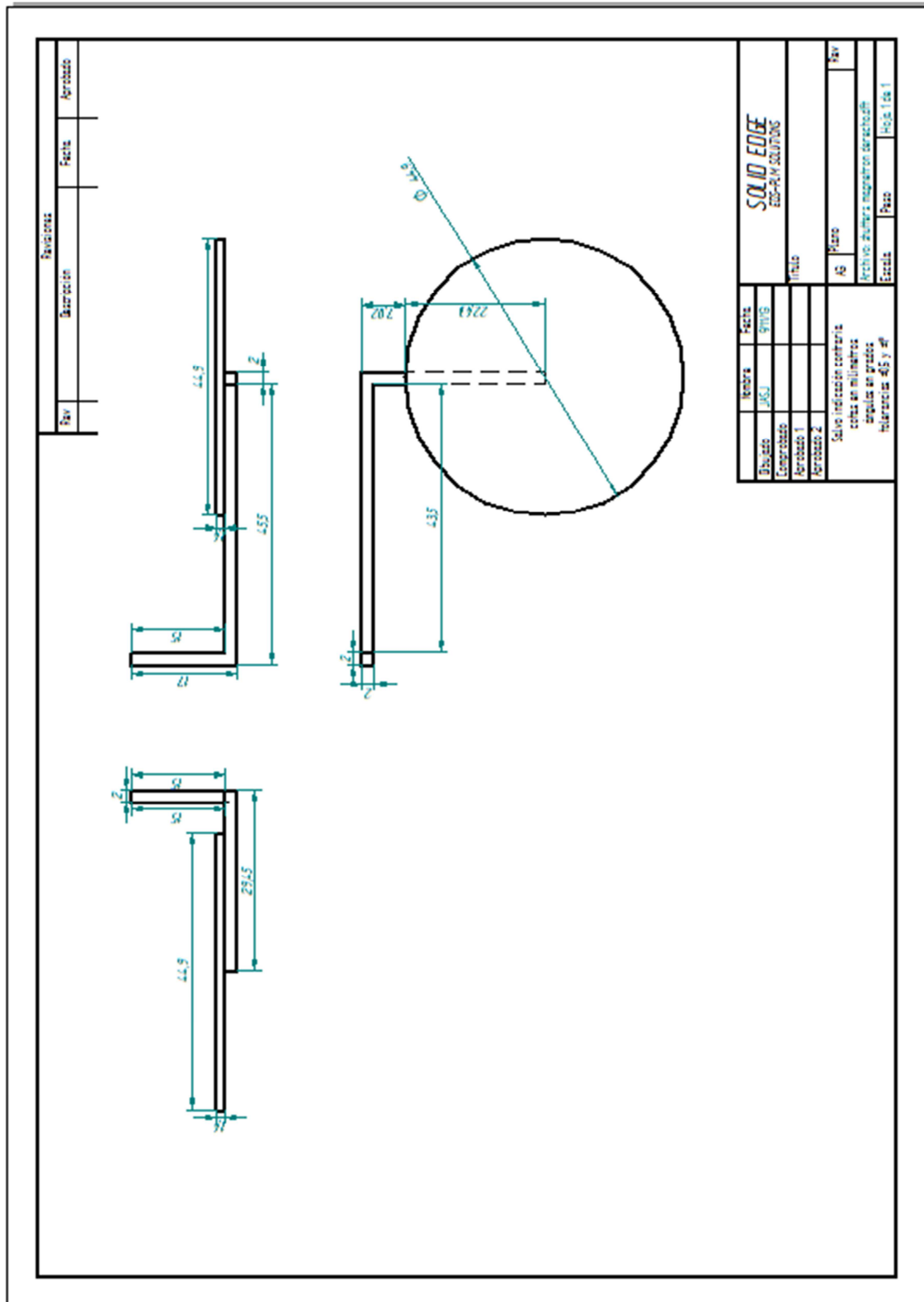


Figura A.10. Plano shutter blanco izquierdo
[Fuente propia].

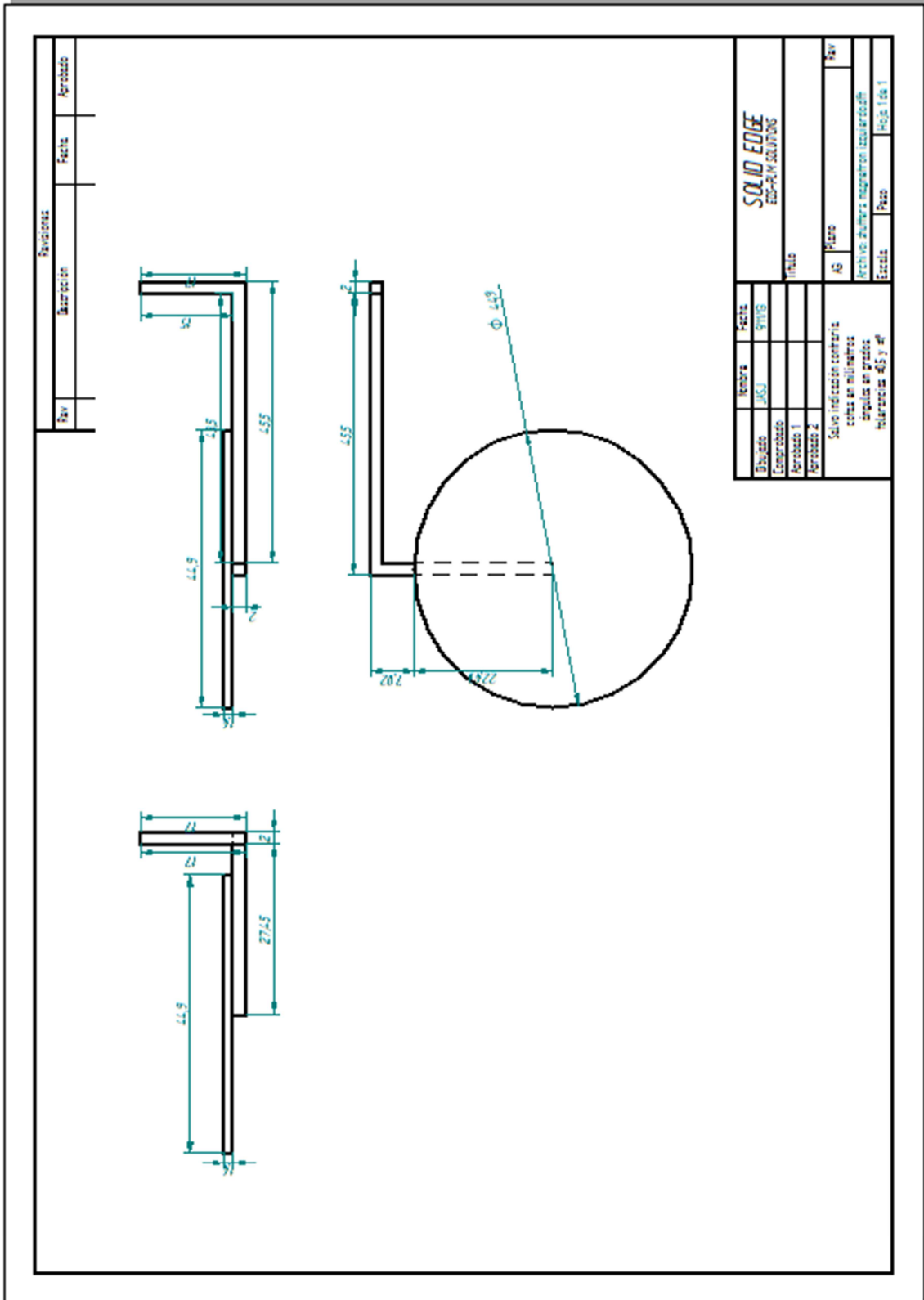


Figura A.11. Plano shutter blanco derecho
[Fuente propia].

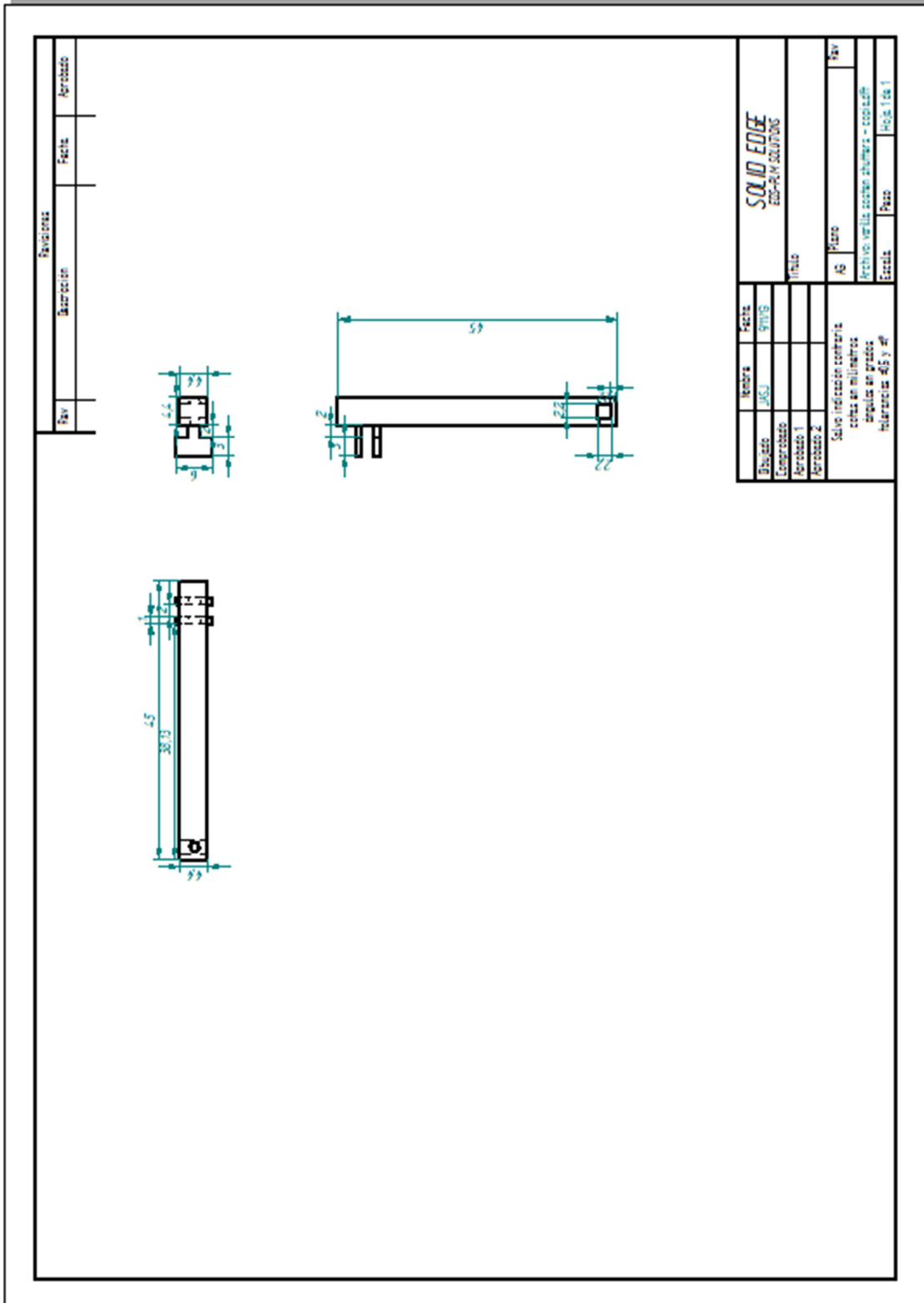


Figura A.14. Plano varilla shutter blanco izquierdo
[Fuente propia].

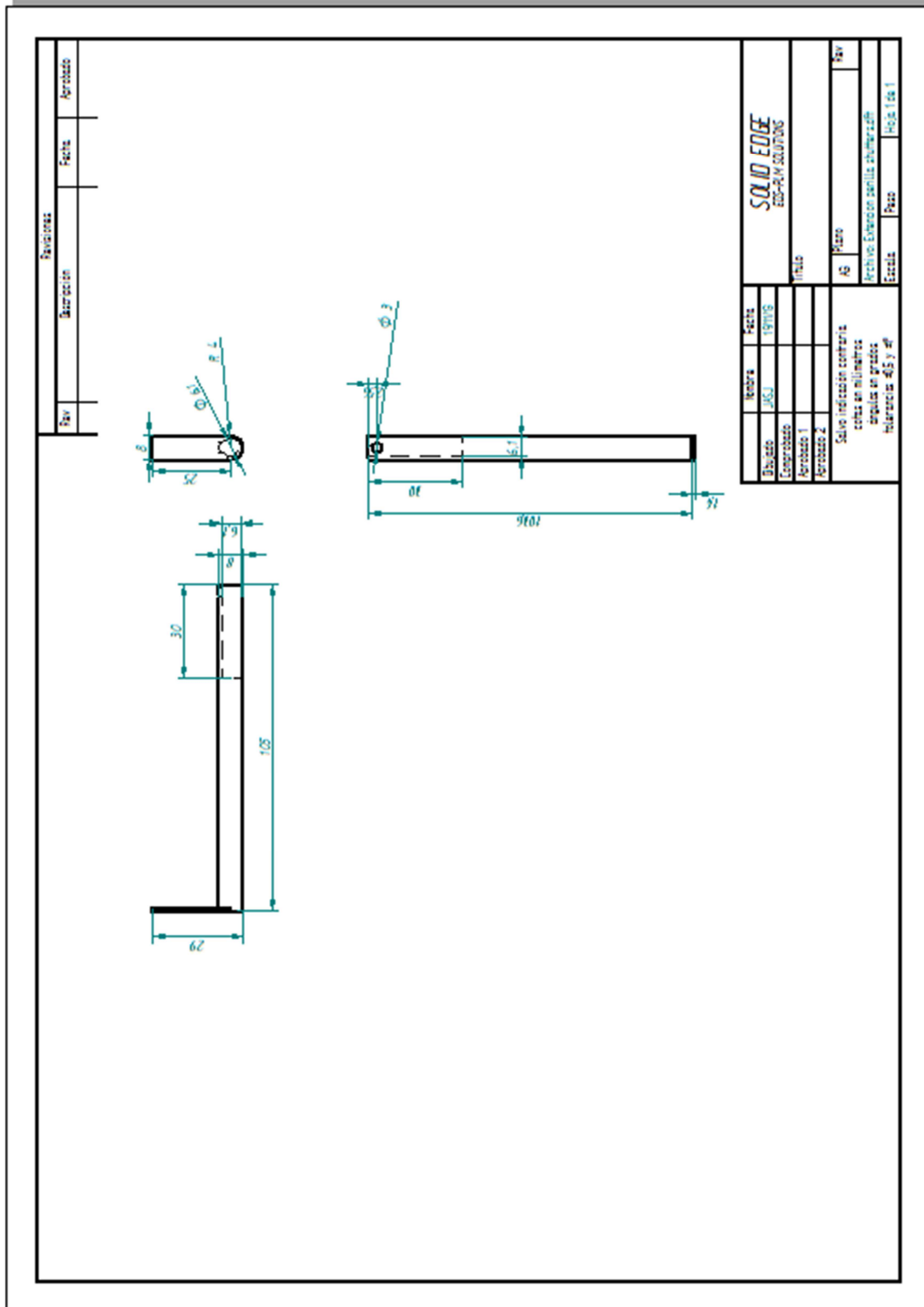


Figura A.17. Plano extensión perilla shutter
[Fuente propia].

