



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE CAMARA DE INSPECCIÓN
COGNEX PARA DBC EN MÁQUINA CORTADORA DE DBC

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN LA INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:

ING. KEVIN GARCÍA RUIZ

ASESOR:

M.I. BENJAMÍN ARROYO RAMÍREZ

CELAYA, GTO.

17 de Abril de 2024

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo principal de mis dos seres queridos: mi mamá Cecilia y mi esposa Adriana, quienes me apoyaron a lo largo de esta trayectoria y siempre me motivaban a continuar con este proceso. Además, me gustaría agradecer al profesor Benjamín, que, gracias a su expertiz y disponibilidad, me guiaron para concluir este trabajo. Para finalizar, quiero agradecer al Instituto Tecnológico de Celaya por abrirme las puertas para desarrollarme profesionalmente.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de sujeciones para sistemas de visión	xiv
--	-----

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Estructura del DBC. La capa superior e inferior es de cobre y la capa intermedia es de cerámica.....	1
Figura 1.2 Adhesión por fusión del material cerámico con el cobre	2
Figura 1.3 Flujo de proceso para el DBC	3
Figura 1.4 Longitud del ancho de DBC toca el borde de la cámara provocando falsos rechazos	4
Figura 1.5 a) Trayectoria ideal del proceso de corte b) Trayectoria real del proceso de corte.....	4
Figura 1.6 a) DBC Centrado para ser inspeccionado por el sistema de visión b) DBC No Centrado para ser inspeccionado por el sistema de visión ..	5
Figura 1.7 Gráfico de control por atributos p (proporción de defectos)	7

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Diagrama de flujo de proceso de diseño [6, p. 6]	9
Figura 2.2 Interpretación gráfica de tolerancia	12
Figura 2.3 Dimensión tolerada donde se muestran los límites superior e inferior de la especificación	12
Figura 2.4 Ejemplo de mal montaje entre eje y barreno. Las líneas de centro no coinciden	14
Figura 2.5 Ejemplos de rectángulos de tolerancia.....	17
Figura 2.6 Información requerida en cada compartimiento del rectángulo de tolerancia.....	17
Figura 2.7 a) Colocación de flecha sobre el contorno de la pieza b) Colocación de flecha sobre prolongación de contorno.....	18

Figura 2.8 Colocación de tolerancia sobre la línea de cota (paralela a la línea de cota)	18
Figura 2.9 Colocación de tolerancia sobre el eje de referencia común para todos los elementos que lo contienen	18
Figura 2.10 Representación de una referencia por medio de un datum.....	19
Figura 2.11 Representación de un rectángulo de tolerancia con tres compartimientos	19
Figura 2.12 a) Tolerancia geométrica con datum A de referencia b) Tolerancia geométrica con la referencia unida directamente al rectángulo de tolerancia	20
Figura 2.13 a) Datum colocado sobre el contorno del elemento b) Datum colocado sobre la prolongación del contorno del elemento	20
Figura 2.14 Referencia colocada sobre el eje de simetría	21
Figura 2.15 Referencia colocada sobre el eje la línea de centros de los dos barrenos concéntricos	21
Figura 2.16 Diferentes procesos elaboran un producto final	22

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Solución sistemática para resolver el problema de falsos rechazos	26
Figura 3.2 Cámara Cognex Insight 7905M.....	27
Figura 3.3 Aro de luz led de 24 VCD	27
Figura 3.4 Diagrama de flujo de proceso de diseño [6, p. 6]	28
Figura 3.5 Diseño de la cámara de inspección en donde se muestran las dimensiones base que sirven para el diseño de su sujeción	30
Figura 3.6 Diseño del aro de luz led en donde se muestran las dimensiones base que sirven para el diseño de su sujeción	30
Figura 3.7 Diseño de base para sujetar cámara.....	31
Figura 3.8 Estructura que sostiene al soporte de la cámara y tiene una guía para los cables	32
Figura 3.9 Estructura que sostiene el aro de luz led	34

Figura 3.10 Simulación de ensamble final para revisión de posiciones e interferencias	35
Figura 3.11 Pánel de DBC [12].....	35
Figura 3.12 Pánel que contiene DBC	36
Figura 3.13 DBC tipo A [13].....	37
Figura 3.14 Distribución de DBC tipo C en un pánel. Se obtienen 24 DBC	38
Figura 3.15 Espesores de un DBC. El espesor total es de 1.2 mm.....	38
Figura 3.16 Máquina Break Box de Baumann Automation [14].....	39
Figura 3.17 Cuchilla de robot y mecanismo de mesa cortando una tira de DBC [14].....	40
Figura 3.18 Dimensiones de la cuchilla de acero	40
Figura 3.19 a) Layout de la mesa de corte b) Proceso de corte a lo largo de toda la mesa de corte	41
Figura 3.20 Mesa de inspección y domos de inspección	42
Figura 3.21 Esquema general de la inspección.....	43
Figura 3.22 Layout general que incluye la mesa de corte, mesa de inspección y el pick&place.....	43
Figura 3.23 Proceso de corte e inspección de DBC	44

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Gráfico de control por atributos p después del rediseño de la estructura de la cámara.....	46
--	----

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1 Datos obtenidos para estudio de capacidad por atributos.....	6
--	---

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Tipos de tolerancias dimensionales con su notación y ejemplo	13
Tabla 2.2 Simbología para indicación de tolerancias geométricas.....	16

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Condiciones específicas de la estructura que se deben cumplir para poder ajustar completamente la cámara	29
---	----

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Datos obtenidos para estudio de capacidad por atributos.....	45
Tabla 4.2 Comparativa de la proporción total.....	47

NOMENCLATURA

$\emptyset$	Diámetro
p	Proporción defectuosa
$\bar{p}$	Proporción defectuosa de todas las muestras
LCS	Límite de control superior
LCI	Límite de control inferior
LC	Límite central
DBC	Direct Bonded Copper
M	Milimétrico
ESD	Descarga electrostática

RESUMEN

En este trabajo, se presenta el diseño de una estructura de sujeción de un sistema de visión de marca COGNEX para la inspección de cortes de DBC. Para diseñar esta estructura se utiliza la metodología de diseño propuesta por Shigley, la cual consta de las siguientes etapas: reconocimiento de la necesidad, definición del problema, síntesis, análisis, evaluación y presentación. Con apoyo de las especificaciones dimensionales de la cámara y recomendaciones de uso para campo del fabricante se obtienen iteraciones iniciales que sirven para plasmarlos en 3D con ayuda del software CAD SolidWorks. Posterior a eso, se realiza la simulación del ensamblaje final para corroborar cualquier tema de interferencia. Al finalizar los diseños, estos se reflejan en planos 2D para poder proceder con la manufactura. La estructura de la cámara influye directamente con la calidad del proceso de inspección, es por ello que se realizan estudios capacidad por atributos para poder liberar la estructura en producción en series.

ABSTRACT

In this work, it is shown the holding structure design for a COGNEX system vision used for DBC inspection. The design methodology proposed by Shigley is used which consists of the following stages: recognition of the need, problem definition, synthesis, analysis, evaluation and presentation. The first 3D drawings were made by taking dimensional specification of the camera and manufacturer's recommendations which were drawn by using SolidWorks software CAD. After that, the simulation of the final assembly was carried out in order to avoid any interference issues. Once the designs were done, their 2D drawings were done in order to manufacture them. The structure of the chamber affects directly the quality of the inspection process, that's why capacity studies were carried out by doing attributes studies to be able to release the structure for series production.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	ii
INDICE DE TABLAS.....	v
NOMENCLATURA	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
TABLA DE CONTENIDO	ix
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO 1: MARCO DE REFERENCIA	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1 DBC (Direct Bonded Copper)	1
1.1.2 Flujo de proceso para los DBC	2
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.5 ALCANCES	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	8
2.1 PROCESO DE DISEÑO	8
2.1.1 Diseño mecánico	8
2.1.2 Fases del diseño	8
2.2 TOLERANCIAS.....	10

2.2.1 Importancia de las tolerancias geométricas y dimensionales	10
2.2.2 Tolerancias	10
2.3 TOLERANCIAS DIMENSIONALES	12
2.4 TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS.....	13
2.4.1 Símbolos para tolerancias geométricas.....	15
2.4.2 Rectángulo de tolerancia.....	17
2.4.3 Elemento controlado con tolerancia geométrica.....	17
2.4.4 Elementos de referencia.....	19
2.5 ESTUDIOS DE CAPACIDAD	22
2.5.1 Gráfico de proporción p por atributos	23
2.5.2 Pasos para la realización del gráfico de proporción p por atributos	24
2.5.3 Análisis de estabilidad para gráfico de proporción p por atributos	25
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO	26
3.1 PLANTEAMIENTO PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	26
3.2 MATERIALES	26
3.3 PROCESO DE DISEÑO	28
3.3.1 Reconocimiento de la necesidad	28
3.3.2 Definición del problema.....	28
3.3.3 Síntesis.....	29
3.3.4 Análisis.....	31
3.3.5 Evaluación	34
3.4 PÁNELES DE DBC	35
3.4.1 Tipos de DBC	36
3.5 PROCESO DE CORTE.....	39

3.5.1 Máquina cortadora de DBC.....	39
3.5.2 Proceso de corte.....	39
3.5.3 Proceso de inspección.....	41
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	45
4.1 ESTUDIOS DE CAPACIDAD	45
4.2 CONCLUSIONES	47
4.3 RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	51
ANEXO A: ADAPTER PLATE	51
ANEXO B: HOLDER.....	52
ANEXO C: LIGHT HOLDER	53
ANEXO D: FINAL ASSEMBLY	54