ANEXO B. LEVANTAMIENTO

El presente proyecto de pregrado implicó dos etapas importantes: La primera de ellas abordó la restauración del equipo Sputtering de tres (3) blancos de la universidad del Cauca, el cual se encontraba inservible tanto electrónicamente como mecánicamente al iniciar el proyecto. En la segunda etapa se creó una propuesta de automatización, utilizando como recursos de instrumentación, normas y estándares internacionales para procesos industriales, apoyándose de la funcionalidad actual del sistema, fruto de los logros de la etapa inicial y que hoy en día permite el crecimiento de películas delgadas por Sputtering DC en la universidad. Este apartado resume el trabajo realizado y necesario para la puesta a punto del equipo Sputtering de tres (3) blancos y se detalla a continuación.

LIMPIEZA DE COMPONENTES:

Debido a la gran cantidad de químicos, agua y barro presentes en la bodega de importación nacional durante la estancia del sistema y al tiempo en que permaneció bajo estas condiciones, se evidencia el estado de los elementos, equipos e instrumentos al momento de llegar por primera vez a la universidad del Cauca. Ver desde la Figura B.1 hasta la Figura B.14.

ANTES:



Figura B.1. Cañón-magnetron
vista lateral



Figura B.2. Cañón-
magnetron vista aérea



Figura B.3. Cañón-magnetron
vista inferior



Figura B.4. Pasa muro en acordeón vista lateral



Figura B.5. Pasa muro en acordeón vista aérea



Figura B.6. Base Cañón-magnetrón

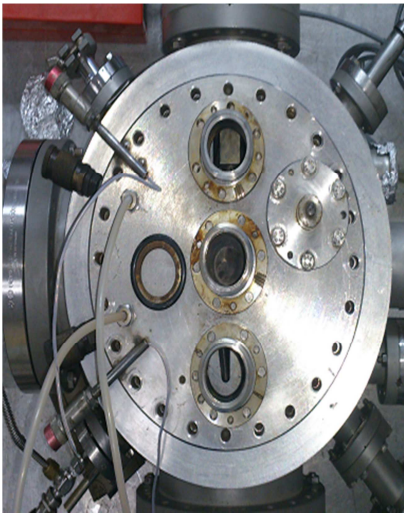


Figura B.7. Vista aérea tapa superior cámara de vacío

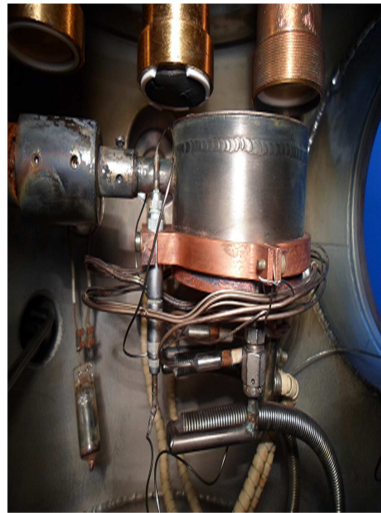


Figura B.8. Vista lateral horno y blancos



Figura B.9. Acople de tubería



Figura B.10. Vista frontal gabinete control de temperatura

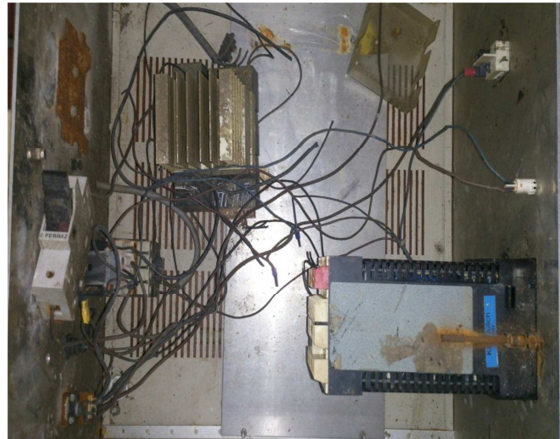


Figura B.11. Vista interna gabinete control de temperatura



Figura B.12. Conector de cables fuente de poder



Figura B.13. Acople de tubería



Figura B.14. Abrazaderas y acoples de tuberías

Después de arduas labores de limpieza y mantenimiento se evidencia el estado actual de los elementos, equipos e instrumentos, ver desde la Figura B.15 hasta Figura B.25.

DESPUÉS:



Figura B.15. Base cañón-magnetron



Figura B.16. Cañón-magnetron



Figura B.17. Pasa muro en acordeón vista lateral



Figura B.18. Pasa muro en acordeón vista aérea

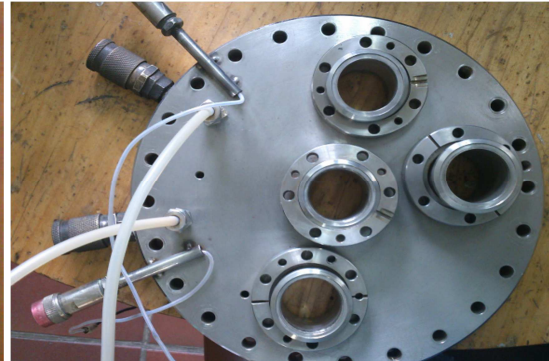


Figura B.19. Vista aérea tapa superior cámara de vacío



Figura B.20. Conector de cables fuente de poder



Figura B.21. Tapa de pasa muro



Figura B.22. Vista Horno e interior cámara de vacío



Figura B.23. Acople de tuberías



Figura B.24. Vista frontal gabinete control temperatura



Figura B.25. Acople cámara de vacío cañón- magnetrón

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Una vez ensamblado y acondicionado el equipo Sputtering de tres (3) blancos, con ayuda del Profesor Wilhem Evers del centro de investigación de Jülich-Alemania, se procedió a realizar todas las pruebas necesarias para el encendido y correcto funcionamiento del equipo.

La primera prueba realizada fue la prueba de vacío en donde se incluyó la calibración del sensor de presión pirani y el indicador analógico de presión Thermotron TM 120, mediante los potenciómetros de configuración ubicados físicamente en cada instrumento y ajustados con destornillador tipo pala, ver Figura B.26 y Figura B.27, para esto se utilizó como base

la presión atmosférica y una presión de vacío base de 1×10^{-2} del sistema de Sputtering RF de la universidad del Cauca que cuenta con su propio sensor e indicador de vacío.



Figura B.26. Resaltado en rojo potenciómetro de calibración del indicador analógico de presión Thermotron TM 120



Figura B.27. Resaltados en rojo potenciómetros de calibración del sensor pirani

Posteriormente se instalaron en la cámara de vacío el sensor y el indicador de presión, ambos ya calibrados y se realizó pruebas para la identificación de fugas y el correcto funcionamiento de la bomba mecánica de vacío y bomba Turbomolecular de vacío ver Figura B. 28 y Figura B.29, en esta instancia se cambió de empaques tipo orrín de goma y cobre, ver Figura B.30 y Figura B.31, procedimiento de mucha importancia y del cual depende el nivel final de vacío de la cámara de crecimiento multicapa de películas delgadas ⁽¹⁾.



Figura B. 28. Primeras fugas detectadas, debidas a orrín de cobre sucio y/o reutilizado. Fuente propia

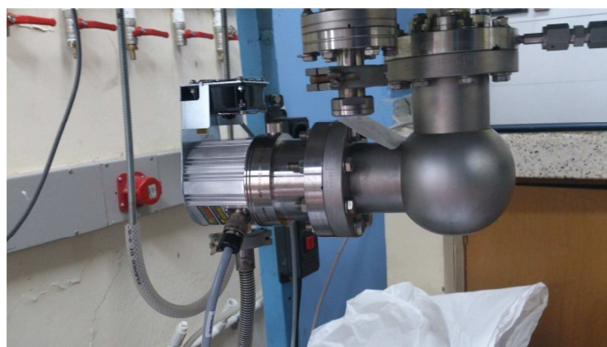


Figura B.29. Bomba Turbomolecular de vacío ensamblada por primera vez. Fuente propia

¹En la práctica el orín de goma es reutilizable y el orín de cobre no.



Figura B.30. Dos (2) orrin de cobre nuevos, Fuente propia



Figura B.31. Orrin de goma nuevo. Fuente propia

La prueba del sistema de temperatura fue la segunda realizada, aquí se debió conectar y organizar el controlador de temperatura, el tiristor, los bombillos indicadores y los switches de encendido y calefacción dentro de un gabinete de conexiones con panel frontal de trabajo, según sección 3.3.2, ver Figura B.32.



Figura B.32. Panel frontal del sistema de control de temperatura; controlador de temperatura, Swichts de encendido y calefacción y bombillo indicador de calefacción. Fuente propia

Antes de encender por primera vez es sistema de temperatura, se realizó un mantenimiento del horno, ver la Figura B.33, Figura B.34, Figura B.35 y Figura B.36 y se procedió a ordenar sus cables en el interior de la cámara de vacío.



Figura B.33. Interior del Horno



Figura B.34. Parte inferior del Horno

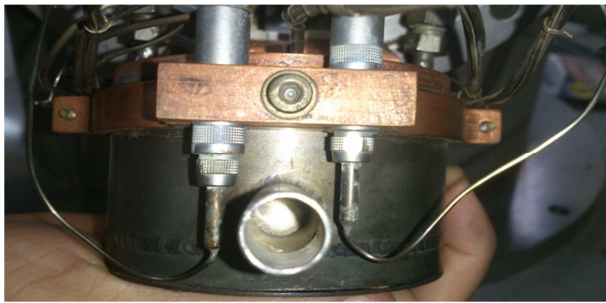


Figura B.35. Parte lateral del Horno



Figura B.36. Cables Horno

Se caracterizó la respuesta del horno ante distintos niveles de potencia y ratas de calentamiento, para calcular los parámetros (Hb U, OPHI , DrA.t, HY 1 a HY 4) más idóneos del controlador Eurotherm 2404 (siguiendo el procedimiento sugerido en el manual de operaciones), se acondiciono un gabinete donde se realizó todas las conexiones eléctricas y se adecuo un panel frontal de trabajo para el operario, ver Figura B.37.



Figura B.37. Panel de control de temperatura funcionando en momento de caracterización.
Fuente propia

La revisión al sistema de refrigeración fue la tercera prueba de funcionamiento, la cual consistió en verificar conexiones y el correcto funcionamiento del indicador de flujo de agua tipo molinete, ver Figura B.38 y Figura B.39.

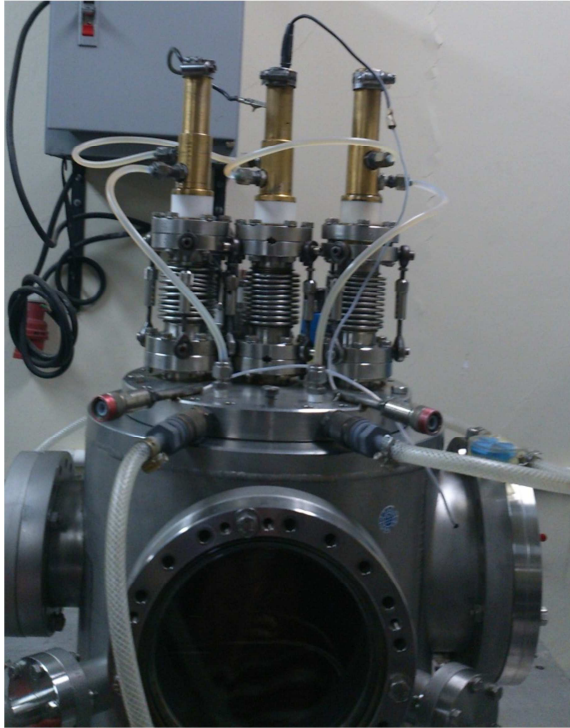


Figura B.38. Conexiones de mangueras de refrigeración cañones-magnetrones.
Fuente propia

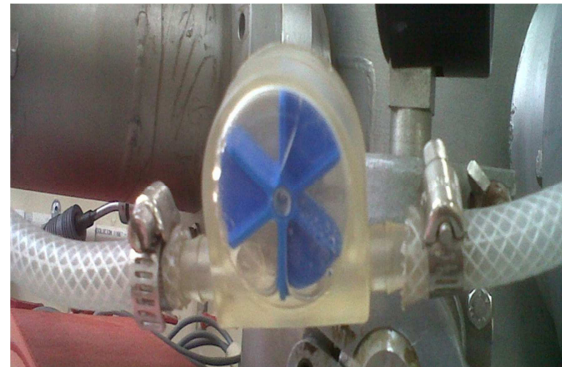


Figura B.39. Indicador de flujo tipo molinete en perfecto estado.
Fuente propia

La cuarta prueba realizada fue la prueba del sistema de voltaje, en esta instancia se verificó resistencia y continuidad en cada uno de los componentes de la cámara de vacío, especialmente en los cañones-magnetrones, en los cuales hay especial cuidado pues su interior (porta blanco y blanco) debe ir aislado de su exterior (base y base sujetadora del cañón-magnetron) y en esto radica gran parte del éxito en el crecimiento del plasma.

Se realizó el encendido de la fuente negativa de voltaje PCN 600 y se midió con un multímetro digital valores de voltajes menores a -500 Voltios, todo esto antes de conectar la fuente a equipo Sputtering, ver Figura B.40, una vez verificado su correcto funcionamiento se procedió a conectar la fuente de poder a los cañones magnetrones, ver Figura B.41.



Figura B.40. Evidencia de las primeras pruebas de la fuente PCN600 en el equipo Sputtering.
Fuente propia



Figura B.41. Instalación del cableado desde la fuente al cañón-magnetron.
Fuente propia

Para finalizar se determinó con la última prueba, que la bala de gas a utilizar era la de oxígeno como gas de proceso y reactivo al mismo tiempo, debido a que favorecería los crecimientos de películas delgadas propuestos en el actual proyecto.

Después de las pruebas de funcionamiento y los primeros crecimientos de películas delgadas exitosos, se realizó una entrega formal del sistema Sputtering de tres blancos a la universidad el día 12 de diciembre del año 2013, en presencia del vicerrector de investigaciones, prensa de la Universidad del Cauca, profesores y alumnos, ver Figura B.42, actualmente el equipo esta adecuado y listo para realizar crecimientos de películas delgadas, ver Figura B.43.