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de visión son cámaras industriales que realizan inspecciones de piezas en una línea de producción. “Los sistemas de visión son muy versátiles debido a que tienen aplicaciones muy variadas y adaptables a los diferentes sectores industriales, tales como:

- Automotriz. Los sistemas de visión en este sector se usan principalmente para la inspección de piezas de fabricación y ensamblaje.
- Sector agroalimentario. Se utiliza para la selección de frutas y verduras y para la inspección del correcto prensado de latas de conserva, entre otros.
- Empaques. La principal tarea de los sistemas de visión es inspeccionar presencia o ausencia de etiquetas, números de lote, fechas de caducidad, etc.
- Electrónica. Este sector es uno de los más beneficiados ya que es el sector en el que debe de tener menos influencia humana (de esto se comenta más adelante). Los sistemas visión inspeccionan principalmente lo siguiente: correcta soldadura, dimensión de componentes y ensamblaje de componentes.” [1]

La implementación de los sistemas de visión en las industrias en los últimos años ha incrementado debido a sus múltiples beneficios que conlleva. Esta herramienta tecnológica beneficia en los dos pilares principales de las industrias: producción y calidad. “A continuación, se brindan las siguientes ventajas:

- Aumento en la calidad de los productos ya que estos son inspeccionados de forma detallada. Además de que los productos son inspeccionados, en su mayoría, en un 100%.
- Se genera un aumento en la productividad ya que estas inspecciones son automatizadas y la salida del producto se da a un ritmo constante debido a que se reduce los tiempos de inspección de producto.

- El control de calidad es más preciso ya que se da un diagnóstico exacto de las especificaciones del producto. Esto debido a la eliminación del factor humano.” [2]

“Los sistemas de visión se dividen en cuatro tipos: sistemas de visión 1D, sistemas de visión 2D, escaneado lineal o de área y sistemas de visión 3D.

- Sistema de visión 1D. La visión 1D analiza una señal digital de una línea a la vez, en lugar de ver la imagen en su totalidad. Este tipo de sistemas de visión sirve para detectar defectos en materiales fabricados e procesos continuos como hojas o rollos. En este tipo de inspección la cámara se mantiene estática y la pieza a inspeccionar se traslada en forma lineal y controlada.
- Sistema de visión 2D. Este tipo de sistema es el más común y realiza escaneos de áreas. Suele aplicarse para secciones de piezas o piezas completas en las que se buscan la inspección de defectos por secciones dentro del área. Para este tipo de sistemas de inspección, la pieza se mantiene fija y la cámara puede ser fija o movable.
- Escaneado lineal o de área. Este sistema se usa para inspeccionar piezas cilíndricas o redondas en donde se requiere múltiples inspecciones para abarcar toda la superficie. En este tipo de inspección la pieza rota frente a la cámara y ésta se mantiene fija.
- Sistema de visión 3D. Estos sistemas pueden contar con múltiples cámaras o uno o más sensores láser de desplazamiento. Estas cámaras son montadas en diferentes ubicaciones para realizar la triangulación de una pieza en un espacio 3D.” [3]

Las estructuras que sostienen los sistemas de visión son una de las partes más importantes debido a que son puntos de referencia de las cámaras. Estos pueden ser de dos tipos: movibles y fijas, ver figura 1.

- Estructuras movibles. Son aquellas que tienen la capacidad de desplazar la cámara de inspección a lo largo de uno o más ejes. Estas estructuras normalmente tienen un sistema de transmisión, generalmente es un

servomotor acoplado a un tornillo de bolas, con un encoder para controlar la posición de la cámara. También hay casos donde un brazo robótico los mueve y esta trayectoria es programada por el controlador del robot. Estos sistemas se usan normalmente cuando la pieza a inspeccionar es muy grande la cual sale del rango de la cámara y no puede ser tomada en un solo ciclo. La cámara debe desplazarse hasta diferentes puntos de la pieza para poder realizar un ciclo de inspección completo. La calibración de las cámaras con estructuras movibles son escala de grises y geométricos.

- Estructuras fijas. Estas estructuras mantienen la cámara estática ya que, debido a las condiciones geométricas de la pieza, es posible realizar la inspección en un solo ciclo. La calibración de cámaras con sujeción fija es sólo con escala de grises.

Tanto las estructuras fijas como movibles deben contar con un sistema de sujeción de pieza (conocido normalmente como “clampeo de pieza”) con el fin de evitar falsos rechazos en la inspección por motivos de movimientos o vibraciones del entorno que muevan la pieza a inspeccionar.

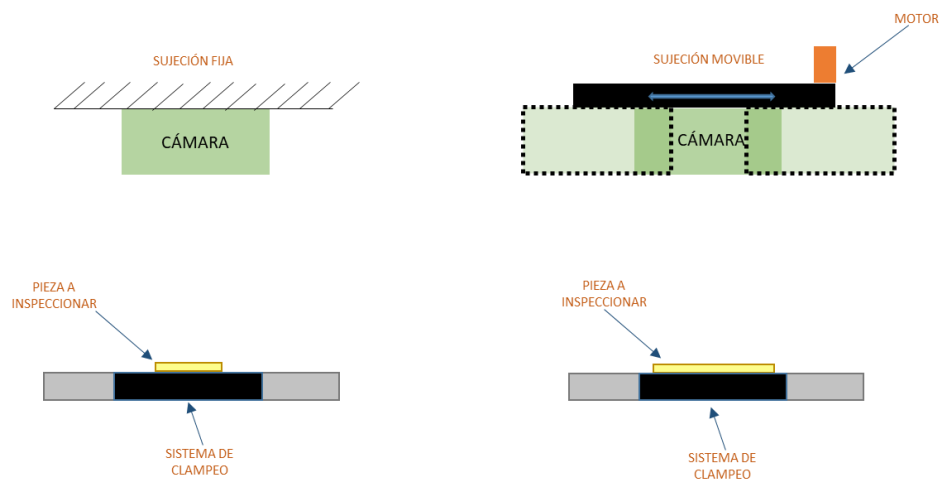


Figura 1 Tipos de sujeciones para sistemas de visión

El uso de los materiales en las estructuras de sujeción de cámaras es un factor muy importante y depende del tipo de industria y aplicación. Este diseño de cámara de inspección se implementa en una industria de ensamblaje de componentes electrónicos en la cual, el uso de materiales disipativos o antiestáticos es

estrictamente mandatorio. Los componentes electrónicos son considerados sensibles a las descargas electroestáticas o ESD (Electrostatic discharge por sus siglas en inglés). “Los materiales se clasifican generalmente atendiendo la capacidad de los electrones para fluir por ellos.” [4]. De manera general, los materiales conductores y semiconductores son considerados materiales disipativos debido a la capacidad de desplazarse de los electrones. Mientras que en un material conductor los electrones se muevan con mayor facilidad, en un material semiconductor los electrones se desplazan de una forma lenta. No importa el tipo de estructura que sea utilice (o el tipo de material), toda la estructura debe de tener una tierra física. “Se dice que un objeto está aterrizado eléctricamente cuando existe un camino por donde los electrones pueden fluir entre un objeto y la tierra.” [4]

En este trabajo se presenta el proceso de diseño para una estructura fija de un sistema de visión en 2D que inspecciona DBC cortados para la industria de electrónica automotriz.

En el capítulo 1 se habla sobre las generalidades de los DBC, su aplicación en la industria de los semiconductores y se menciona el flujo de proceso para la manufactura de los DBC. Además, se explica la importancia del diseño de la estructura de sujeción del sistema de visión por medio de la estadística ya que esta está influenciada para la liberación de producción en series.

El capítulo 2 abarca la información necesaria para poder desarrollar el proyecto, el cual contiene tres grandes pilares: proceso y metodología de diseño, tolerancias geométricas y dimensionales y estudios de capacidad.

El contenido del desarrollo del proyecto se encuentra en el capítulo 3, en el cual se muestra a detalle las fases de la metodología del diseño aplicadas, planos en 2D de las diferentes piezas diseñadas y ensamblaje final para la revisión de interferencias. Al final de este trabajo se encuentran los anexos en los cuales se pueden apreciar los diseños de las piezas.

En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos por medio de estudios de capacidad para la liberación del sistema de visión a producción en series. Se

observa un gráfico por atributos el cual nos muestra la tendencia y estabilidad del proceso. Además, se obtiene la proporción de scrap obtenido por cada muestra. Al finalizar este capítulo se mencionan las conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos.

CAPÍTULO 1: MARCO DE REFERENCIA

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 DBC (Direct Bonded Copper)

Los sustratos de cerámica DBC (Direct Bonded Copper, por sus siglas en inglés) son placas delgadas que se utilizan en circuitos de potencia. En la actualidad, los DBC se han convertido en uno de los componentes de los circuitos electrónicos más importantes para los módulos semiconductores. La estructura de un DBC se compone de 3 capas delgadas: La capa superior e inferior es de cobre y la capa intermedia es de cerámica, la cual normalmente es de óxido de aluminio (también conocido como alúmina). Sin embargo, en aplicaciones económicas se puede usar nitruro de aluminio o nitruro de silicio. Ver figura 1.1.

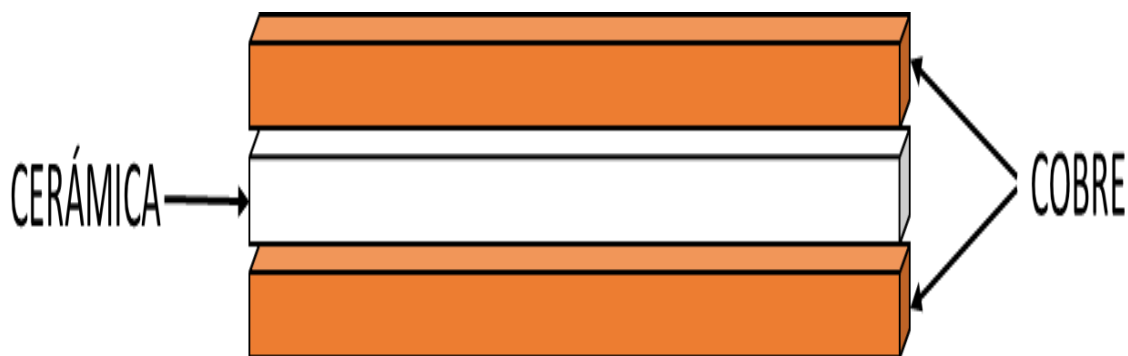


Figura 1.1 Estructura del DBC. La capa superior e inferior es de cobre y la capa intermedia es de cerámica

“Los DBC son producidos mediante la unión de cobre y un material cerámico en altas temperaturas, normalmente mayores a 1000° C. En un rango de 10 °C a 17 °C por debajo de la temperatura de fusión del cobre en una atmósfera controlada con oxígeno se logra una fuerte adhesión ($> 65 \text{ N/cm}$) del cobre con el material cerámico” [5, p. 359]. En la figura 1.2 se puede apreciar un esquema en donde el material cerámico se adhiere a las capas del cobre.

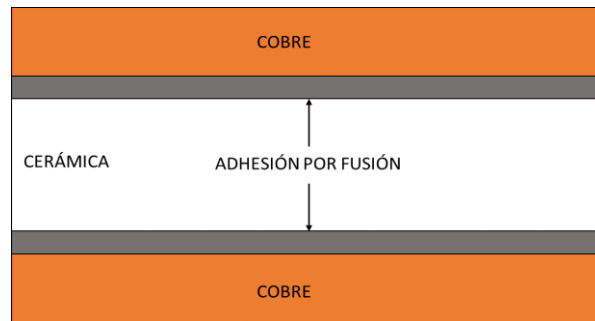


Figura 1.2 Adhesión por fusión del material cerámico con el cobre

Los DBC son capaces de conducir grandes cantidades de corriente eléctrica y no tendrán un incremento de temperatura significativo, siempre y cuando se cuente con un sistema de enfriamiento convencional en el circuito al que se está usando. “1 mm de ancho y 0.3 mm de espesor de material conductor (cobre) en 0.63 mm de espesor de material cerámico puede experimentar un incremento de temperatura de 17°C en un flujo de corriente eléctrica de 100 A, asumiendo que se cuente con un enfriamiento convencional. El coeficiente de expansión de temperatura del cobre es controlado por las propiedades de la cerámica debido a las altas fuerzas de unión ” [5, p. 360]

“Los sustratos DBC han hecho una excelente contribución para los circuitos de potencia electrónicos desde la última década. Principalmente se tienen 5 ventajas que los DBC ofrecen [5, p. 359]:

- Se tiene una alta capacidad de conducción de corriente eléctrica.
- Excelente conductividad térmica.
- Buen coeficiente de dilatación a temperatura controlada
- Alto aislamiento eléctrico.
- Baja capacitancia eléctrica.”

1.1.2 Flujo de proceso para los DBC

Como se mencionó anteriormente, los DBC son producidos en altas temperaturas en el que se realiza la adhesión entre cobre y un material cerámico. Sin embargo, para producir los DBC, es necesario fabricar paneles individuales. A continuación,

se presenta el flujo de proceso general para un DBC el cual consta de 4 etapas. En la figura 1.3 se puede apreciar un esquema del proceso

- 1) Fabricación de panel general
- 2) Se realiza la división del panel de acuerdo a los tamaños de DBC
- 3) Se agrega componentes eléctricos al DBC como resistencias. Además, se realizan divisiones en la capa de cobre. A este proceso se le conoce comúnmente como poblado de DBC.
- 4) Se realizan los cortes para obtener individualmente el DBC.

La etapa 4 será el caso de estudio para este proyecto.

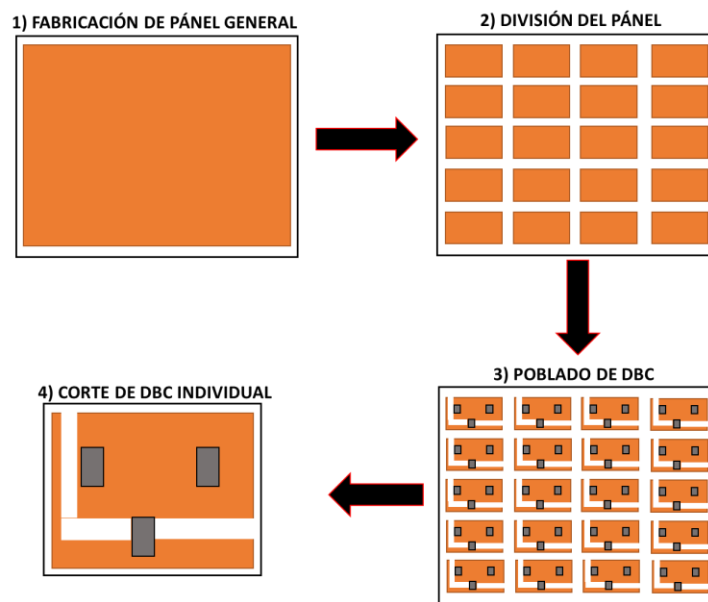


Figura 1.3 Flujo de proceso para el DBC

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Durante la realización de estudios de capacidad para el proceso de corte de DBC individual, se observó que para el DBC más grande, el cual tiene una dimensión de $27.000\text{ mm} \times 30.560\text{ mm}$, el área de visión de la cámara no es capaz de verlo completamente, provocando falsos rechazos durante la producción, debido a que la

longitud del ancho del DBC logra tocar con el área de visión de la cámara, ver figura 1.4

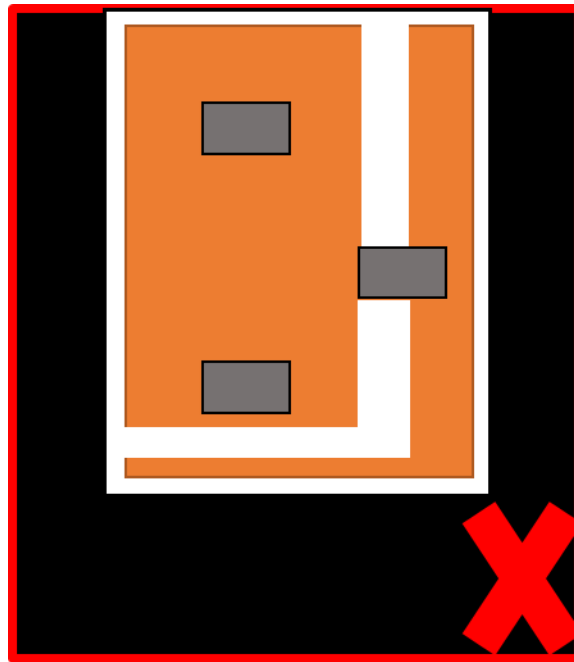


Figura 1.4 Longitud del ancho de DBC toca el borde de la cámara provocando falsos rechazos

Durante el proceso de separación del DBC individual y del pánel, los DBC tienden a moverse de su trayectoria ideal para el proceso de inspección, ver figura 1.5.

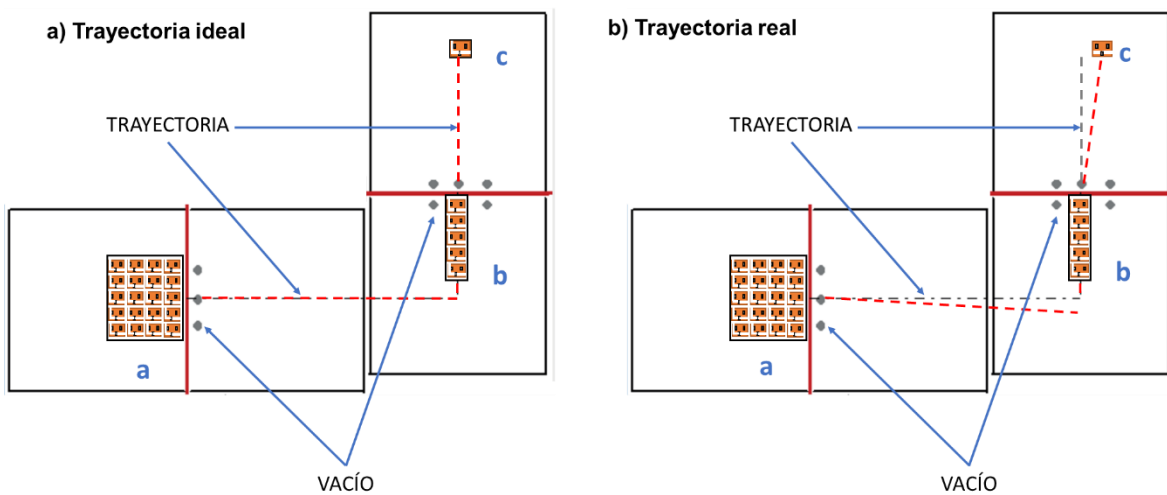
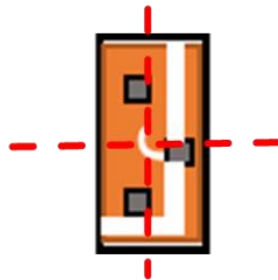