Figura B.42. Entrega del sistema en funcionamiento a la universidad.
Fuente [35]

El día 17 de diciembre se reportó la inauguración del sistema en el periódico “EL NUEVO LIBERAL”, redes sociales y página oficial de la universidad del Cauca [35].



Figura B.43. Vista Equipo Sputtering actualmente (enero 2014)
Fuente propia

ANEXO C. DIAGRAMAS REDES DE PETRI

En este anexo se encuentra una explicación detallada de las redes de Petri que son una base fundamental para la programación del PLC Micrologix 1200.

REDES DE PETRI

La red de Petri del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas corresponde al algoritmo de programación que será cargado en el PLC Micrologix 1200, consta de 15 transiciones y 32 lugares, tal como se muestra en la Figura C.1 y se especifica en la Tabla C.3 y Tabla C.4

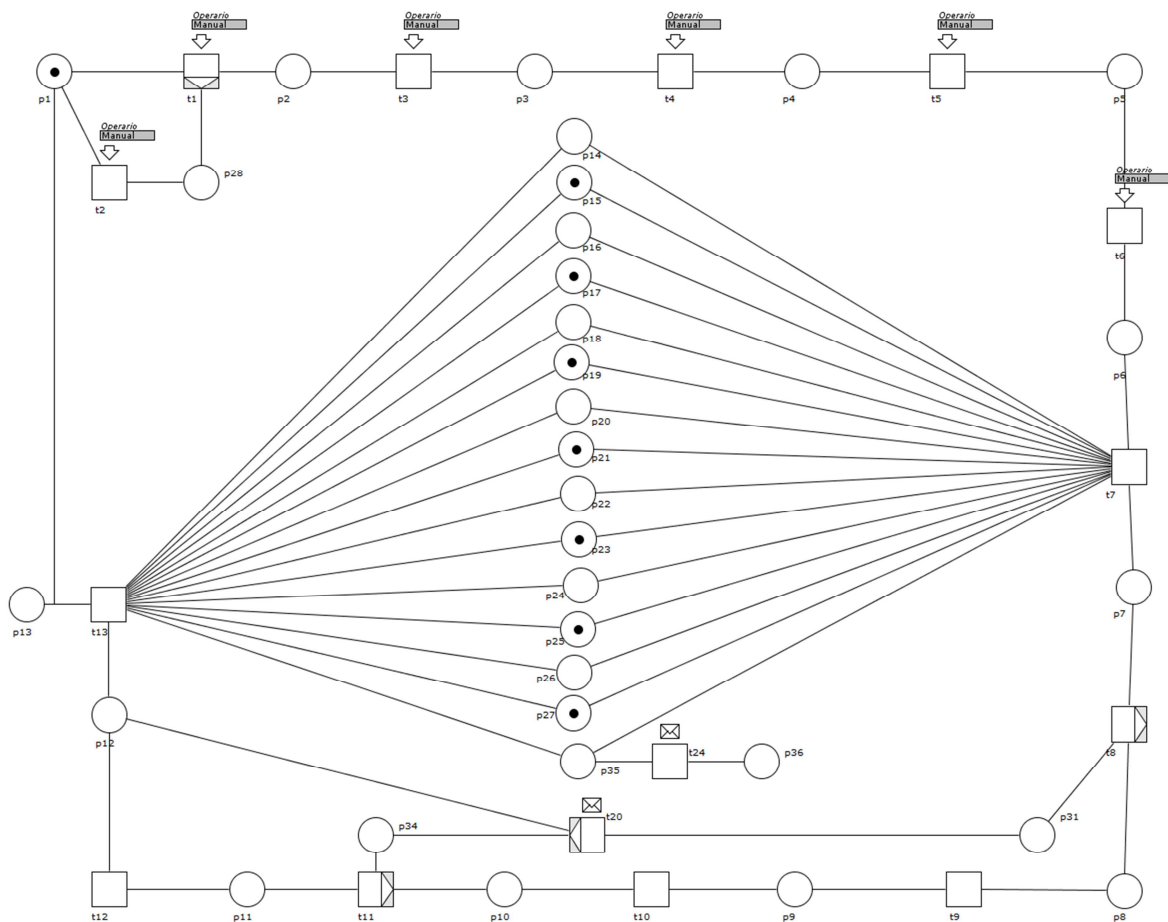


Figura C.1. Red de Petri del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.
[Fuente propia].

Tabla C.1. Transiciones de la Red de Petri del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.

[Fuente propia].

ID	NOMBRE
Principales	
t1	Verificar disponibilidad de elementos
t2	Conseguir elementos faltantes
t3	Extraer componentes de la cámara de vacío
t4	Limpiar componentes de la cámara de vacío
t5	Alistar sustrato
t6	Ubicar componentes y materia prima al interior de la cámara de vacío
t7	Pulverizar Blanco1
t8	Crece película delgada1
t9	Finalizar plasma1
t10	Pulverizar Blanco2
t11	Crece película delgada2
t12	Finalizar plasma2
t13	Extraer material
Secundaria	
t14	Activar alarma de fallo plasma apagado.
t15	Activar alarma de fallo en la refrigeración del equipo.

Tabla C.2. Lugares de la Red de Petri del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.

[Fuente propia].

ID	NOMBRE
Primarias	
p1	Inicio
p2	Elementos verificados y completos.
p3	Componentes de la cámara de vacío extraídos
p4	Componentes de la cámara de vacío limpios
p5	Sustrato listo
p6	Componentes y materia prima listo en el interior de la cámara de vacío
p7	Blanco 1 pulverizado
p8	Película delgada 1 creciendo
p9	Plasma 1 finalizado
p10	Blanco 2 pulverizado
p11	Película delgada 2 creciendo
p12	Plasma finalizado
p13	Fin material extraído
Secundarias	
p14	Válvula de flujo de paso de agua abierta
p15	Válvula de flujo de paso de agua cerrada
p16	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos activados
p17	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos desactivados
p18	Bomba mecánica encendida
p19	Bomba mecánica apagada
p20	Turbomolecular encendida
p21	Turbomolecular apagada
p22	Válvula de flujo de oxígeno abierta
p23	Válvula de flujo de oxígeno cerrada
p24	Modulo equipo fuente de voltaje encendido
p25	Modulo equipo fuente de voltaje apagado
p26	Modulo equipo de temperatura encendido

p27	Modulo equipo de temperatura apagado
p28	Elementos verificados incompletos
p29	Plasma apagado
p30	Plasma apagado
p31	Flujo de agua continuo
p32	Alarma activada de fallo en modulo equipo de enfriamiento.
p33	Alarma activada de fallo Plasma apagado

Transiciones.

La red de Petri tiene 13 transiciones principales las cuales corresponden a las operaciones del modelo de control procedimental de ISA S88 propuesto en el capítulo 2 de la monografía: Verificar disponibilidad de elementos, Conseguir elementos faltantes, Extraer componentes de la cámara de vacío, Limpiar componentes de la cámara de vacío, Alistar sustrato, Ubicar componentes y materia prima al interior de la cámara de vacío, Pulverizar Blanco1, Crecer película delgada1, Finalizar plasma1, Pulverizar Blanco2, Crecer película delgada2, Finalizar plasma2 y Extraer material. Se tiene 2 transiciones secundarias que son de vital importancia en el proceso ya que son las alarmas de fallo en el proceso: Activar alarma de fallo en la refrigeración del equipo y Activar alarma de fallo en la refrigeración del equipo.

A continuación se da una explicación de cada uno de las transiciones del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas: las transiciones, Verificar disponibilidad de elementos, Extraer componentes de la cámara de vacío, Limpiar componentes de la cámara de vacío, Alistar sustrato, Ubicar componentes y materia prima al interior de la cámara de vacío, son totalmente manuales y no están en los requerimientos de automatización de manera que no se modelan individualmente en redes de Petri al contrario de las transiciones Pulverizar Blanco1, Crecer película delgada1, Finalizar plasma1, Pulverizar Blanco2, Crecer película delgada2, Finalizar plasma2 y Extraer material, son transiciones que van a ser automatizados dependiendo de los requerimientos de automatización que fueron vistos en la monografía sección 2.4 por lo tanto cada una de las transiciones serán modeladas en Sub redes de Petri.

Transiciones manuales:

1. t1: Verificar disponibilidad de elementos, se verifican que este todos los materiales equipos y herramientas necesarias en el proceso.
2. t3: Extraer componentes cámara de vacío, se retiran los componentes de la cámara de vacío.
3. t4: Limpiar componentes de la cámara de vacío, se realiza una limpieza de cada uno de los componentes para que no halla contaminación durante el proceso.
4. t5: Alistar sustrato: Se realiza una limpieza al sustrato.
5. t6: Ubicar componentes y materia prima al interior de la cámara de vacío, se ponen los componentes y la materia prima dentro de la cámara de vacío en su lugar y de manera correcta.

Transiciones automáticas:

6. t7: Pulverizar Blanco1, esta transición es una sub red de Petri Figura C.2. y se especifica en la Tabla C.3 y Tabla C.4. Compuesta por las fases que conforman la operación Pulverizar Blanco1 del modelo de control procedimental. En esta transición la sub red de Petri inicia activando el módulo equipo de refrigeración para suministrar agua a los equipos que lo necesitan; posteriormente, se cumplen las condiciones necesarias para generar y mantener el plasma a lo largo del proceso, a continuación se le realiza a los blancos una limpieza de toda impureza dejando listo el material para el crecimiento de la capa de película delgada. En caso de apagarse el plasma en esta transición se activa una alarma de fallo de plasma apagado lo que obliga al operario a seguir un protocolo para iniciar nuevamente algunas fases de esta transición para mayor información ver Anexo D.

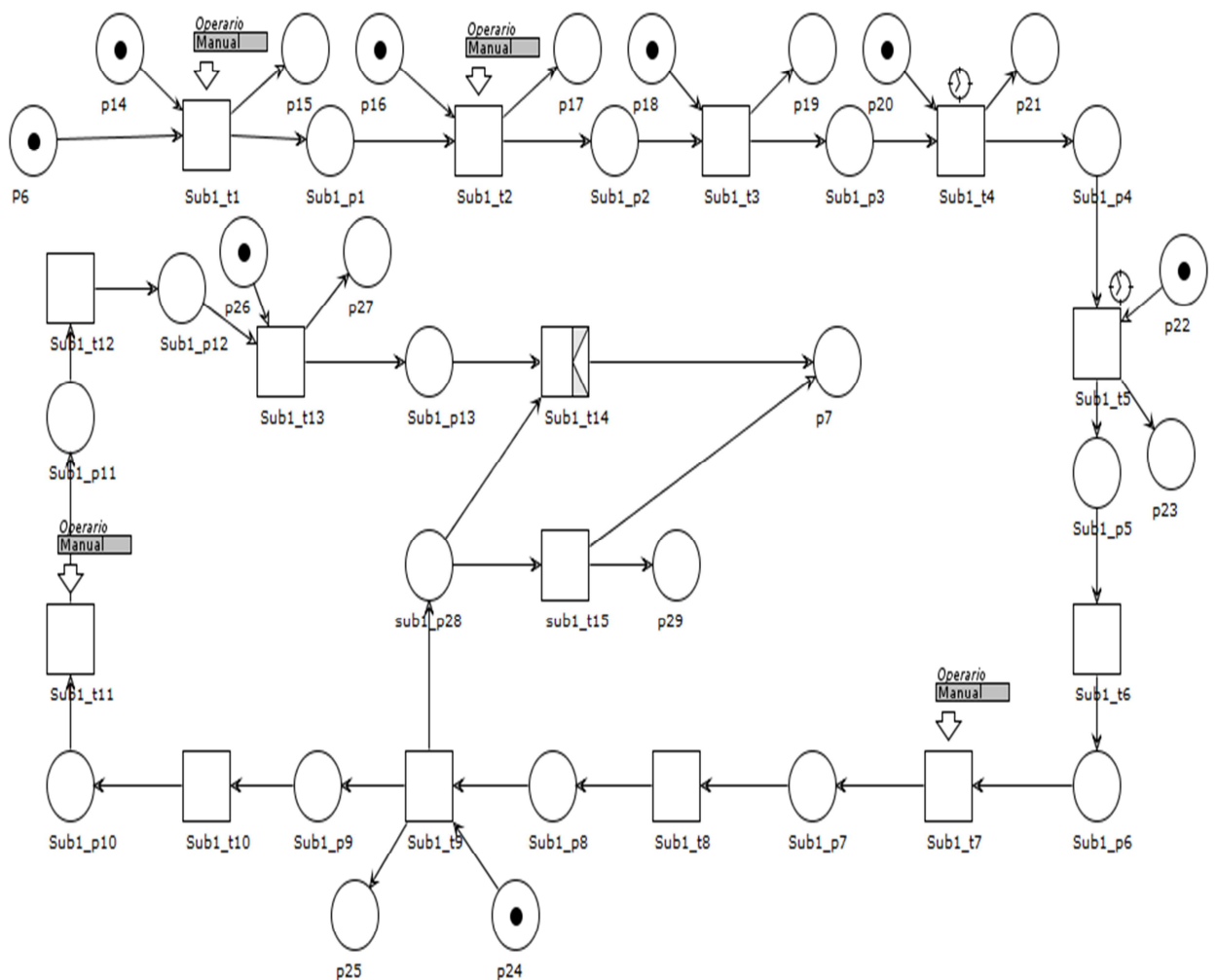


Figura C.2. Sub Red de Petri pulverizar blanco 1.
[Fuente propia].

Tabla C.3. Transiciones de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1 [Fuente propia].

IDE	NOMBRE
sub1_t1	Abr_val_H2O
sub1_t2	Act_brea_sis_spu
sub1_t3	Enc_bom_mec
sub1_t4	Enc_bom_turb
sub1_t5	Act_mod_oxi
sub1_t6	Mov_hor_magRF
sub1_t7	Ing_oxi
sub1_t8	Con_cab_fuen_mag1
sub1_t9	Enc_mod_equ_fuen
sub1_t10	Obs_man_plas
sub1_t11	Man_pla_cont
sub1_t12	Dis_cont_pre_cam_vac
sub1_t13	Enc_Mod_Equ_tem
sub1_t14	Acon_plas.
Sub1_t15	Alarma de fallo plasma apagado

Tabla C.4. Lugares de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1 [Fuente propia].