Figura 1.5 a) Trayectoria ideal del proceso de corte b) Trayectoria real del proceso de corte

A pesar de que se tiene un sistema de vacío para la sujeción durante los cortes, en las trayectorias de los puntos *a* hacia *b* y *b* hacia *c*, se pueden tener vibraciones que alteran su trayectoria, tales como vibraciones del brazo robótico que lo mueve (se explicará a detalle más adelante), vibraciones de la máquina y vibraciones del entorno. Este tipo de perturbaciones afectan el punto final de recolección (punto *c*) antes de la inspección. Sin embargo, estas perturbaciones se logran absorber en el área de inspección del sistema de visión de la máquina para los DBC más pequeños. Para el DBC más grande se tiene falsos rechazos debido a que el DBC no se encuentra centrado al momento de la inspección, ver figura 1.6.

a) DBC Centrado



b) DBC No Centrado

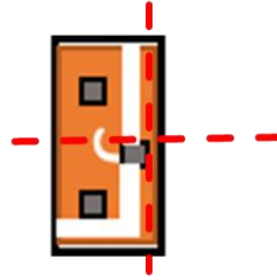


Figura 1.6 a) DBC Centrado para ser inspeccionado por el sistema de visión b) DBC No Centrado para ser inspeccionado por el sistema de visión

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar el proceso de corte de la cortadora de DBC considerando un 80 % de eficiencia.

1.3.2 Objetivos específicos

- Liberar la cámara para todos los tipos de DBC mediante estudios de capacidad.
- Evitar falsos rechazos por DBC en borde del área de inspección durante la producción.
- Disminuir el scrap en un 70%.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la tabla 1.1 se muestran los datos obtenidos para realizar el estudio de capacidad por atributos del DBC más grande con medidas $27.000\text{ mm} \times 30.560\text{ mm}$. Se observa la proporción de defectos encontrados durante veinte grupos de DBC con un tamaño de muestra de treinta DBC.

Tabla 1.1 Datos obtenidos para estudio de capacidad por atributos

# GRUPOS	# DBC	# DBC NOK	p	LCS	LCI	LC
1	30	3	0.10	0.66	0.12	0.39
2	30	17	0.57	0.66	0.12	0.39
3	30	8	0.27	0.66	0.12	0.39
4	30	11	0.37	0.66	0.12	0.39
5	30	13	0.43	0.66	0.12	0.39
6	30	7	0.23	0.66	0.12	0.39
7	30	6	0.20	0.66	0.12	0.39
8	30	10	0.33	0.66	0.12	0.39
9	30	19	0.63	0.66	0.12	0.39
10	30	22	0.73	0.66	0.12	0.39
11	30	5	0.17	0.66	0.12	0.39
12	30	13	0.43	0.66	0.12	0.39
13	30	7	0.23	0.66	0.12	0.39
14	30	16	0.53	0.66	0.12	0.39
15	30	7	0.23	0.66	0.12	0.39
16	30	18	0.60	0.66	0.12	0.39
17	30	14	0.47	0.66	0.12	0.39
18	30	4	0.13	0.66	0.12	0.39
19	30	20	0.67	0.66	0.12	0.39
20	30	13	0.43	0.66	0.12	0.39

En la figura 1.7 se puede apreciar el gráfico de control por atributo de la tabla anterior el cual nos muestra la variación de las proporciones. Se observa que durante las muestras #1, #10 y #19 la proporción sale de los límites de control. Se concluye que

el proceso no es estable. Esto a su vez indica que es un proceso que no puede ser liberado a producción en series.

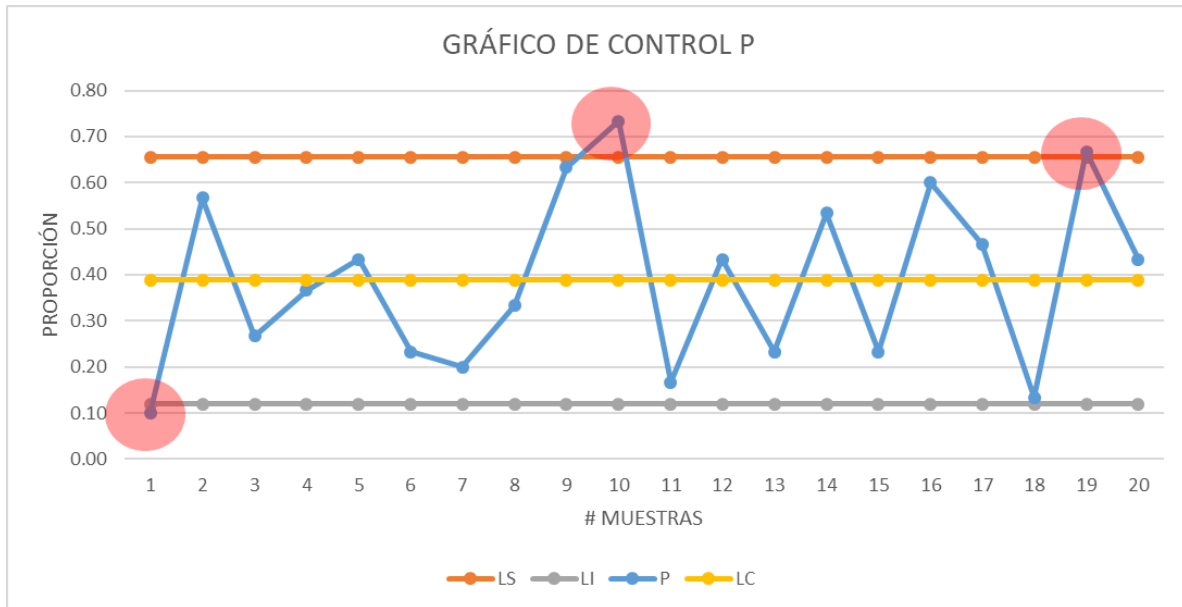


Figura 1.7 Gráfico de control por atributos p (proporción de defectos)

1.5 ALCANCES

- Diseño de estructura para la nueva posición de la cámara.
- Montaje, calibración y centrado de cámara en su nueva posición.
- Realización de programas de cámara de inspección por cada DBC para la nueva posición.
- Realizar estudios de capacidad para liberar la máquina cortadora de DBC a producción en series.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE DISEÑO

2.1.1 Diseño mecánico

El diseño mecánico consiste en la aplicación de diferentes herramientas relacionadas a la ingeniería (en especial a la ingeniería mecánica), tales como resistencia de materiales, tolerancias geométricas y dimensionales, manufactura, matemáticas, estadística, etc., con el fin cubrir la necesidad ingenieril de un proyecto. Este tipo de diseños se realizan con una herramienta de software CAD con el objetivo de probar productos y realizar simulaciones antes de ser fabricados.

“El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones, que en ocasiones deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. Algunas veces las decisiones son provisionales, por lo que es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtenga más información.” [6, p. 4]

2.1.2 Fases del diseño

Para este trabajo se siguió la metodología de diseño propuesta por Richard G. Budynas, la cual consta de las siguientes etapas: reconocimiento de la necesidad, definición del problema, síntesis, análisis y optimización, evaluación y presentación. En la figura 2.1 se puede apreciar el diagrama de flujo del proceso de diseño.

- Reconocimiento de la necesidad: Es la etapa inicial en la cual se reconoce el problema y se tiene la necesidad de resolverlo. Esta etapa es una actividad creativa.
- Definición del problema. A diferencia del primer paso donde se reconoce el problema, en esta etapa la definición del problema es más específica ya que se incluyen todas las especificaciones del objeto a diseñar, todas las entradas y salidas y las limitaciones y restricciones a tomar en cuenta.

- Síntesis: Varios esquemas de solución deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas.
- Análisis y optimización: El diseño es un proceso iterativo en el cual se procede a través de varios pasos, se evalúan los resultados y luego se regresa a una fase previa del procedimiento. De esta manera es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizarlos y optimizarlos y regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema. En la figura 2.1 se muestra que la síntesis, el análisis y la optimización están relacionados en forma íntima e iterativa.
- Evaluación: La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y, por lo general, implica pruebas prototipo. Aquí se desea descubrir si el diseño en verdad satisface las necesidades.
- Presentación: Es una fase de comunicación en donde se presentan los resultados obtenidos.

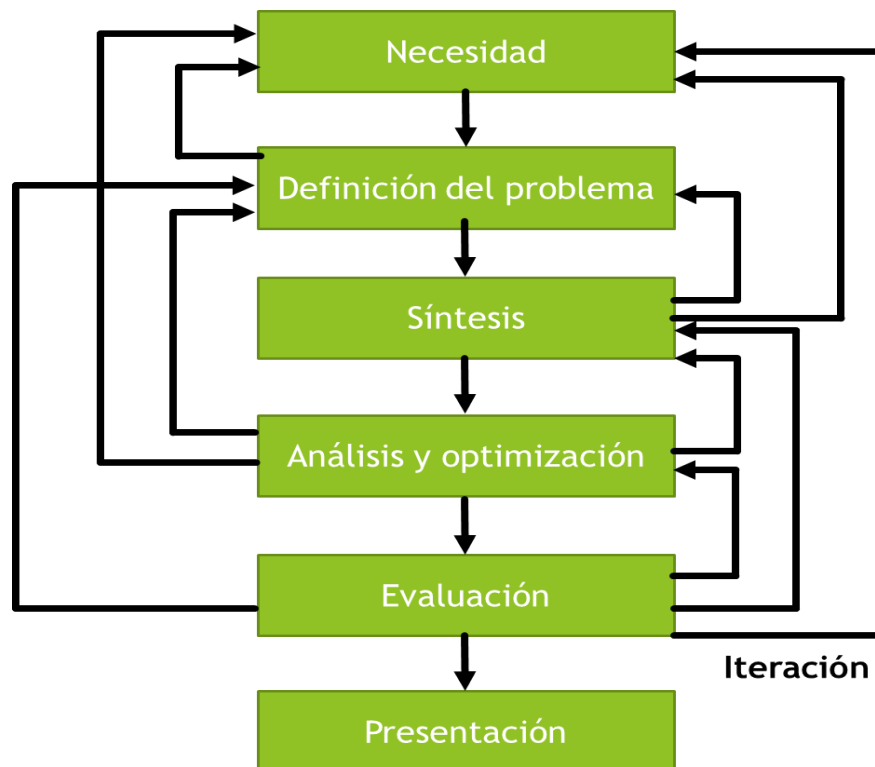


Figura 2.1 Diagrama de flujo de proceso de diseño [6, p. 6]

2.2 TOLERANCIAS

2.2.1 Importancia de las tolerancias geométricas y dimensionales

Cuando se requiere diseñar un ensamble, máquina, mecanismo o simplemente un elemento mecánico, es necesario determinar dimensiones ideales de la o las piezas que lo constituirán. Estas piezas se deben plasmar en un plano para que puedan ser fabricadas.

“Al diseñar una pieza, se debe plasmar la intención del diseño en el plano de y ésta debe ser comunicada apropiadamente a las funciones relevantes. Para esto se auxilia de las tolerancias geométricas, dimensionales y las relacionadas con la textura superficial o acabado. También es importante determinar si la posición relativa de estas superficies es la correcta de acuerdo con las mismas especificaciones.

En los procesos de fabricación nunca se obtienen piezas perfectas, apareciendo siempre desviaciones respecto a los valores óptimos y entre las propias piezas. Las piezas se miden con objeto de comprobar el cumplimiento o no de las especificaciones. Es por ello que se debe establecer una relación entre lo siguiente:

- La pieza creada por el diseñador
- La pieza fabricada
- La pieza medida

Para poder establecer esta relación (pieza diseñada – pieza fabricada – pieza medida) se ha desarrollado una familia de normas denominada GPS (*Geometrical Product Specifications*, por sus siglas en inglés) que definen conceptos básicos, representaciones simbólicas y principios de medida. La principal serie de normas es la ISO 1101:2017 *Geometrical Product Specifications* ” [7, p. 7]

2.2.2 Tolerancias

“Cuando se fabrican piezas siempre se encuentran ciertas distribuciones de medidas ya que es muy difícil que dos piezas sean exactamente iguales debido a irregularidades durante el proceso de manufactura, desgaste de herramientas, vibraciones, etc.

Dependiendo del tipo de aplicación que vaya a tener la pieza y de sus condiciones de servicio se debe decidir qué intervalos de medida van a ser aceptables y cuáles no. Es decir, definir los límites máximo y mínimo en donde la pieza será aceptable. Cuanto menor sea la distancia comprendida entre los dos límites aceptables, mayor precisión se requerirá en la fabricación de las piezas.

Para que una pieza funcione adecuadamente, es necesario que se tenga definido lo siguiente:

- Dimensiones nominales
- Tolerancias dimensionales
- Tolerancias geométricas
- Tolerancias de rugosidad
- Tratamiento térmico (cuando aplique): dureza, profundidad de capa, etc.

La tolerancia es la cantidad total que le es permitido variar a una dimensión especificada, que es la diferencia entre los límites superior e inferior de una especificación. En la figura 2.2 se puede observar la interpretación gráfica de tolerancia. La dimensión especificada es la dimensión deseada llamada dimensión nominal (anteriormente se le denominó dimensión ideal). También se puede definir la tolerancia como la diferencia entre el límite superior menos el límite inferior de la especificación:

$$T = TLS - LIE \quad (2.1)$$

donde

T = Tolerancia

LSE = Límite superior de la especificación

LIE = Límite inferior de la especificación

Prácticamente, podemos decir que la tolerancia es la diferencia de la variación admisible de una dimensión, es decir, la diferencia entre la dimensión máxima y la mínima.

El diseñador determina cuáles son estas dimensiones de acuerdo a las necesidades de la aplicación. Estas dimensiones de las piezas se establecen para una temperatura de 20°C, denominada en metrología dimensional temperatura de referencia. Vale decir, las cotas que figuran en un plano y sus tolerancias están fijadas a 20°C.” [7, pp. 65,66]

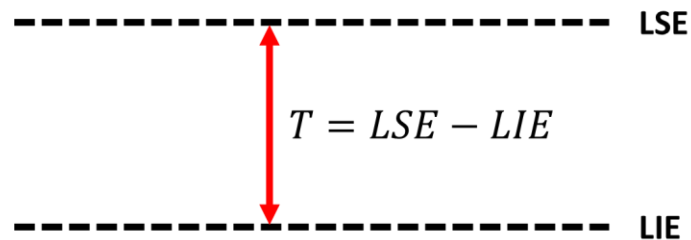


Figura 2.2 Interpretación gráfica de tolerancia

2.3 TOLERANCIAS DIMENSIONALES

“Se puede definir a la tolerancia dimensional como la cantidad total que es permitido variar en la fabricación o una dimensión especificada en el plano según la cota nominal” [7, p. 68]. Una dimensión con tolerancias puede ser escrito como se muestra en la figura 2.3.

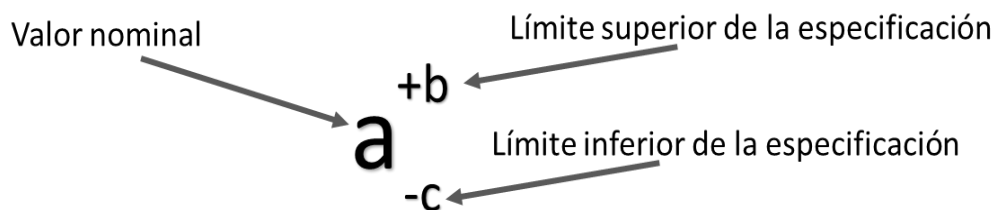


Figura 2.3 Dimensión tolerada donde se muestran los límites superior e inferior de la especificación

Existen tres tipos de tolerancias dimensionales: simétrica, bilateral y unilateral. A continuación, se explican:

Tolerancia simétrica: Una tolerancia simétrica es aquella donde el LSE y el LIE son los mismos, es decir, de acuerdo a la figura 2.3, el valor de b y de c son iguales. Después del valor nominal se escribe el símbolo de más/menos ($\pm$) seguido del valor de la tolerancia. En la tabla 2.1 se muestra un ejemplo y su notación.

Tolerancia bilateral: En tolerancia bilateral los valores de b y c no son iguales. La notación es similar a la figura 2.3. En la tabla 2.1 se muestra un ejemplo y su notación.

Tolerancia unilateral: En la tolerancia unilateral hay variación en un solo sentido, es decir, b y c tienen el mismo signo. También puede ser posible que ya sea, b o c pueden llegar a valer cero. En la tabla 2.1 se muestran ejemplos y su notación.

Tabla 2.1 Tipos de tolerancias dimensionales con su notación y ejemplo

Tolerancia	Notación	Ejemplo
Tolerancia simétrica	$a \pm b$	5 ± 0.1
Tolerancia bilateral	$a \begin{smallmatrix} +b \\ -c \end{smallmatrix}$	$5 \begin{smallmatrix} +0.2 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$
Tolerancia unilateral	$a \begin{smallmatrix} +b \\ +c \end{smallmatrix}$ $a \begin{smallmatrix} -b \\ -c \end{smallmatrix}$ $a \begin{smallmatrix} -b \\ -c \end{smallmatrix}$ $a \begin{smallmatrix} +b \\ 0 \end{smallmatrix}$ $a \begin{smallmatrix} 0 \\ -c \end{smallmatrix}$	$5 \begin{smallmatrix} +0.15 \\ +0.05 \end{smallmatrix}$ $5 \begin{smallmatrix} -0.05 \\ -0.15 \end{smallmatrix}$ $5 \begin{smallmatrix} -0.05 \\ -0.15 \end{smallmatrix}$ $5 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$ $5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix}$

2.4 TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS

Principalmente, se puede decir que existen dos tipos de tolerancias: dimensionales y geométricas. “La tolerancia dimensional controla las medidas o dimensiones de una pieza y la tolerancia geométrica, controla la forma, posición y orientación. En determinadas ocasiones, la tolerancia dimensional puede no ser suficiente para asegurar un correcto montaje y funcionamiento de los mecanismos.” [8]

En la figura 2.4 se muestran un ejemplo en el cual las dimensiones del eje están dentro de especificación (diámetro y longitudes). Sin embargo, se presentan problemas en el montaje. Se observa que las líneas de centro tanto del eje como del barreno no coinciden, por lo que se tiene un defecto de rectitud.