IDE	NOMBRE
p6	Componentes y materia prima listos al interior de la cámara.
sub1_p1	Válvula de flujo de paso de H2O abierta.
Sub1_p2	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos activados
sub1_p3	Bomba mecánica encendida
sub1_p4	Turbomolecular encendida
sub1_p5	Válvula de fulo de oxigeno abierta
sub1_p6	Horno en posición del Cañon-magnetron RF
sub1_p7	Ingreso súbito de oxigeno
sub1_p8	Cable conectado en le magnetrón 1
sub1_p9	Modulo equipo de voltaje encendido
sub1_p10	Plasma observado
sub1_p11	Plasma mantenido
sub1_p12	Presión de la cámara de oxígeno en 3 mbar.
sub1_p13	Modulo equipo de temperatura encendido
sub1_p28	Plasma presente.
sub1_p29	Activada alarma de fallo plasma apagado.
P7	Condiciones necesarias completas
sub1_p14	Válvula de flujo de paso de agua abierta
sub1_p15	Válvula de flujo de paso de agua cerrada
sub1_p16	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos activados
sub1_p17	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos desactivados
sub1_p18	Bomba mecánica encendida
sub1_p19	Bomba mecánica apagada
sub1_p20	Turbomolecular encendida
sub1_p21	Turbomolecular apagada
sub1_p22	Válvula de flujo de oxigeno abierta
sub1_p23	Válvula de flujo de oxigeno cerrada
sub1_p24	Modulo equipo fuente de voltaje encendido
sub1_p25	Modulo equipo fuente de voltaje apagado
sub1_p26	Modulo equipo de temperatura encendido
sub1_p27	Modulo equipo de temperatura apagado

- t8: Crecer película delgada1, esta transición es una sub red de Petri, ver Figura C.3 y se especifica en la Tabla C.5 y la Tabla C.6. Compuesta por las fases de la operación Crecimiento de película delgada 1 del modelo de control procedimental. En esta transición se mueve la Perilla_horno del módulo equipo de posición horizontal del horno de manera que el horno permita la visión entre el blanco Uno (1) y el sustrato, se realiza una

verificación continua de que siempre halla presencia de plasma luego se hace un acondicionamiento del plasma de ser necesario y se espera un tiempo de fabricación de dos (2) horas, a partir de lograr las condiciones de distancia entre el blanco y el sustrato, temperatura del horno, flujo de entrada de oxígeno, voltaje aplicado al magnetrón y presión al interior de la cámara. En caso de apagarse el plasma en esta transición se activa una alarma de fallo de plasma apagado lo que obliga al operario a seguir un protocolo para iniciar nuevamente el proceso para mayor información ver Anexo D.

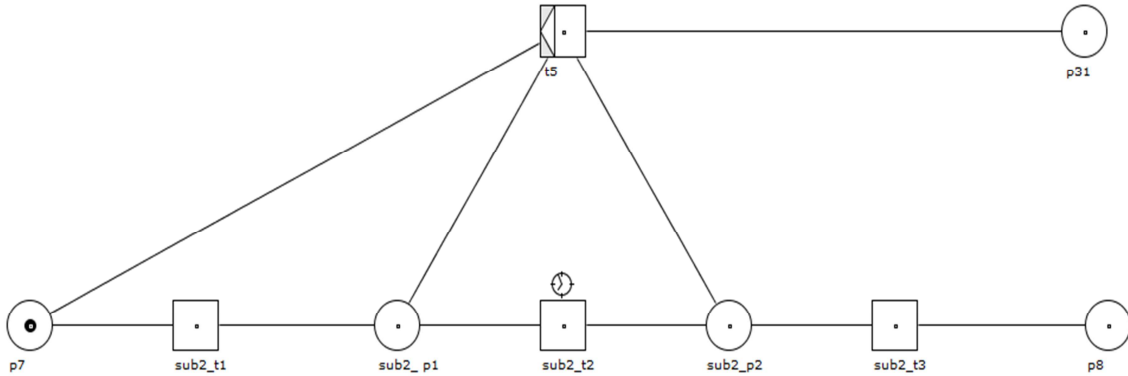


Figura C.3. Sub Red de Petri crecimiento película delgada 1. [Fuente propia].

Tabla C.5. Transiciones de la sub Red de Petri crecimiento película delgada 1. [Fuente propia].

IDE	NOMBRE
sub2_t1	Mov_per_hor_blan1
sub2_t2	Acon_plas
sub2_t3	Esp_tiem_fab
sub2_t4	Ver_plas

Tabla C.6. Lugares de la sub Red de Petri crecimiento películas delgadas 1. [Fuente propia].

IDE	NOMBRE
p7	Blanco 1 pulverizado
sub2_p1	Horno posicionado
sub2_p2	Plasma acondicionado
p8	Película delgada 1 creciendo
P31	Plasma apagado.

- t9: Finalizar plasma 1, esta transición es una sub red de Petri, ver Figura C.4 y se especifica en la Tabla C.7 y la Tabla C.8. Compuesta por las fases de la operación Finalizar plasma 1 del modelo de control procedimental. En todo momento de esta transición se verificar el flujo continuo de agua, luego se procede a programar el voltaje en (0 V) y no se envía voltaje al cañón-magnetron uno (1), se desconecta el cable de salida de la fuente de voltaje del cañón-magnetron uno (1), luego se programa el modulo equipo de temperatura a los siguientes parámetros SP dos (2) = 550°C, rata de enfriamiento 10°C por minuto para finalizar se espera a que trascurra un tiempo de sellado del material de diez (10) minutos y se programa el modulo equipo de temperatura en 0°C.

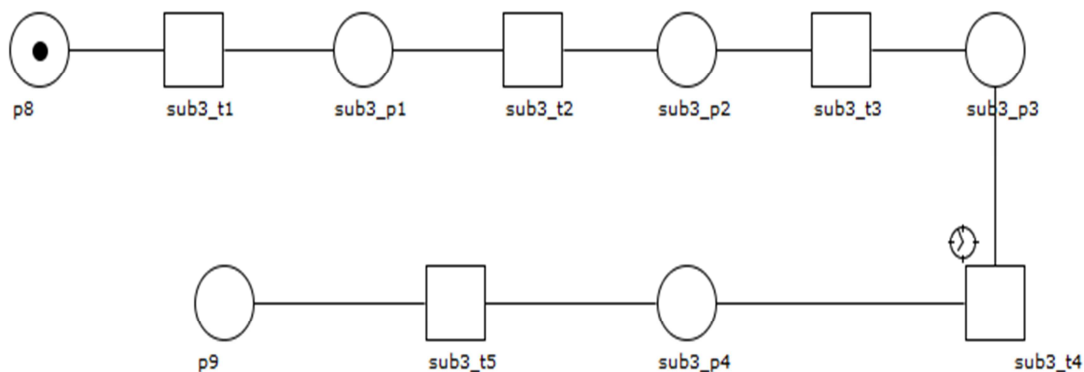


Figura C.4. Sub Red de Petri finalizar plasma 1.
[Fuente propia].

Tabla C.7. Transiciones de la sub Red de Petri finalizar plasma 1.
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
sub3_t1	Quit_volt_mag1.
sub3_t2	Des_cab_mag1
sub3_t3	Pro_tem_enfr
sub3_t4	Esp_tiem-sell_mat
sub3_t5	Pro_mos_tem_0°C

Tabla C.8. Lugares de la sub Red de Petri finalizar plasma 1.
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
p8	Película delgada 1 creciendo
sub3_p1	Voltaje retirado
sub3_p2	Cable desconectado
sub3_p3	Control de temperatura programado
sub3_p4	Tiempo de sellado finalizado
p9	Plasma 1 finalizado

- t10: Pulverizar Blanco2, esta transición es una sub red de Petri, ver Figura C.5. y se especifica en la Tabla C.9 y Tabla C.10. Compuesta por las fases que conforman la operación Pulverizar Blanco 2 del modelo de control procedimental. En esta transición se mueve la Perilla_horno del módulo equipo de posición horizontal del horno hasta que el horno quede alineado verticalmente con el magnetrón RF uno (1), lo siguiente es manipular la válvula de flujo de oxígeno para ingresar súbitamente este gas hasta que la presión de la cámara este en el rango (1*10-1 mbar - 1 mbar), para generar el plasma, se conecta el cable de salida de la fuente de voltaje al cañón-magnetron DC dos (2), luego procedemos a programar el modulo equipo de voltaje a (450 V) se le aplica voltaje al cañón-magnetron DC dos (2) y se controlar esta condición hasta generar el Plasma, el operario debe observar si se creó el plasma. mantiene el plasma y controla el voltaje en (310 V) y la corriente en (90 mA), en toda la transición el operario debe estar verificando que haya plasma, manipula la válvula de entrada de oxígeno a la cámara para disminuir y controlar la presión de la cámara en (3 mbar) hasta finalizar el proceso, programa el modulo equipo de temperatura, a los siguientes parámetros SP uno (1) en ---°C, rata de calentamiento en 15°C por minuto, (El valor de la temperatura del horno se admite como el valor de la temperatura del sustrato) y por ultimo acondiciona el plasma. En caso de apagarse el plasma en esta transición se activa una alarma de fallo de

plasma apagado lo que obliga al operario a seguir un protocolo para iniciar nuevamente algunas fases de esta transición para mayor información ver Anexo D.

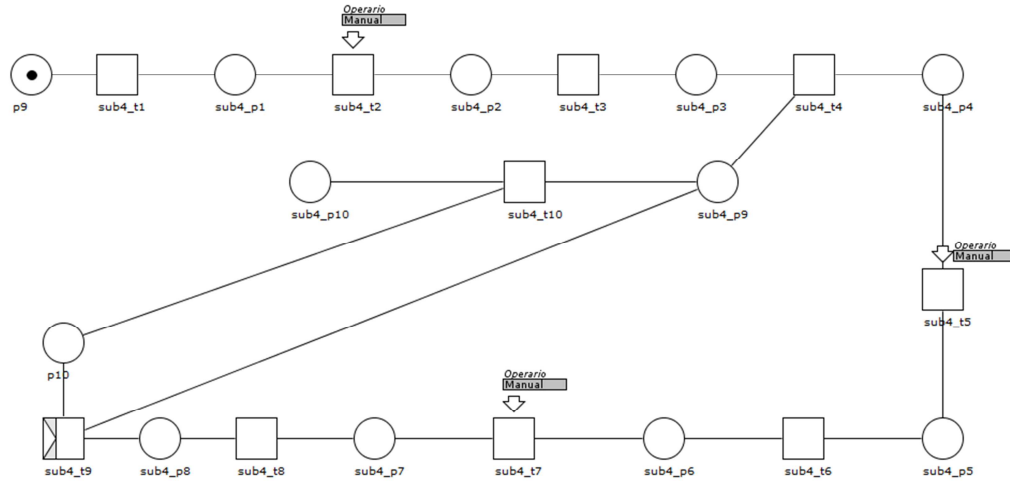


Figura C.5. Sub Red de Petri pulverizar blanco 2.
[Fuente propia].

Tabla C.9. Transiciones de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
sub4_t1	Mov_hor_magRF
sub4_t2	Man_pres_cam_vac
sub4_t3	Con_cab_fuen_mag2
sub4_t4	Pro_Vol_apli_Mag2
sub4_t5	Obs_man_plas
sub4_t6	Man_pla_cont
sub4_t7	Dis_cont_pre_cam_vac
sub4_t8	Enc_Mod_Equ_tem
sub4_t9	Acon_plas
sub4_t10	Ver_plas

Tabla C.10. Lugares de la sub Red de Petri pulverizar blanco 1
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
P9	Plasma 1 finalizado
sub4_p1	Horno posicionado
sub4_p2	Presión constante en la cámara de vacío.
sub4_p3	Cable conectado en le magnetrón 1
sub4_p4	Modulo equipo de voltaje encendido
sub4_p5	Plasma observado
sub4_p6	Plasma mantenido
sub4_p7	Cable conectado en el magnetrón 1
sub4_p8	Modulo equipo temperatura encendido
sub4_p9	Plasma acondicionado
sub4_p10	Plasma verificado
P10	Blanco 2 pulverizado

- t11: Crecer película delgada2, esta transición es una sub red de Petri, ver Figura C.6 y se especifica en la Tabla C.5 y la Tabla C.6. Compuesta por las fases de la operación Crecimiento de película delgada 2 del modelo de control procedimental. En esta transición se posiciona la Perilla_horno del módulo equipo de posición horizontal del horno de manera que el horno permita la visión entre el blanco dos (2) y el sustrato, el operario debe estar observando el plasma en todo momento para que así no valla a ver ninguna falla en el proceso por motivo de que se apague el plasma. Se recomienda acondicionar el plasma si es necesario, se espera un tiempo de fabricación de tres (3) horas, a partir de lograr las condiciones de distancia entre el blanco 2 y el sustrato, temperatura del horno, flujo de entrada de oxígeno, voltaje aplicado al magnetrón y presión al interior de la cámara. En caso de apagarse el plasma en esta transición se activa una alarma de fallo de plasma apagado lo que

obliga al operario a seguir un protocolo para iniciar nuevamente el proceso para mayor información ver Anexo D.

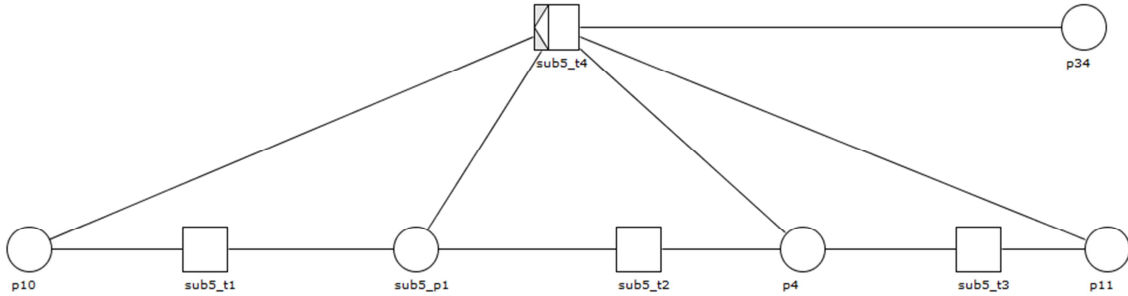


Figura C.6. Sub Red de Petri crecimiento película delgada 2.
[Fuente propia].

Tabla C.11. Transiciones de la sub Red de Petri crecimiento película delgada 2.
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
Sub5_t1	Mov_per_hor_blan2
Sub5_t2	Acon_plas
Sub5_t3	Esp_tiem_fab
Sub5_t4	Ver_plas

Tabla C.12. Lugares de la sub Red de Petri crecimiento películas delgadas 2.
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
P10	Blanco 2 pulverizado
Sub5_p1	Horno posicionado
Sub5_p2	Plasma acondicionado
P11	Película delgada 2 creciendo
P34	Plasma apagado.