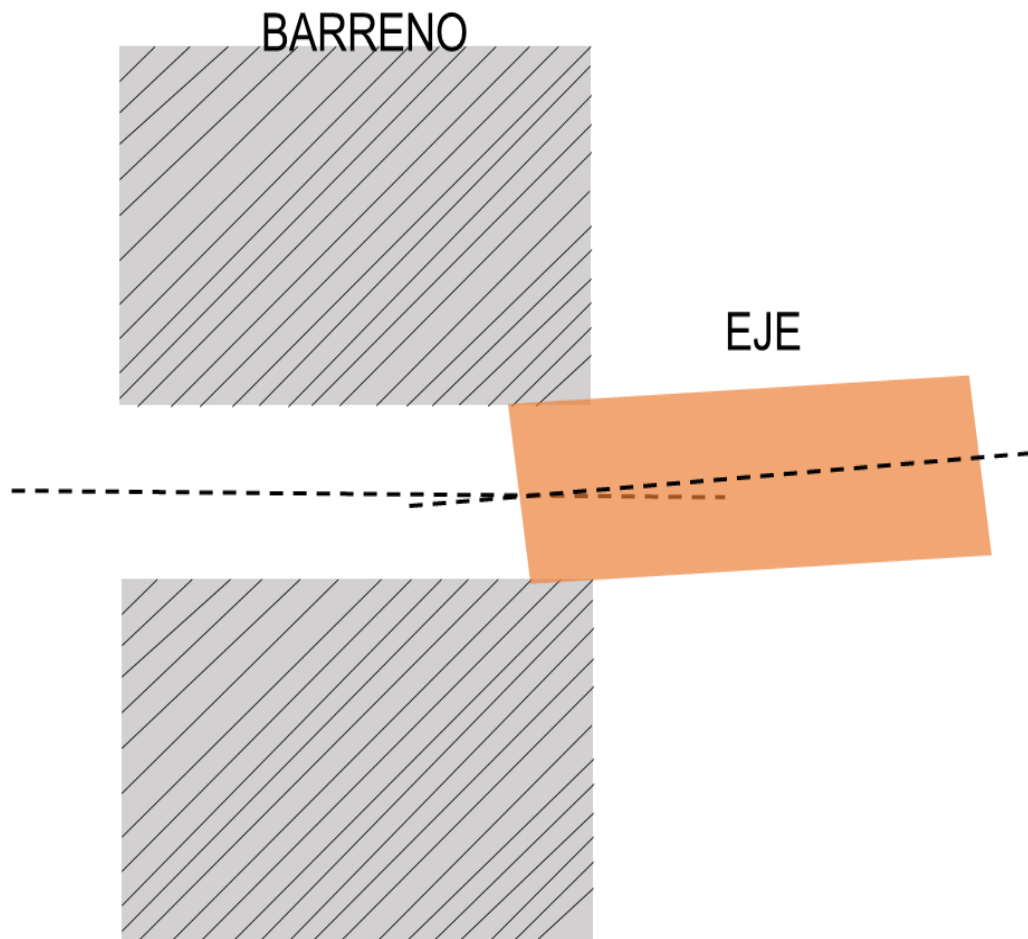


Figura 2.4 Ejemplo de mal montaje entre eje y barreno. Las líneas de centro no coinciden

En la fabricación se pueden producir irregularidades debido a diferentes variables tales como herramientas de corte, sujeciones, tipo de maquinado, material, tratamiento térmico, etc. “Estas irregularidades pueden afectar a la forma, posición y orientación de los diferentes elementos constructivos de las piezas. Una tolerancia dimensional aplicada a una medida ejerce algún grado de control sobre desviaciones geométricas. Por ejemplo: la tolerancia dimensional tiene efecto sobre el paralelismo y planicidad. Sin embargo, en algunas ocasiones la tolerancia de medida no limita suficientemente las desviaciones geométricas; por tanto, en estos casos se deberá especificar una tolerancia geométrica, teniendo prioridad sobre el control geométrico que ya lleva implícita la tolerancia dimensional.

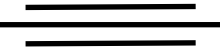
La tolerancia geométrica controla la forma, posición u orientación de los elementos a los que se aplican, pero no sus dimensiones, en otras palabras, podríamos definir la tolerancia geométrica de un elemento como la zona de tolerancia dentro de la cual debe estar contenido dicho elemento. Dentro de la zona de tolerancia el elemento puede tener cualquier forma u orientación, salvo si se da alguna indicación más restrictiva.” [8]

Las normas ANSI Y14.5M, ISO 8015 y la española UNE 1-149 establecen el Principio de independencia: "Cada requisito dimensional o geométrico especificado sobre un dibujo debe ser respetado por sí mismo, al margen de otros que pueda haber, excepto en el caso en que esté especificada una relación particular. Por lo tanto, sin una relación particular especificada, la tolerancia geométrica se aplica sin tener en cuenta la medida del elemento, y ambos requisitos se consideran independientes.”

2.4.1 Símbolos para tolerancias geométricas

Se cuentan con cuatro tipos de tolerancias geométricas: forma, orientación, situación y oscilación. Con referencia a las normas ANSI Y14.5M, ISO 8015 y la española UNE 1-149, se tienen simbología utilizada para la indicación de las tolerancias geométricas. En la tabla 2.2 se muestra esta simbología.

Tabla 2.2 Simbología para indicación de tolerancias geométricas

TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO
FORMA	RECTITUD	
	PLANICIDAD	
	REDONDEZ	
	CILINDRICIDAD	
	FORMA DE UNA LÍNEA	
	FORMA DE SUPERFICIE	
ORIENTACIÓN	PARALELISMO	
	PERPENDICULARIDAD	
	INCLINACIÓN	
SITUACIÓN	POSICIÓN	
	CONCENTRICIDAD Y COAXIALIDAD	
	SIMETRÍA	
OSCILACIÓN	CIRCULAR	
	TOTAL	

2.4.2 Rectángulo de tolerancia

Para colocar una indicación de tolerancia geométrica en un plano, es necesario indicarlo por medio de un rectángulo dividido en dos o más compartimentos. A este rectángulo se le conoce como rectángulo de tolerancia, ver figura 2.5.

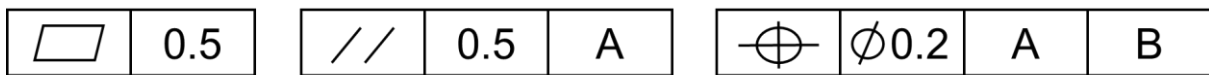


Figura 2.5 Ejemplos de rectángulos de tolerancia

Para poder colocar un rectángulo de tolerancia es necesario saber la relación que existen entre cada compartimiento. Para fines prácticos se les asignará un número, a cada compartimiento, de izquierda a derecha para poder colocar correctamente la información requerida de la tolerancia, ver figura 2.6. En el compartimiento número 1 se coloca el símbolo de la tolerancia, en el número 2 se coloca el valor de la tolerancia y a partir del compartimiento número 3 en adelante se coloca una letra en mayúscula que significa la referencia que toma la tolerancia.

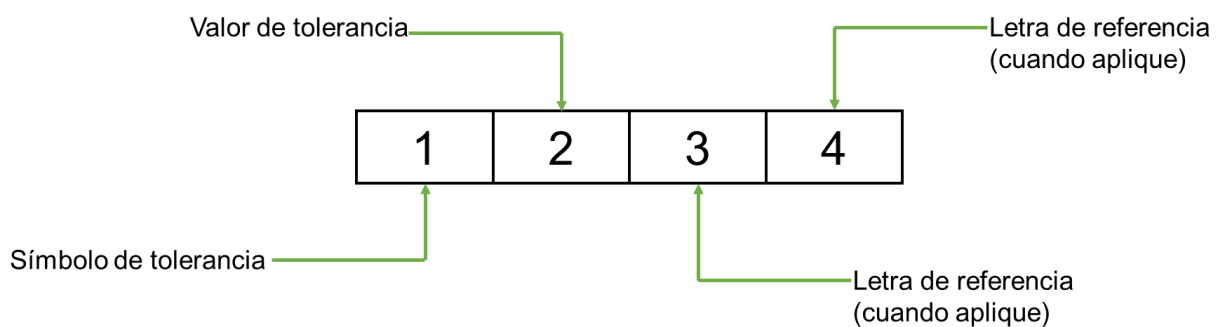


Figura 2.6 Información requerida en cada compartimiento del rectángulo de tolerancia

2.4.3 Elemento controlado con tolerancia geométrica

“El rectángulo de tolerancia se une al elemento controlado o pieza en el plano mediante una línea de referencia terminada en flecha. Se tienen 3 formas de colocar la flecha en el elemento controlado: 1) sobre el contorno del elemento, 2) sobre la línea de cota y 3) sobre el eje o plano que contiene a varios elementos.” [8]

- 1) Sobre el contorno del elemento o en su prolongación. Si se coloca en la prolongación no debe ser colocado sobre la línea de cota, ver figura 2.7.

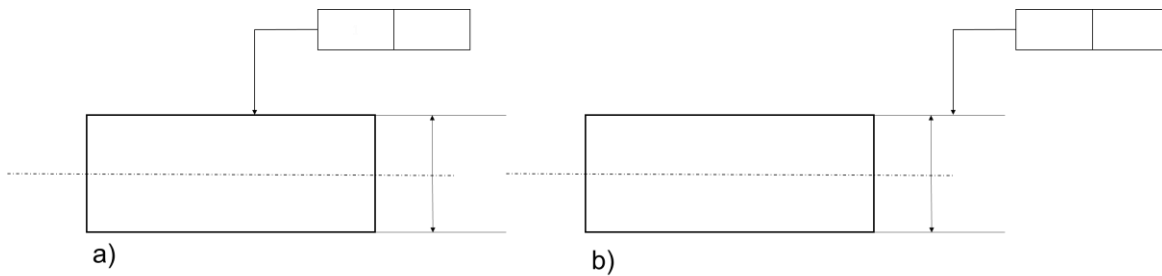


Figura 2.7 a) Colocación de flecha sobre el contorno de la pieza b) Colocación de flecha sobre prolongación de contorno

- 2) Sobre la línea de cota. Cuando se coloca la tolerancia sobre la línea de cota se hace referencia al eje o plano en cuestión, ver figura 2.8.