11. t12: Finalizar plasma 2, esta transición es una sub red de Petri, ver Figura C.7y se especifica en la Tabla C.13 y la Tabla C.12. Compuesta por las fases de la operación Finalizar plasma 2 del modelo de control procedimental. En esta transición se procede a programar el voltaje en (0 V) y no se manda voltaje al cañón-magnetron DC dos (2), se desconectar el cable de salida de la fuente de voltaje del cañón-magnetron DC dos (2) y se programa modulo equipo de temperatura a los siguientes parámetros SP dos (2) = 550°C, rata de enfriamiento 10°C por minuto por último se esperar a que trascurra un tiempo de sellado del material de diez (10) minutos.

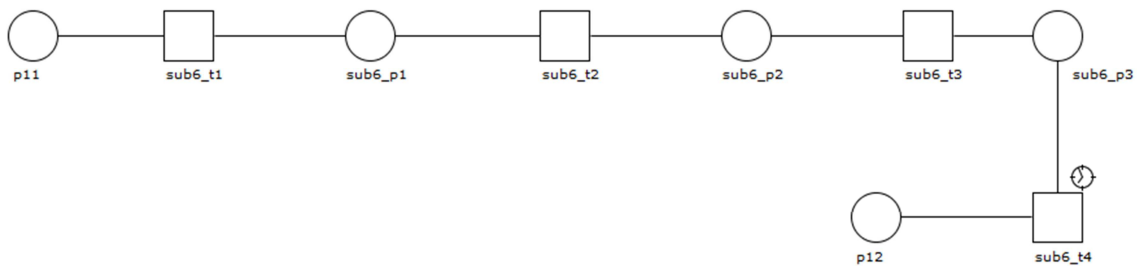


Figura C.7. Sub Red de Petri finalizar plasma 2.
[Fuente propia].

Tabla C.13. Transiciones de la sub Red de Petri finalizar plasma 2.
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
sub6_t1	Quit_volt_mag2.
sub6_t2	Des_cab_mag2
sub6_t3	Pro_tem_enfr
sub6_t4	Esp_tiem-sell_mat

Tabla C.14. Lugares de la sub Red de Petri finalizar plasma 2.
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
p11	Película delgada 2 creciendo
sub6_p1	Voltaje retirado
sub6_p2	Cable desconectado
sub6_p3	Control de temperatura programado
p12	Plasma 2 finalizado

12. t13: Extraer material, esta transición es una sub red de Petri, ver Figura C.8y se especifica en la Tabla C.15 y la Tabla C.16. Compuesta por las fases de la operación Extraer material del modelo de control procedimental. Esta es la última transición del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas. En esta transición se apagar el modulo equipo de temperatura, el modulo equipo de voltaje, se cierra la válvula de flujo del módulo equipo de oxígeno, se apaga bomba turbomolecular, la bomba mecánica, se desactivan los breakers del equipo Sputtering de 3 blancos, se cierra la válvula del módulo equipo de refrigeración, se permitir el ingreso de aire en la cámara abriendo la válvula gasificadora de la cámara y como última fase se extrae el material fabricado.

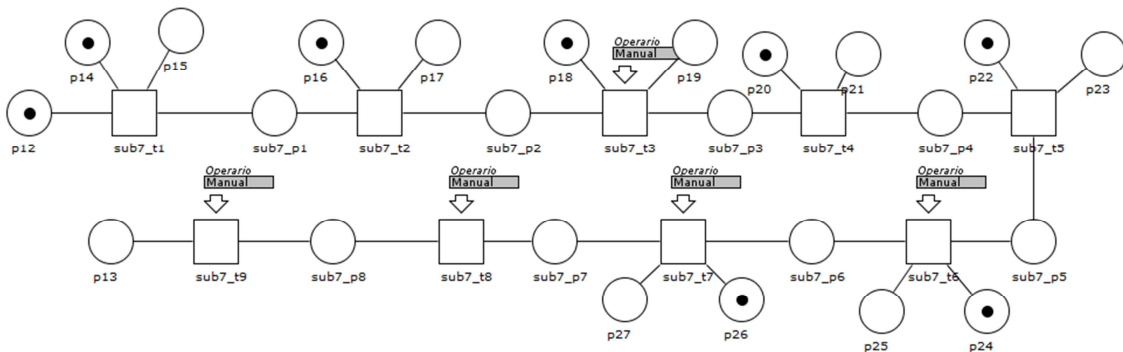


Figura C.8. Sub Red de Petri extraer material.
[Fuente propia].

Tabla C.15. Transiciones de la sub Red de Petri extraer material,
[Fuente propia].

Tabla C.16. Lugares de la sub Red de Petri extraer material.
[Fuente propia].

IDE	NOMBRE
sub7_t1	Apa_mod_tem
sub7_t2	Apa_volt
sub7_t3	Cerr_val_oxi
sub7_t4	Apa_bom_tru
sub7_t5	Apa_bom_mec
sub7_t6	Des_bre_sput
sub7_t7	Cerr_val_equ_ref
sub7_t8	Per_air_cam-vac
sub7_t9	Extr_mat_fab

IDE	NOMBRE
p12	Plasma finalizado.
sub7_p1	Modulo equipo de temperatura apagado
sub7_p2	Modulo equipo fuente de voltaje apagado
sub7_p3	Válvula de flujo de paso de H2O cerrada
sub7_p4	Turbomolecular apagada
sub7_p5	Bomba mecánica apagada
sub7_p6	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos desactivados
sub7_p7	Válvula de flujo de paso de agua cerrada
sub7_p8	Cámara de vacío llena de aire.
p13	Fin material extraído
sub1_p14	Válvula de flujo de paso de agua abierta
sub1_p15	Válvula de flujo de paso de agua cerrada
sub1_p16	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos activados
sub1_p17	Breakers del equipo Sputtering de tres (3) blancos desactivados
sub1_p18	Bomba mecánica encendida
sub1_p19	Bomba mecánica apagada
sub1_p20	Turbomolecular encendida
sub1_p21	Turbomolecular apagada
sub1_p22	Válvula de flujo de oxígeno abierta
sub1_p23	Válvula de flujo de oxígeno cerrada
sub1_p24	Modulo equipo fuente de voltaje encendido
sub1_p25	Modulo equipo fuente de voltaje apagado
sub1_p26	Modulo equipo de temperatura encendido
sub1_p27	Modulo equipo de temperatura apagado

ANEXO D. PROCEDIMIENTO DE CRECIMIENTO MULTICAPA DE PELÍCULAS DELGADAS MODELADO CON ISA S 88

El procedimiento que se detalla en la Tabla D.1, presenta la información del procedimiento de crecimiento multicapa de películas delgadas por Magnetron Sputtering DC, aplicando las directrices dadas por ISA S88 parte 1 y desarrollado en el presente trabajado de pregrado. La Tabla D.1 relaciona el modelo de proceso de la sección 2.3.1 del capítulo 2, con las fases del modelo de control procedimental sección 2.3.3 del capítulo 2, además de las recomendaciones de seguridad del equipo y el operario, manipulación de los componentes internos de la cámara, así como indicaciones de uso de los equipos.

El procedimiento que se detalla en la Tabla D.1, utiliza los valores de los parámetros de crecimiento multicapa de las películas delgadas presentadas en la tabla 4.3 de la sección 4.2 del capítulo 4.

Tabla D.1. Proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas siguiendo la información dada por la norma ISA S88.

[Fuente propia].

Acciones de proceso	Fases	Recomendaciones
Verificación del suministro de agua.	Verifican si hay disponibilidad de agua de la red domiciliaria de la Universidad del Cauca.	Se debe abrir una de las llaves de agua domiciliaria que se encuentran en el laboratorio para observar si hay un flujo constante de agua.
Verificación del suministro de Energía eléctrica.	Verifican si hay energía eléctrica en el laboratorio FISBATEM.	Se debe encender las luces del laboratorio y observar si encienden o no para estar seguro de la presencia de la energía eléctrica.
Verificación de Gases.	Verifican disponibilidad de Gas argón.	Observar en los medidores que tiene cada una de las balas si hay el suficiente gas para trabajar durante todo el proceso.
	Verifican disponibilidad de Oxígeno.	
	Verifican disponibilidad de Gas nitrógeno.	
Verificación de Alcohol y acetona.	Verifican disponibilidad de Alcohol y acetona.	Observar si en los tarros destinados para guardar alcohol y acetona están disponibles estos productos.
Verificación de Herramientas.	Verifican disponibilidad de Herramienta.	
Adquisición de elementos faltantes.	Conseguir elementos faltantes.	En caso de que haga falta algún elemento, material, herramienta de los que se verifican anteriormente el operario debe buscar, comprar o conseguir dicho elemento para seguir con el proceso.
Tapas de la cámara de vacío son retiradas y ubicadas en lugar seguro y limpio.	Retirar los Pernos que aseguran la tapa Frontal de la cámara de vacío posteriormente retirar y ubicar la tapa y los pernos en lugar seguro y limpio.	Antes de retirar las tapas de la cámara de vacío del Sputtering de tres (3) blancos el operario debe tener en cuenta la recomendaciones para el cuidado de los equipos y el operario, lista de chequeo, y la planilla de registro correspondiente al proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas; esta información y listas correspondientes permiten la protección de la integridad y salud del operario y de los equipos de FISBATEM. Ver Anexo 3 (Manual del Proceso de crecimiento multicapa de Películas Delgadas en las secciones a, b, c y d:
	Retirar los Pernos que aseguran la tapa lateral de la cámara de vacío posteriormente retirar y ubicar la tapa y los pernos en lugar seguro y limpio.	

		<p>Recomendaciones previas al inicio del proceso, Lista de chequeo y Planilla de registro, respectivamente.</p> <p>Luego de revisada la información anterior y de realizar los registros correspondientes se procede a retirar las tapas de la cámara de vacío del Sputtering de tres (3) blancos.</p> <p>No tocar los bordes del cuerpo de la cámara de vacío, tampoco los bordes de las tapas.</p> <p>Para retirar los pernos que aseguran las tapas se debe utilizar las llave A y B.</p>
Portablancos retirados y puestos en lugar seguro y limpio.	Desenroscar los portablancos 1 y 2, sacarlos de la cámara de vacío y ponerlos en un lugar seguro y limpio.	La mesa de trabajo debe de estar cubierta con papel absorbente.
Limpieza de componentes retirados.	Rociar alcohol o acetona sobre los componentes retirados.	<p>Para limpiar los visores de la cámara, se debe rociar alcohol sobre todo el vidrio y limpiar con papel absorbente. No se debe lijar</p> <p>Para los demás componentes retirados se utiliza lija para agua H-98 P600.</p>
	Lijar de manera cuidadosa los componentes retirados.	
	Limpiar los componentes retirados.	
Limpieza de paredes y la base de la cámara de vacío.	Rociar alcohol o acetona sobre paredes, tapa superior y base de la cámara de vacío.	<p>Se rocía sobre ella suficiente alcohol tomando secciones pequeñas, se lija esta sección con firmeza de manera descendente e inmediatamente se limpia con el papel absorbente. Este proceso se debe repetir en la misma zona 2 veces en toda la pared interior de la cámara. Se toman secciones pequeñas, porque es alcohol industrial y se evapora rápidamente. Se debe hacer con firmeza, pero con cuidado.</p> <p>Durante el proceso de limpieza de la cámara y sus componentes se debe cambiar el papel absorbente por uno nuevo, de manera que no se limpie zonas con papel absorbente sucio.</p> <p>Lija para agua H-98 P600.</p> <p>Rociar y lijar con firmeza la parte inferior de la tapa superior de la cámara, se sugiere limpiarlo con papel absorbente y por secciones.</p> <p>Rociar alcohol al papel absorbente y limpiar la base de la cámara.</p> <p>Rociar alcohol y lijar suavemente la lámina horno, luego secar con papel absorbente.</p> <p>El portasustrato se rocía con alcohol, se lija y se limpia con papel absorbente.</p>
	Lijar de manera cuidadosa las paredes, la tapa superior y la base de la cámara de vacío.	
	Limpiar las paredes, la tapa superior y la base de la cámara de vacío.	
Limpieza de herramientas.	Rociar alcohol o acetona sobre las herramientas.	Rociar alcohol en las herramientas y limpiarlas con papel absorbente
	Limpiar las herramientas.	
Limpieza del	Agregar alcohol a un Becker.	Sacar la caja del armario que contiene el sustrato de

Sustrato.	Sumergir el sustrato en el Becker con alcohol, por un tiempo de diez (10) minutos.	-----.
	Agregar acetona en un Becker.	Sacar el sustrato de ----- de la caja.
	Sumergir el sustrato en el Becker con acetona, por un tiempo de diez (10) minutos.	El sustrato se coge con la pinza sustrato por los bordes.
	Poner agua en un recipiente y ubicarla en el interior del equipo de ultrasonido.	En un Becker (50 ml), se vierte alcohol industrial (20 ml) y se coge el sustrato con la pinza sustrato y se coloca al interior del Becker durante 1 min.
	Colocar el Becker que esta con la acetona y el sustrato dentro del equipo de ultrasonido y mantenerlo encendido durante un tiempo aproximado de veinte (20) minutos.	En un Becker (50 ml), se vierte cetona (20 ml) y se coge el sustrato con la pinza sustrato y se coloca al interior del Becker durante 1 min.
	Apagar el equipo ultrasonido.	Al extraer el sustrato de la cetona, este se debe envolver en papel absorbente y llevar al equipo de ultrasonido.
	Sacar el Becker con acetona y el sustrato del equipo ultrasonido.	El sustrato se coge con la pinza sustrato por los bordes
	Sacar el sustrato del Becker y ponerlo en un lugar limpio, seguro y evitar rayones.	Se debe preparar el equipo de ultrasonido ELMASONIC E 15 H del laboratorio de CYTEMAC de la UNIVERSIDAD DEL CAUCA, al cual se va a llevar el sustrato para culminar el proceso de limpieza del sustrato. En un Becker (50 ml) se vierte 20 ml de agua destilada, se coge el sustrato con la pinza sustrato y se coloca al interior del Becker. El Becker con el sustrato se coloca en el equipo de ultrasonido, el cual tiene 250 ml de agua destilada. Se enciende el equipo durante 10 min a 35 °C, transcurrido este tiempo se saca el sustrato empleando la pinza sustrato y se da por terminada la limpieza del sustrato. El equipo de ultrasonido debe limpiarse previamente con agua destilada, a continuación se debe adicionar 250 ml de agua destilada, de esta manera se limpia el equipo y se deja preparado para realizar el ultrasonido al sustrato. Al sacar el sustrato del equipo del ultrasonido este se coge con la pinza sustrato por los bordes y se coloca sobre papel absorbente. El sustrato presenta una superficie con un efecto especular y otra con una tonalidad opaca, de manera que se debe tener en cuenta que la superficie opaca es la que debe quedar en contacto con el papel absorbente.