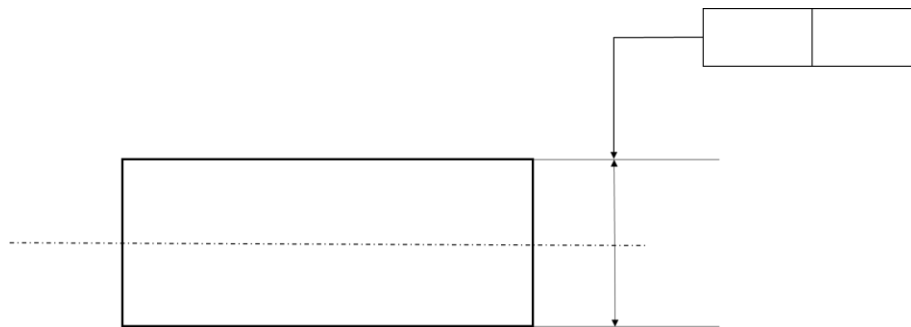


Figura 2.8 Colocación de tolerancia sobre la línea de cota (paralela a la línea de cota)

- 3) Sobre el eje o plano que tiene todos los elementos en común, ver figura 2.9.

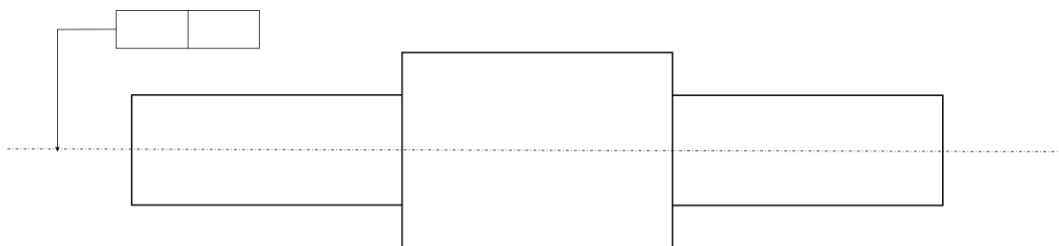


Figura 2.9 Colocación de tolerancia sobre el eje de referencia común para todos los elementos que lo contienen

2.4.4 Elementos de referencia

Un elemento de referencia va identificado por medio de un datum. Este se identifica por medio de una letra en mayúscula en un recuadro que va unido a un triángulo, ver figura 2.10.

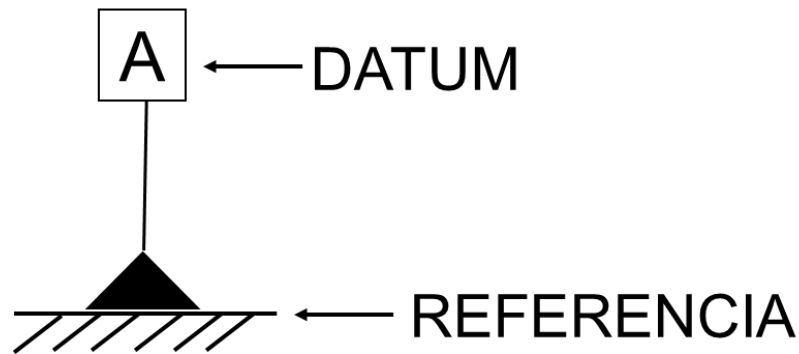


Figura 2.10 Representación de una referencia por medio de un datum

“Cuando el elemento a controlar por medio de la tolerancia geométrica se relacione con una referencia (superficie, eje de referencia, plano, etc) esta debe de identificarse con un datum. La letra mayúscula que se le asigne irá en el rectángulo de la tolerancia (posición 3 en adelante),” [8]

En la figura 2.11 se muestra un elemento controlado con un rectángulo de tolerancia con tres compartimentos. Esta tolerancia indica que la superficie debe ser paralela a la referencia A (superficie) y este paralelismo no debe ser mayor que 0.15 mm.

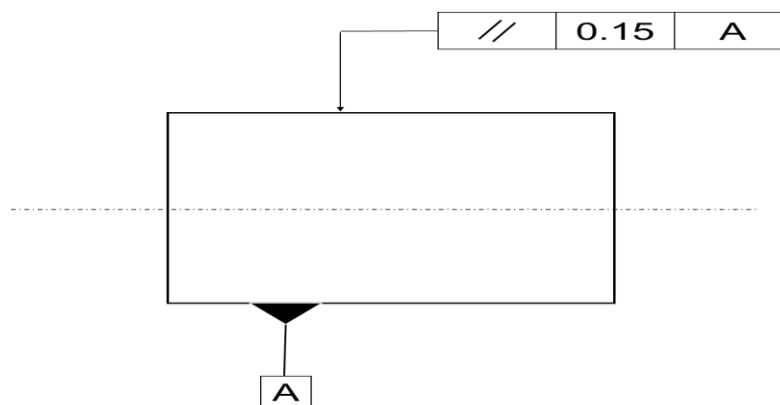


Figura 2.11 Representación de un rectángulo de tolerancia con tres compartimentos

“Hay ocasiones en donde el rectángulo de tolerancia puede unirse directamente al elemento de referencia. Si este es el caso, entonces el datum puede omitirse.” [8]

En la figura 2.12 se muestra un elemento que tiene que ser paralelo a la superficie de referencia y esta tolerancia no debe ser mayor a 0.15 mm. Además, se muestran las dos posibilidades del rectángulo de tolerancia.

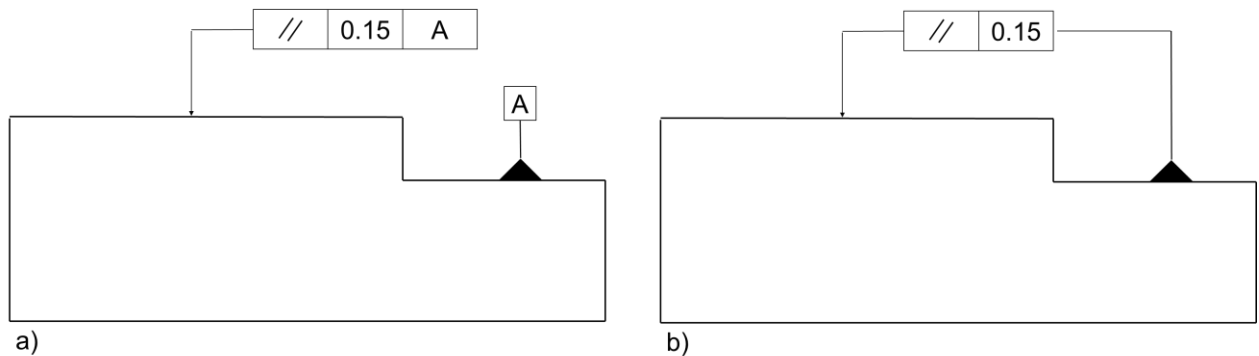


Figura 2.12 a) Tolerancia geométrica con datum A de referencia b) Tolerancia geométrica con la referencia unida directamente al rectángulo de tolerancia

De manera similar a la colocación del rectángulo de tolerancia, se tienen diferentes formas de colocar el datum sobre el elemento de referencia.

- 1) Sobre el contorno del elemento o en una prolongación. Si se coloca en la prolongación, la línea que une el triángulo con el cuadrado no deben estar sobre la línea de cota, ver figura 2.13.

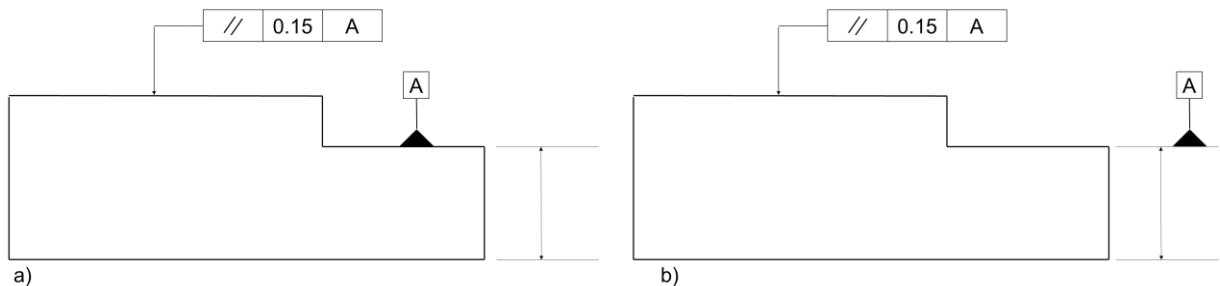


Figura 2.13 a) Datum colocado sobre el contorno del elemento b) Datum colocado sobre la prolongación del contorno del elemento

- 2) Sobre la línea de cota. Cuando se coloca el datum sobre la línea de cota se hace referencia al eje o plano en cuestión. En la figura 2.14 se muestra un

ejemplo de una tolerancia dimensional de coaxialidad la cual el diámetro acotado debe ser concéntrico con respecto al eje de referencia A y esta concentricidad no debe ser mayor de de 0.2 mm diametrales.