<p>Blancos ubicados en los portablanco y puestos dentro de la cámara de vacío.</p>	<p>Colocar el blanco uno (1) del material ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$) en el portablanco uno (1).</p> <p>Colocar el blanco dos (2) del material ($La_{1.85}Sr_{0.15}CuO_{4+\delta}$) en el portablanco dos (2).</p> <p>Enroscar el portablanco que sujeta el blanco uno (1), en el cañón magnetron uno (1) dentro de la cámara de vacío.</p> <p>Enroscar el portablanco que sujeta el blanco dos (2), en el cañón magnetron dos (2) dentro de la cámara de vacío.</p>	<p>Sacar la caja del armario, que contiene los blancos de. ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta} / La_{1.85}Sr_{0.15}CuO_{4+\delta}$)</p> <p>Sacar los blancos de ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta} / La_{1.85}Sr_{0.15}CuO_{4+\delta}$) de la caja.</p> <p>El operario debe tomar los blancos de ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta} / La_{1.85}Sr_{0.15}CuO_{4+\delta}$) por los bordes.</p> <p>Pegar de manera cuidadosa los blancos a los portablanco utilizando pegante de plata.</p> <p>Dejar por un tiempo de una (1) a una temperatura de 180 °C.</p>
<p>Sustrato ubicado en el horno.</p>	<p>Ubicar el sustrato en el horno.</p>	<p>Utilizando la pinza sustrato se procede a coger el sustrato de manera cuidadosa y colocarlo en la cavidad del portasustrato, el cual está ubicado en el horno, de manera que la superficie con efecto especular quede ubicada frente al blanco.</p> <p>Posteriormente empleando un nivel, el cual se coloca de manera cuidadosa sobre el portasustrato, se identifica el desnivel y de esta manera permita corregirlo. Al identificar el desnivel, se debe corregir aflojando el tornillo que sujeta el horno del resto del brazo y mover de manera cuidadosa siempre observando el nivel para fijar de manera adecuada. Luego de realizar la corrección del nivel se ajusta nuevamente el tornillo que sujeta el horno del resto del brazo de manera fuerte.</p>
<p>Distancia entre los Blancos y el sustrato ajustados.</p>	<p>Calibrar la distancia de separación entre el Blanco uno (1) y el sustrato en 13 ml.</p> <p>Calibrar la distancia de separación entre el Blanco dos (2) y el sustrato en 10 ml.</p>	<p>La distancia entre los blancos y el sustrato se mide empleando un calibrador.</p> <p>La base del portasustrato y el sustrato están en el mismo nivel.</p> <p>Teniendo en cuenta que los blancos están en la parte inferior de los cañones magnetrones y estos a su vez están metidos en la tapa superior, los cañones en la parte superior tiene movilidad y/o desplazamiento vertical, entonces, para ubicar la distancia correcta entre el sustrato (portasustrato) y los blancos (cañones magnetron) se debe girar los extensores ubicados en el acordeón que tiene el Cañon-magnetron. Cada Cañon-magnetron tiene tres Extensores los cuales se mueven de manera que suba o baje el blanco.</p> <p>Para aflojar o apretar los extensores se utiliza la llave hexagonal E</p> <p>Los blancos tienen que fijarse manera que queden a nivel por lo tanto encima del Cañon-magnetron se ubica el nivel hasta que se fijen de manera correcta</p>

<p>Tapas de la cámara de vacío ubicadas atornilladas y ajustadas de forma correcta.</p>	<p>Ubicar de manera correcta la tapa frontal de la cámara de vacío. Meter los dos tornillos en la tapa frontal de la cámara de vacío. Ubicar de manera correcta la tapa lateral de la cámara de vacío. Meter los dos tornillos en la tapa lateral de la cámara de vacío. Ajustar los tornillos de las tapas de la cámara de vacío.</p>	<p>Asegurar que los O' Ring queden bien puestos en las tapas frontal y lateral de la cámara de vacío.</p> <p>La manera correcta de poner los dos tornillos es que un tornillo quede en posición opuesta del otro para así permitir un mejor sellamiento.</p> <p>Los tornillos se ajustan de manera que no queden flojas las tapas para no permitir fugas.</p> <p>Para ajustar las tuercas de los tornillos se utiliza las llaves Ay B.</p>
<p>Módulo de equipo de enfriamiento activado.</p>	<p>Abrir válvula del flujo del paso de agua domiciliaria y mantener válvula abierta hasta la operación Finalizar el proceso.</p>	<p>Abrir la válvula de entrada de agua domiciliaria que permite la refrigeración del equipo Sputtering de tres (3) blancos. La refrigeración del equipo se debe mantener hasta finalizar el proceso.</p> <p>Ajustar la velocidad de flujo de entrada de agua mediante la visualización del indicador de flujo tipo molinete, la velocidad de giro del molinete debe ser media.</p>
<p>Verificar flujo de agua.</p>	<p>Verificar flujo de agua.</p>	<p>La revisión periódica del suministro de agua durante todo el proceso de crecimiento de la película delgada multicapa es indispensable; si el flujo de agua se suspende y por esta razón se deja de refrigerar el equipo, el proceso debe suspenderse inmediatamente, se deben apagar todos los equipos. Cuando se restablezca el flujo de agua, se recomienda retomar el proceso de fabricación del material con un nuevo sustrato.</p>
<p>Equipo Magnetrón <i>Sputtering</i> de tres (3) blancos encendido.</p>	<p>Activar los breakers ² del equipo <i>Sputtering de 3 blancos</i>.</p>	<p>Los breakers están puestos en una caja de breakers, ubicada en la parte posterior del <i>Sputtering de tres (3) blancos</i>.</p> <p>La bomba turbomolecular, la bomba mecánica, la fuente de voltaje, el controlador de temperatura y el indicador de presión están conectados a una salida del transformador tipo TT, el cual a su vez esta alimentado de una fuente de voltaje de 220 V por medio del enchufe de seguridad rojo.</p> <p>Subir los tres breakers que permiten conexión eléctrica de la bomba turbomolecular, de la bomba mecánica, de la fuente de voltaje el controlador de temperatura y el indicador de presión.</p>
<p>Modulo equipo de vacío activado.</p>	<p>Encender la bomba mecánica y mantenerla encendida hasta la operación Finalizar el proceso.</p>	<p>Antes de encender la bomba mecánica se debe tener en cuenta que las válvulas de reducción salida de</p>

² La activación de los breakers energiza la bomba turbomolecular, la fuente de voltaje y enciende el indicador de presión.

	<p>Encender la bomba Turbomolecular cuando la presión al interior de la cámara sea de 8×10^{-2} mbar y mantener sus revoluciones al máximo durante 30 min, pasados estos 30 min disminuir sus revoluciones al 70% y dejar hasta la operación Finalizar el proceso.</p>	<p>gases y la válvula de salida de gases por las bombas deben estar cerradas.</p> <p>Al encender la bomba mecánica se abre la válvula de salida de gases por las bombas.</p> <p>La bomba mecánica se debe encender 5 min después de haber iniciado el proceso de refrigeración.</p> <p>Luego de encendida la bomba mecánica, se espera a que se muestre en el indicador de presión 8×10^{-2} mbar. Esta presión se alcanza transcurrida una hora después de encendida la mecánica.</p> <p>Al haber alcanzado la presión de 8×10^{-2} mbar, encender la bomba turbomolecular presionando el botón (Start_ stop).</p> <p>Se deja la bomba turbomolecular con sus revoluciones al máximo por 30 minutos, de esta manera la bomba turbomolecular realiza un buen vacío de la cámara.</p> <p>Cuando ha hecho un buen vacío se abre la válvula de reducción salida de gases y se cierra la válvula salida de gases por las bombas.</p> <p>El indicador gráfico de revoluciones de la bomba turbomolecular llega a 1350 Hz indicando el máximo de sus revoluciones, transcurridos los 30 min con las revoluciones al máximo la presión de vacío será de 1×10^{-5} mbar, a continuación se debe presionar el botón (Decrease) para bajar revoluciones de la bomba turbomolecular (con esto se evita forzar la bomba turbomolecular y que pueda dañarse). Esta bomba turbomolecular se debe mantener encendida con sus revoluciones al 70 % hasta finalizar el proceso.</p> <p>Observar el indicador de presión e igualmente observar el indicador gráfico de revoluciones de la bomba turbomolecular.</p> <p>Revisar que la válvula de flujo entrada de oxígeno a la cámara esté cerrada completamente.</p>
<p>Modulo equipo de oxigeno activado.</p>	<p>Abrir válvulas de flujo de gas del módulo equipo de oxigeno después que hayan transcurridos 10 minutos con las revoluciones de la bomba Turbomolecular al 70%, aumentar y controlar el ingreso de oxigeno hasta que la presión de la cámara sea 2×10^{-2} mbar y Mantener estas condiciones hasta generar el plasma.</p>	<p>Se debe abrir la válvula de la bala de oxígeno. Se abren las válvulas marca AGA 1 y 2 de la bala de oxígeno.</p> <p>La válvula marca AGA 1 se gira en sentido de las manecillas del reloj y la válvula marca AGA 2 se gira en el sentido contrario de las manecillas del reloj.</p> <p>Se observa el aumento de la presión en el indicador de presión marca AGA.</p>

		<p>Abrir la válvula de flujo de entrada de oxígeno a la cámara hasta que la presión del interior de la cámara aumente hasta $2 \cdot 10^{-2}$ mbar, visualizar la presión en el indicador de presión.</p> <p>Al alcanzar la presión al interior de la cámara de $2 \cdot 10^{-2}$ mbar, se esperan 5 min, para que el oxígeno ingrese completamente a toda la cámara.</p>
Horno posicionado en el magnetrón RF uno (1).	Mover manualmente la Perilla_horno del módulo equipo de posición horizontal del horno hasta que el horno quede alineado verticalmente con el cañón magnetrón RF uno (1).	<p>El sustrato no debe estar alineado con el blanco uno (1)</p> <p>Girar la Perilla_horno de manera que el horno quede alineado con el cañón magnetrón RF uno (1).</p>
Presión modificada hasta el rango ($1 \cdot 10^{-1}$ mbar - 1 mbar), para generar el plasma.	Abrir la válvula de flujo de oxígeno para que ingrese súbitamente este gas hasta que la presión de la cámara este en el rango ($1 \cdot 10^{-1}$ mbar - 1 mbar), para generar el plasma.	<p>Para generar el plasma, se realiza una apertura súbita de la válvula de flujo de entrada de oxígeno a la cámara, esta descarga de argón se permite hasta que la presión al interior de la cámara este en un rango de $1 \cdot 10^{-1}$ mbar a 1 mbar.</p> <p>No se puede superar esta presión por que se apaga la bomba turbomolecular, debido a que esta trabaja a bajas presiones.</p> <p>En caso de apagarse la bomba turbomolecular por sobrepasar el rango indicado en presión en el ingreso súbito de argón, se debe inmediatamente cerrar completamente la válvula de flujo de entrada de oxígeno, luego se procede a presionar el botón (Start Stop) de la bomba turbomolecular, y luego se enciende nuevamente y se deben repetir los pasos para hacer vacío en la cámara con la bomba turbomolecular y continuar con el proceso.</p>
Modulo equipo de voltaje activado.	<p>Conectar el cable de salida de la fuente de voltaje al cañón magnetrón DC uno (1).</p> <p>Encender modulo equipo de Fuente de Voltaje, programar a (450 V), luego aplicar voltaje al cañón-magnetron DC uno (1) y controlar esta condición hasta generar el Plasma.</p>	<p>Antes de encender la fuente de voltaje se procede a conectar los cables de salida de la fuente al cañón magnetron DC uno (1) en la parte superior de este se pone el cable de color transparente en el conector que posee el cañón magnetron mientras que el cable de polo a tierra se conecta a la base superior del cañón magnetron.</p> <p>El botón de encendido de la fuente de voltaje está en la parte de frontal del equipo al lado izquierdo.</p> <p>Se procede a encender la fuente de voltaje oprimiendo el botón de encendido.</p> <p>Cuando se enciende la fuente de voltaje hay que mantener el voltaje y la corriente en cero, girando las perillas de voltaje y corriente de la fuente de voltaje en contra del giro de las manecillas de reloj hasta que el voltaje y la corriente que se muestra en los indicadores de voltaje y corriente respectivamente sean de 0 V y 0 mA.</p>

		<p>Cuando está encendida la fuente de voltaje el botón de encendido prende a color verde.</p> <p>Hay dos indicadores en la fuente de voltaje uno de ellos es de corriente y el otro es de voltaje. Debajo de los indicadores se encuentran dos perillas uno de corriente y el otro de voltaje de los cuales se programa la corriente y el voltaje deseado.</p> <p>El Voltaje y la corriente se aumentan de manera gradual, debe aumentarse en 1 V por cada segundo hasta alcanzar voltaje deseado y luego se aumenta en 1 mA hasta alcanzar la corriente deseada. .</p> <p>Para enviar el voltaje al cañón magnetrón se oprime el botón ON OFF ubicado en la parte frontal derecha de la fuente de voltaje.</p>
Plasma generado y mantenido.	<p>Observar si se creó el plasma.</p> <p>Mantener el plasma y controlar voltaje en (310 V) y la corriente en (90 mA).</p>	<p>Pasados 20 min con el voltaje en 450 V, se debe disminuir el voltaje en (310 V) y la corriente en (90 mA). Se debe controlar hasta la acción de proceso sellado <i>del material</i>.</p> <p>Cuando se ha generado el plasma, se debe ajustar la válvula de flujo e entrada de oxígeno a la cámara de vacío, para controlar la presión al interior de la cámara, en la presión de trabajo establecida de 9* 10-3 mbar. Esta presión se debe mantener hasta finalizar el proceso.</p> <p>Revisión periódica de la presión en el indicador de presión.</p> <p>En caso de que la presión aumente, se debe cerrar la válvula que controla el ingreso de oxígeno a la cámara de vacío, de manera que al visualizar en el indicador de presión, esta se restablezca en el valor indicado; en el caso de observar una caída de presión en el indicador de presión con respecto al valor establecido se debe abrir la válvula de flujo de oxígeno a la cámara, de manera que se obtenga el valor de presión establecido.</p> <p>Se debe realizar una revisión periódica del plasma en todo el proceso , en caso de apagarse el plasma sin que el sustrato este en línea con el blanco, en la zona de pulverización, se debe bajar inmediatamente el voltaje en la fuente de voltaje (1 V por segundo) hasta conseguir 0 V, y cerrar completamente la válvula de flujo de entrada de Oxígeno, a continuación se debe revisar la presión al interior de la cámara visualizando el indicador de presión, a continuación se procede a restablecer la</p>
Verificar plasma.		
Presión constante en (valor escogido).	<p>Manipular la válvula de entrada de oxígeno a la cámara para disminuir y controlar la presión de la cámara en (3 mbar) hasta finalizar el proceso.</p>	

		<p>presión de trabajo en la cámara abriendo la válvula de flujo de oxígeno y llevar la presión a $2 \cdot 10^{-2}$ mbar, el siguiente paso es encender la emisión de voltaje presionando el botón ON OFF que está al lado derecho de la fuente de voltaje y llevar el voltaje hasta 450 V , encender el plasma con la descarga súbita de oxígeno en el rango establecido, restablecer la presión (indicador de presión al interior de la cámara) a la presión de trabajo establecida de $9 \cdot 10^{-3}$ mbar, a continuación llevar el voltaje de la fuente de voltaje en que se apagó el plasma (incrementos de 1 V por cada 5 segundos) y continuar con el proceso.</p>
Modulo equipo de temperatura activado.	<p>Encender el modulo equipo de temperatura, programar, a los siguientes parámetros SP uno (1) = 880°C, rata de calentamiento 15°C por minuto, (El valor de la temperatura del horno se admite como el valor de la temperatura del sustrato).</p>	<p>En paralelo a los 20 min con el voltaje en 450 V, se debe iniciar el pre-calentamiento del sustrato, teniendo en cuenta que se admite tomar la temperatura del horno como la temperatura del sustrato; se Programa el controlador de temperatura SP uno (1) = 880°C, rata de calentamiento 15°C por minuto.</p> <p>Para calentar el horno se comienza por presionar el botón de encendido del control de temperatura del horno (botón rojo), se programa el controlador de temperatura y se corre el programa.</p> <p>El proceso de calentamiento a la temperatura esperada del sustrato toma alrededor de 30 min.</p>
Acondicionar la forma del plasma.		<p>Para acondicionar el plasma y poder crecer una película debemos tener en cuenta las siguientes pautas:</p> <p>Si aumento la entrada de oxigeno el vértice del plasma sube.</p> <p>Si disminuyo la entrada de oxigeno el vértice del plasma baja.</p> <p>Si aumento la corriente que se le aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta.</p> <p>Si disminuyo la corriente que se aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma disminuye.</p> <p>Si aumento el voltaje aplicado al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta.</p> <p>Si disminuyo el voltaje aplicado al Cañon-magnetron la intensidad del plasma disminuye.</p> <p>Si aumento el flujo de entrada oxigeno el voltaje se disminuye siempre y cuando la corriente sea constante.</p>
Verificar flujo de		<p>La revisión periódica del suministro de agua durante</p>

agua		todo el proceso de crecimiento de la película delgada multicapa es indispensable; si el flujo de agua se suspende y por esta razón se deja de refrigerar el equipo, el proceso debe suspenderse inmediatamente, se deben apagar todos los equipos. Cuando se restablezca el flujo de agua, se recomienda retomar el proceso de fabricación del material con un nuevo sustrato.
Horno posicionado en el Blanco uno (1).	Mover manualmente la Perilla_horno del módulo equipo de posición horizontal del horno de manera que el horno permita la visión entre el blanco Uno (1) y el sustrato.	Los 30 minutos de pre-Sputtering se cuentan a partir de haber llevado el voltaje y la corriente en la fuente de voltaje a (310 V) y la corriente en (90 mA), con este voltaje y esta corriente se pulveriza el blanco de $(YBa_2Cu_3YO_7)$ y se espera que sus contaminantes superficiales también sean pulverizados y depositados en la cámara de vacío. Cuando está el horno en temperatura de 880°C y se cumplieron los 30 minutos de pre-Sputtering se procede a girar manualmente la Perilla_horno de manera que el sustrato quede alineado verticalmente con el blanco uno (1).
Verificar plasma.		En caso de apagarse el plasma estando en este nivel del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas, debe bajarse inmediatamente el voltaje en la fuente de de voltaje (1 V por cada 1 segundo) hasta conseguir 0 V, y cerrar completamente la válvula de ingreso de oxígeno a la cámara y se sugiere apagar todo los equipos, esperar a que la temperatura del sustrato sea de 30 °C y gasificar la cámara. El operario debe cambiar el sustrato por uno nuevo siguiendo el proceso de limpieza y comenzar nuevamente el proceso de crecimiento multicapa de película delgada, retomar el procedimiento desde el paso de colocar la materia prima, empleando un nuevo sustrato.
Acondicionar la forma del plasma.		Para acondicionar el plasma y poder crecer una película debemos tener en cuenta las siguientes pautas: Si aumento la entrada de oxígeno el vértice del plasma sube. Si disminuyo la entrada de oxígeno el vértice del plasma baja. Si aumento la corriente que se le aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta. Si disminuyo la corriente que se aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma disminuye. Si aumento el voltaje aplicado al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta.

		<p>Si disminuyo el voltaje aplicado al Cañón-magnetron la intensidad del plasma disminuye.</p> <p>Si aumento el flujo de entrada oxígeno el voltaje se disminuye siempre y cuando la corriente sea constante.</p>
Tiempo de espera de fabricación.	Esperar un tiempo de fabricación de dos (2) horas, a partir de lograr las condiciones de distancia entre el blanco y el sustrato, temperatura del horno, flujo de entrada de oxígeno, voltaje aplicado al magnetron y presión al interior de la cámara.	<p>El tiempo de fabricación del material en este nivel es de 2 h, en el cual se deben controlar y mantener los valores establecidos y fijados en los pasos anteriores.</p> <p>En caso de apagarse el plasma estando en este nivel del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas, debe bajarse inmediatamente el voltaje en la fuente de de voltaje (1 V por cada 1 segundo) hasta conseguir 0 V, y cerrar completamente la válvula de ingreso de oxígeno a la cámara y se sugiere apagar todo los equipos, esperar a que la temperatura del sustrato sea de 30 °C y gasificar la cámara.</p> <p>El operario debe cambiar el sustrato por uno nuevo siguiendo el proceso de limpieza y comenzar nuevamente el proceso de crecimiento multicapa de película delgada, retomar el procedimiento desde el paso de colocar la materia prima, empleando un nuevo sustrato.</p>
Verificar flujo de agua		La revisión periódica del suministro de agua durante todo el proceso de crecimiento de la película delgada multicapa es indispensable; si el flujo de agua se suspende y por esta razón se deja de refrigerar el equipo, el proceso debe suspenderse inmediatamente, se deben apagar todos los equipos. Cuando se restablezca el flujo de agua, se recomienda retomar el proceso de fabricación del material con un nuevo sustrato.
Plasma finalizado.	<p>Programar voltaje en (0 V) y no enviar voltaje al cañón-magnetron uno (1).</p> <p>Desconectar el cable de salida de la fuente de voltaje del cañón-magnetron uno (1).</p> <p>Programar modulo equipo de temperatura a los siguientes parámetros SP dos (2) = 550°C, rata de enfriamiento 10°C por minuto.</p>	<p>Se giran las perillas de voltaje y corriente de la fuente de voltaje en contra del giro de las manecillas de reloj hasta que el voltaje y la corriente que se muestra en los indicadores de voltaje y corriente respectivamente sean de 0 V y 0 mA.</p> <p>Para no enviar el voltaje al cañón magnetron se oprime el botón ON OFF ubicado en la parte frontal derecha de la fuente de voltaje.</p> <p>Se desconecta los dos cables que estaban conectados al Cañón-magnetron.</p> <p>Se Programa el controlador de temperatura con un SP dos (2) = 550°C, rata de enfriamiento de 10°C por minuto. Cuando la temperatura este en 550°C se deja por un tiempo de diez (10) minutos.</p>

Sellado del material.	Esperar a que trascorra un tiempo de sellado del material de diez (10) minutos. Programar el modulo equipo de temperatura en 0°C.	Transcurridos los 10 minutos de sellado del material se procede a programar la temperatura en 0°C y se espera que la temperatura en el horno baje a 30°C.
Verificar flujo de agua		La revisión periódica del suministro de agua durante todo el proceso de crecimiento de la película delgada multicapa es indispensable; si el flujo de agua se suspende y por esta razón se deja de refrigerar el equipo, el proceso debe suspenderse inmediatamente, se deben apagar todos los equipos. Cuando se restablezca el flujo de agua, se recomienda retomar el proceso de fabricación del material con un nuevo sustrato.
Horno posicionado en el magnetron RF uno (1).	Mover manualmente la Perilla_horno del módulo equipo de posición horizontal del horno hasta que el horno quede alineado verticalmente con el magnetron RF uno (1).	El sustrato no debe estar alineado con el blanco uno (1) Girar la Perilla_horno de manera que el horno quede alineado con el cañon magnetron RF uno (1).
Presión modificada hasta el rango ($1 \cdot 10^{-1}$ mbar - 1 mbar), para generar el plasma.	Manipular la válvula de flujo de oxígeno para ingresar súbitamente este gas hasta que la presión de la cámara este en el rango ($1 \cdot 10^{-1}$ mbar - 1 mbar), para generar el plasma.	Para generar el plasma, se realiza una apertura súbita de la válvula de flujo de entrada de oxígeno a la cámara, esta descarga de argón se permite hasta que la presión al interior de la cámara este en un rango de $1 \cdot 10^{-1}$ mbar a 1 mbar. No se puede superar esta presión por que se apaga la bomba turbomolecular, debido a que esta trabaja a bajas presiones. En caso de apagarse la bomba turbomolecular por sobrepasar el rango indicado en presión en el ingreso súbito de argón, se debe inmediatamente cerrar completamente la válvula de flujo de entrada de oxígeno, luego se procede a presionar el botón (Start Stop) de la bomba turbomolecular, y luego se enciende nuevamente y se deben repetir los pasos para hacer vacío en la cámara con la bomba turbomolecular y continuar con el proceso.
Energizar el cañon magnetron dos (2)	Conectar el cable de salida de la fuente de voltaje al cañon-magnetron DC dos (2). Programar modulo equipo de voltaje a (450 V), luego aplicar voltaje al cañon-magnetron DC dos (2) y controlar esta condición hasta generar el Plasma.	Se procede a conectar los cables de salida de la fuente al cañon magnetron DC dos (2) en la parte superior de este se pone el cable de color transparente en el conector que posee el cañon-magnetron mientras que el cable de polo a tierra se conecta a la base superior del cañon-magnetron. Como la fuente de voltaje ya se encuentra encendida se revisa que el voltaje y la corriente estén en cero, girando las perillas de voltaje y corriente de la fuente de voltaje en contra del giro de las manecillas de reloj hasta que el voltaje y la corriente que se muestra en los indicadores de voltaje y corriente respectivamente sean de 0 V y 0 mA. Cuando está encendida la fuente de voltaje el botón de encendido prende a color verde.

		<p>Hay dos indicadores en la fuente de voltaje uno de ellos es de corriente y el otro es de voltaje. Debajo de los indicadores se encuentran dos perillas uno de corriente y el otro de voltaje de los cuales se programa la corriente y el voltaje deseado.</p> <p>El Voltaje y la corriente se aumentan de manera gradual, debe aumentarse en 1 V por cada segundo hasta alcanzar voltaje deseado y luego se aumenta en 1 mA hasta alcanzar la corriente deseada.</p> <p>Se lleva el voltaje a 450 V y la corriente a 1 mA</p> <p>Para enviar el voltaje al cañón magnetrón se oprime el botón ON OFF ubicado en la parte frontal derecha de la fuente de voltaje.</p>
Plasma generado y mantenido.	<p>Observar si se creó el plasma.</p> <p>Mantener el plasma y controlar voltaje en (310 V) y la corriente en (90 mA).</p>	<p>Pasados 20 min con el voltaje en 450 V, se debe disminuir el voltaje en (310 V) y la corriente en (90 mA). Se debe controlar hasta la acción de proceso sellado <i>del material</i>.</p> <p>Cuando se ha generado el plasma, se debe ajustar la válvula de flujo e entrada de oxígeno a la cámara de vacío, para controlar la presión al interior de la cámara, en la presión de trabajo establecida de 9* 10-3 mbar. Esta presión se debe mantener hasta finalizar el proceso.</p> <p>Revisión periódica de la presión en el indicador de presión.</p> <p>En caso de que la presión aumente, se debe cerrar la válvula que controla el ingreso de oxígeno a la cámara de vacío, de manera que al visualizar en el indicador de presión, esta se restablezca en el valor indicado; en el caso de observar una caída de presión en el indicador de presión con respecto al valor establecido se debe abrir la válvula de flujo de oxígeno a la cámara, de manera que se obtenga el valor de presión establecido.</p> <p>Se debe realizar una revisión periódica del plasma en todo el proceso , en caso de apagarse el plasma en el sin que el sustrato este en línea con el blanco, en la zona de pulverización, se debe bajar inmediatamente el voltaje en la fuente de voltaje (1 V por segundo) hasta conseguir 0 V, y cerrar completamente la válvula de flujo de entrada de Oxígeno, a continuación se debe revisar la presión al interior de la cámara visualizando el indicador de presión, a continuación se procede a restablecer la presión de trabajo en la cámara abriendo la válvula de flujo de oxígeno y llevar la presión a 2*10-2 mbar, el siguiente paso es encender la emisión de voltaje presionando el botón ON OFF que está al</p>
Verificar plasma.		
Presión constante en (valor escogido).	<p>Manipular la válvula de entrada de argón a la cámara para disminuir y controlar la presión de la cámara en (3 mbar) hasta finalizar el proceso.</p>	

		lado derecho de la fuente de voltaje y llevar el voltaje hasta 450 V , encender el plasma con la descarga súbita de oxígeno en el rango establecido, restablecer la presión (indicador de presión al interior de la cámara) a la presión de trabajo establecida de $9 \cdot 10^{-3}$ mbar, a continuación llevar el voltaje de la fuente de voltaje en que se apagó el plasma (incrementos de 1 V por cada 5 segundos) y continuar con el proceso.
Temperatura constante en (valor escogido).	Programar el modulo equipo de temperatura, a los siguientes parámetros SP uno (1) en 880°C, rata de calentamiento en 15°C por minuto, (El valor de la temperatura del horno se admite como el valor de la temperatura del sustrato).	<p>En paralelo a los 20 min con el voltaje en 450 V, se debe iniciar el pre-calentamiento del sustrato, teniendo en cuenta que se admite tomar la temperatura del horno como la temperatura del sustrato; se Programa el controlador de temperatura SP uno (1) = 880°C, rata de calentamiento 15°C por minuto.</p> <p>Para calentar el horno se comienza por presionar el botón de encendido del control de temperatura del horno (botón rojo), se programa el controlador de temperatura y se corre el programa.</p> <p>El proceso de calentamiento a la temperatura esperada del sustrato toma alrededor de 30 min.</p>
Acondicionar la forma del plasma.		<p>Para acondicionar el plasma y poder crecer una película debemos tener en cuenta las siguientes pautas:</p> <p>Si aumento la entrada de oxígeno el vértice del plasma sube.</p> <p>Si disminuyo la entrada de oxígeno el vértice del plasma baja.</p> <p>Si aumento la corriente que se le aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta.</p> <p>Si disminuyo la corriente que se aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma disminuye.</p> <p>Si aumento el voltaje aplicado al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta.</p> <p>Si disminuyo el voltaje aplicado al Cañon-magnetron la intensidad del plasma disminuye.</p> <p>Si aumento el flujo de entrada oxígeno el voltaje se disminuye siempre y cuando la corriente sea constante.</p>
Verificar flujo de agua		La revisión periódica del suministro de agua durante todo el proceso de crecimiento de la película delgada multicapa es indispensable; si el flujo de agua se suspende y por esta razón se deja de refrigerar el equipo, el proceso debe suspenderse

		<p>inmediatamente, se deben apagar todos los equipos. Cuando se restablezca el flujo de agua, se recomienda retomar el proceso de fabricación del material con un nuevo sustrato.</p>
Horno posicionado en el Blanco dos (2).	Mover manualmente la perilla_horno del módulo equipo de posición horizontal del horno de manera que el horno permita la visión entre el blanco dos (2) y el sustrato.	<p>Los 30 minutos de pre-Sputtering se cuentan a partir de haber llevado el voltaje y la corriente en la fuente de voltaje a (310 V) y la corriente en (90 mA), con este voltaje y esta corriente se pulveriza el blanco de (Al) y se espera que sus contaminantes superficiales también sean pulverizados y depositados en la cámara de vacío.</p> <p>Cuando está el horno en temperatura de 880°C y se cumplieron los 30 minutos de pre-Sputtering se procede a girar manualmente la Perilla_horno de manera que el sustrato quede alineado verticalmente con el blanco uno (1).</p>
Verificar plasma.		<p>En caso de apagarse el plasma estando en este nivel del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas, debe bajarse inmediatamente el voltaje en la fuente de de voltaje (1 V por cada 1 segundo) hasta conseguir 0 V, y cerrar completamente la válvula de ingreso de oxígeno a la cámara y se sugiere apagar todo los equipos, esperar a que la temperatura del sustrato sea de 30 °C y gasificar la cámara.</p> <p>El operario debe cambiar el sustrato por uno nuevo siguiendo el proceso de limpieza y comenzar nuevamente el proceso de crecimiento multicapa de película delgada, retomar el procedimiento desde el paso de colocar la materia prima, empleando un nuevo sustrato.</p>
Acondicionar la forma del plasma.		<p>Para acondicionar el plasma y poder crecer una película debemos tener en cuenta las siguientes pautas:</p> <p>Si aumento la entrada de oxígeno el vértice del plasma sube.</p> <p>Si disminuyo la entrada de oxígeno el vértice del plasma baja.</p> <p>Si aumento la corriente que se le aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta.</p> <p>Si disminuyo la corriente que se aplica al Cañon-magnetron la intensidad del plasma disminuye.</p> <p>Si aumento el voltaje aplicado al Cañon-magnetron la intensidad del plasma aumenta.</p> <p>Si disminuyo el voltaje aplicado al Cañon-magnetron la intensidad del plasma disminuye.</p> <p>Si aumento el flujo de entrada oxígeno el voltaje se</p>

		disminuye siempre y cuando la corriente sea constante.
Tiempo de espera de fabricación.	Esperar un tiempo de fabricación de tres (3) horas, a partir de lograr las condiciones de distancia entre el blanco 2 y el sustrato, temperatura del horno, flujo de entrada de oxígeno, voltaje aplicado al magnetron y presión al interior de la cámara.	<p>El tiempo de fabricación del material en este nivel es de 2 h, en el cual se deben controlar y mantener los valores establecidos y fijados en los pasos anteriores.</p> <p>En caso de apagarse el plasma estando en este nivel del proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas, debe bajarse inmediatamente el voltaje en la fuente de de voltaje (1 V por cada 1 segundo) hasta conseguir 0 V, y cerrar completamente la válvula de ingreso de oxígeno a la cámara y se sugiere apagar todo los equipos, esperar a que la temperatura del sustrato sea de 30 °C y gasificar la cámara.</p> <p>El operario debe cambiar el sustrato por uno nuevo siguiendo el proceso de limpieza y comenzar nuevamente el proceso de crecimiento multicapa de película delgada, retomar el procedimiento desde el paso de colocar la materia prima, empleando un nuevo sustrato.</p>
Verificar flujo de agua		La revisión periódica del suministro de agua durante todo el proceso de crecimiento de la película delgada multicapa es indispensable; si el flujo de agua se suspende y por esta razón se deja de refrigerar el equipo, el proceso debe suspenderse inmediatamente, se deben apagar todos los equipos. Cuando se restablezca el flujo de agua, se recomienda retomar el proceso de fabricación del material con un nuevo sustrato.
Plasma finalizado.	<p>Programar voltaje en (0 V) y no mandar voltaje al cañón-magnetron DC dos (2).</p> <p>Desconectar el cable de salida de la fuente de voltaje del cañón-magnetron DC dos (2).</p> <p>Programar modulo equipo de temperatura a los siguientes parámetros SP dos (2) = 550°C, rata de enfriamiento 10°C por minuto.</p>	<p>Se giran las perillas de voltaje y corriente de la fuente de voltaje en contra del giro de las manecillas de reloj hasta que el voltaje y la corriente que se muestra en los indicadores de voltaje y corriente respectivamente sean de 0 V y 0 mA.</p> <p>Para no enviar el voltaje al cañón magnetron se oprime el botón ON OFF ubicado en la parte frontal derecha de la fuente de voltaje.</p> <p>Se desconecta los dos cables que estaban conectados al Cañon-magnetron.</p> <p>Se Programa el controlador de temperatura con un SP dos (2) = 550°C, rata de enfriamiento de 10°C por minuto. Cuando la temperatura este en 550°C se deja por un tiempo de diez (10) minutos.</p>
Sellado del material.	Esperar a que trascurra un tiempo de sellado del material de diez (10) minutos.	Transcurridos los 10 minutos de sellado del material se procede a programar la temperatura en 0°C y se espera que la temperatura en el horno baje a 30°C.
Modulo equipo de	Apagar el modulo equipo de temperatura.	Transcurridos los 10 min de la anterior acción de

temperatura apagado.		<p>proceso, se debe detener el suministro de potencia al horno.</p> <p>Para detener el suministro de potencia al horno se debe programar el controlador de temperatura en 0°C visualizando estas variables en el indicador que tiene el controlador, luego presionar el botón off (color rojo).</p>
Modulo equipo Fuente de Voltaje apagado.	Apagar modulo equipo de voltaje.	<p>El botón de encendido de la fuente de voltaje está en la parte de frontal del equipo al lado izquierdo.</p> <p>Se procede a apagar la fuente de voltaje oprimiendo el botón de encendido.</p>
Modulo equipo de oxigeno desactivado.	Cerrar válvula de flujo del módulo equipo de oxígeno.	<p>Se cierra la válvula de flujo de oxígeno a la cámara para esto se cierran las válvulas marca AGA 1 y 2 de la bala de oxígeno,</p> <p>Se cierra la válvula de la bala de oxígeno.</p>
Modulo equipo de vacío desactivado.	<p>Apagar bomba turbomolecular.</p> <p>Apagar bomba mecánica.</p>	<p>Se apaga el indicador de presión.</p> <p>Trascurridos 30 min de haber terminado la actividad anterior, se apaga la bomba turbomolecular.</p> <p>Cuando la temperatura del sustrato es de 30 °C, se apaga la bomba mecánica.</p> <p>Esperar a que la temperatura del sustrato llegue a 30 °C (Toma un tiempo aproximado de entre 2 a 3 horas).</p>
Magnetron <i>Sputtering</i> de tres (3) blancos desenergizado.	Desactivar los breakers del equipo <i>Sputtering de 3 blancos</i> .	Luego de alcanzar la temperatura de 30 °C en el sustrato, se procede a bajar los tres breakers de la conexión eléctrica de la bomba turbomolecular, de la fuente de voltaje y del indicador de presión.
Modulo equipo de refrigeración desactivado.	Cerrar la válvula del módulo equipo de refrigeración.	Se desactiva el sistema de refrigeración y luego se abre la válvula gasificadora manual de la cámara (girándola en sentido contrario a las manecillas del reloj) hasta escuchar el ingreso de aire a la cámara.
Válvula gasificadora de la cámara abierta.	Permitir el ingreso de aire en la cámara abriendo la válvula gasificadora de la cámara.	

<p>Material fabricado extraído.</p>	<p>Extraer el material fabricado</p>	<p>El operario al realizar esta acción debe estar empleando guantes de látex como se indicó al inicio del proceso de fabricación del material.</p> <p>Se debe tener cuidado con las conexiones eléctricas del horno, ya que tienen recubrimiento de cerámica, por lo tanto son delicados y con un movimiento fuerte se pueden quebrar.</p> <p>Retirar los Pernos que aseguran la tapa Frontal de la cámara de vacío, posteriormente retirar y ubicar la tapa en un lugar limpio y seguro.</p> <p>Retirar los Pernos que aseguran la tapa lateral de la cámara de vacío, posteriormente retirar y ubicar la tapa en un lugar limpio y seguro.</p> <p>Retirar el portasustrato del horno.</p> <p>Se obtiene la película delgada multicapa de esta manera: se toma el sustrato con la pinza sustrato se coloca cuidadosamente sobre papel absorbente de manera que la superficie con efecto especular quede hacia arriba y no en contacto con el papel absorbente. Recordar que se debe coger el sustrato por los bordes.</p>
-------------------------------------	--------------------------------------	--

ANEXO E. MANUAL DEL PROCESO DE CRECIMIENTO MULTICAPA DE PELICULAS DELGADAS MODELADO CON ISA S 88

El contenido de este anexo brinda al operario una guía que es necesaria para la fabricación de un lote de películas delgadas multicapa en el equipo Sputtering de tres (3) blancos. La sección A se enfoca en las recomendaciones necesarias a tener en cuenta antes y durante el proceso de crecimiento, protección de los equipos y operarios y el correcto uso de las instalaciones del laboratorio. La sección B presenta la lista de chequeo, que verifica la existencia de los elementos y condiciones que se debe cumplir al inicio del proceso de crecimiento. La sección C detalla el procedimiento de crecimiento multicapa de películas delgadas, con fases del modelo de control procedimental para su ejecución por el operario. La sección D presenta la planilla de registro, la cual se debe de emplear antes y durante el proceso de crecimiento, registrando los valores de presión, temperatura del horno, voltaje aplicado, cada 5 min.

A. Recomendaciones previas a iniciar con el proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.

- ✓ *El operario antes de manipular los equipos, materiales o la instrumentación asociada al proceso de crecimiento de películas delgadas, debe seguir los siguientes pasos:*
 - *Llavarse las manos con jabón Antibacterial y abundante agua.*
 - *Utilizar bata de laboratorio.*
 - *Secarse las manos con papel absorbente.*
 - *Colocarse guantes de látex y utilizarlos hasta finalizar el proceso. (Se sugiere la utilización de doble guante de látex).*
 - *Usar mascarilla de seguridad durante las siguientes operaciones de proceso:*
 - ✓ *Extracción de componentes de la cámara de vacío.*
 - ✓ *Limpieza de componentes de la cámara de vacío.*
 - ✓ *Alistamiento del sustrato.*
 - ✓ *Ubicación de componentes y materia prima al interior de la cámara de vacío.*
 - ✓ *Extracción del material.*
- *Tener en cuenta las siguientes recomendaciones al interior del laboratorio de bajas temperaturas (FISBATEM) :*
 - *No se permite el ingreso de personas ajenas al proceso.*
 - *No se permite consumir ninguna clase de alimentos.*
 - *No se permiten ingerir bebidas alcohólicas.*

- *No se permite fumar.*
 - *Si el operario desea escuchar música debe ser a un volumen adecuado de manera que no perturbe su trabajo, ni tampoco el de los demás investigadores en el laboratorio y/o laboratorios contiguos.*
 - *El uso del computador del laboratorio FISBATEM está destinado a realizar acciones académicas.*
- *El operario antes de iniciar con la operación de proceso Extracción de los componentes de la cámara de vacío, debe de tener en cuenta las siguientes recomendaciones:*
 - ✓ *Revisar y cerrar la llave de agua domiciliaria*
 - ✓ *Realizar la desconexión eléctrica de la bomba turbomolecular TURBO-V 81-AG, de la fuente de voltaje PNC 600, del sensor de presión y del indicador de presión de la fuente de voltaje de 220 V (enchufe de seguridad rojo del Sputtering de tres (3) blancos).*
 - ✓ *Realizar la desconexión eléctrica de la bomba mecánica 2005SD, desenchufando el cable de alimentación # 1 de la fuente de alimentación de 120 V.*
 - ✓ *Realizar la desconexión eléctrica del controlador indicador de temperatura EUROTHERM, desenchufando el cable de alimentación # 2 a la fuente de alimentación de 120 V.*
 - ✓ *Realizar la desconexión eléctrica de la fuente de V-I para la resistencia del horno, desenchufando el cable de alimentación # 3 a la fuente de alimentación de 220 V.*
 - ✓ *Realizar la desconexión eléctrica del controlador-indicador de temperatura EUROTHERM, desenchufando el cable de alimentación # 5 a la fuente de alimentación de 120 V.*
 - ✓ *La válvula de la bala de oxígeno y las válvulas AGA 1 y 2 de la bala de oxígeno deben estar cerradas*
 - *La válvula de la bala de oxígeno se cierra en el sentido de la manecillas del reloj.*
 - *La válvula AGA 1 se cierra girándola en el sentido contrario de las manecillas del reloj.*
 - *La válvula AGA 2 se cierra en sentido contrario de las manecillas del reloj.*

B. Lista de chequeo de la existencia de componentes y materia prima, para el proceso de crecimiento multicapa de películas delgadas.

Jabón Antibacterial	
Papel Absorbente Scott Brite	
Bata de Laboratorio	
Guantes de látex	
Tapabocas ref. ARSEG 1830	
Llave A	

Llave B	
Llave C	
Llave D	
Llave hexagonal E	
Llave F	
Conexiones de refrigeración	
Sustrato de -----	
Blanco de -----	
Blanco de -----	
Blanco de -----	
Calibrador	
Nivel	
Pinza	
Pinza sustrato	
Alcohol industrial	
Acetona	
Equipo de Ultrasonido ELMASONIC E 15 H	
Lija para agua H-98 600	
Lija para agua H-98 1000	
2 Becker 50 ml	
Agua destilada	
Mesa de trabajo	
Destornillador	

C. Procedimiento del crecimiento multicapa de películas delgadas modelado con ISA S88.

La información correspondiente al procedimiento de crecimiento multicapa de películas delgadas por Magnetrón Sputtering DC se detalla en el Anexo D.