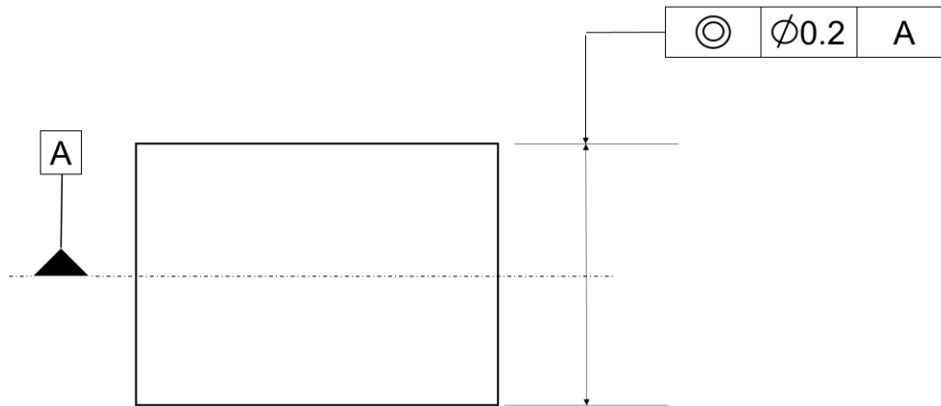


Figura 2.14 Referencia colocada sobre el eje de simetría

- 3) Sobre el eje o plano que tiene todos los elementos en común. En la figura 2.15 se muestra un ejemplo en la superficie de abajo debe ser paralela a la referencia A, la cual es una línea de centros de dos barrenos concéntricos. Este paralelismo no debe ser mayor de 0.2 mm.

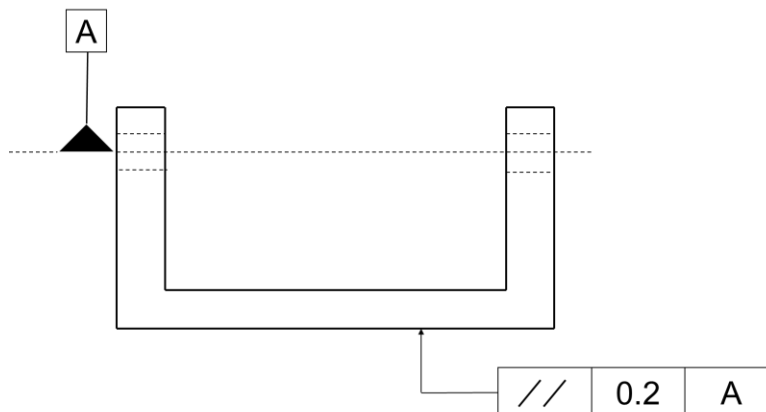


Figura 2.15 Referencia colocada sobre el eje la línea de centros de los dos barrenos concéntricos

2.5 ESTUDIOS DE CAPACIDAD

“Para la elaboración de cualquier producto es necesario contar con un sistema de producción el cual está formado por diferentes procesos que son necesarios para elaborar el producto final, ver figura 2.16.” [9]

Todos los procesos van modificando el producto hasta llegar al producto terminado. Estas modificaciones están restringidas por medio de especificaciones, ya sean dimensionales o geométricas, las cuales deben ser controladas para que el producto final tenga un máximo rendimiento

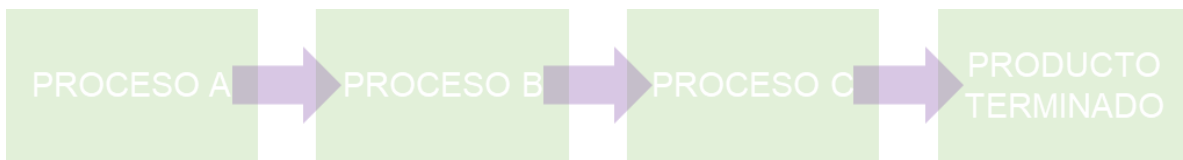


Figura 2.16 Diferentes procesos elaboran un producto final

“El control estadístico de un proceso (CEP) es una herramienta, que ayuda a visualizar de manera ágil la variación natural de un proceso, detectando las causas especiales de variación, y permitiendo que solo varíe debido a causas comunes, pero a pesar de ello, no basta el hecho de que un proceso se encuentre en CEP, no es indicador de que las características de calidad de nuestros productos estén dentro de especificaciones. Para ello se requiere de evaluar su capacidad o habilidad. Se dice que un proceso es hábil, cuando elabora producto con características de calidad consistentemente dentro de especificaciones.” [10, p. 31]

Existen diferentes técnicas estadísticas para poder evaluar la capacidad de un proceso y éstas están separadas en dos grandes rubros: variables y atributos. Las técnicas estadísticas por variables son aquellas donde las especificaciones a controlar están descritas numéricamente y tienen una tolerancia especificada. Por ejemplo, una especificación de un diámetro de un perno $\varnothing 25 \pm 0.1$, el valor del diámetro los pernos puede variar desde 25.1 hasta 24.9 mm para ser considerado dentro de especificación. Por otro lado, cuando se habla de atributos se refiere a una característica que no puede ser descrita numéricamente, sólo se le atribuye la condición “OK” o “NOK”. Por ejemplo, si se habla del mismo diámetro de un perno

de $\varnothing 25 \pm 0.1$, todos pernos que estén dentro de esas especificaciones se le atribuirá que es un perno “OK”, si el perno está por fuera de esas especificaciones se le atribuirá “NOK”. Prácticamente sólo se tienen dos opciones para una especificación por atributo.

Cuando se inspecciona un DBC por medio de un sistema de visión, este puede tener diferentes modos de falla, por ejemplo, corte fuera de especificación, ausencia de componente, corte no paralelo, etc. Cuando un DBC está dentro de especificación se le atribuye que está OK. Por otro lado, si el DBC tiene una o más especificaciones fuera, se le atribuirá NOK. Una buena manera de realizar un estudio de capacidad de una máquina de corte de DBC es por medio de atributos, ya que engloba todas las especificaciones del producto.

2.5.1 Gráfico de proporción p por atributos

“El gráfico p mide la proporción de producto defectuoso o no conforme de un proceso, considerando un muestreo racional. Cada componente, pieza o elemento que se inspeccione, debe identificarse y agruparse como defectuoso o no defectuoso (mencionado anteriormente como OK o NOK), independientemente de la cantidad de defectos que presente. Las unidades NOK se expresan como una fracción decimal del tamaño de muestra.” [11]

Para la obtención de la gráfica de proporción P por atributos, es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos:

Grupos (N): Conjunto de piezas que son enumeradas de acuerdo al orden de inspección. Los grupos contienen muestras (n) o piezas totales que son inspeccionadas. Estas incluyen piezas OK y piezas NOK.

Muestras (n): Cantidad de piezas que tiene un grupo (N).

Piezas defectuosas (np): Es la cantidad de piezas defectuosas que contiene un grupo.

Proporción defectuosa (p): Es la relación entre el número de piezas defectuosas encontrados en un grupo (np) y las muestras de un grupo (n). Se expresa de la siguiente manera:

$$p = \frac{np}{n} \quad (2.2)$$

2.5.2 Pasos para la realización del gráfico de proporción p por atributos

“Para realizar una gráfica de proporción p por atributos es necesario calcular por cada muestra la proporción (o fracción) defectuosa. El eje horizontal tendrá el número de grupos y el eje vertical la fracción defectuosa. Es necesario calcular límites superior e inferior para revisar los criterios de estabilidad. De una manera más fácil se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1) Se debe calcular la proporción defectuosa de cada muestra mediante la ecuación (2.2).
- 2) Calcular la proporción defectuosa de todas las muestras mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} \quad (2.3)$$

donde

$\bar{p}$ =proporción defectuosa de todas las muestras

$\sum np$ =suma de todas las piezas defectuosas

$\sum n$ =suma de todas las muestras

- 3) Se calcula la desviación estándar de la proporción defectuosa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{\bar{n}}} \quad (2.4)$$

donde

σ =desviación estándar de la proporción defectuosa de todas las muestras

$\bar{n}$ =promedio de todas las muestras

- 4) Calcular el límite de control superior e inferior mediante las siguientes ecuaciones:

$$LCS = \bar{p} + 3\sigma \quad (2.5)$$

$$LCI = \bar{p} - 3\sigma \quad (2.6)$$

donde

LCS =límite de control superior

LCI =límite de control inferior

- 5) Representar los datos de fracción, grupos y límites en una gráfica.” [11]

2.5.3 Análisis de estabilidad para gráfico de proporción p por atributos

“Las condiciones de inestabilidad estarán determinadas por la existencia de puntos fuera de los límites de control, serie de seis (6) puntos crecientes o decrecientes, serie de siete (7) puntos consecutivos por encima o por debajo del promedio, más del 90% de los puntos en el tercio central, menos del 45% de los puntos en el tercio central y ciclos repetitivos.” [11]

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 PLANTEAMIENTO PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

El problema a resolver es reestructurar el proceso de corte el cual involucra un rediseño en la estructura de la cámara y una reprogramación en el sistema de visión.

Para la corrección de este problema, se analizaron varias opciones para la cual se eligió la más viable el girar la cámara 90° debido a que el área de visión es de forma rectangular y de esta forma, quedaría la parte más ancha en el lado más largo del DBC, ver figura 3.1.

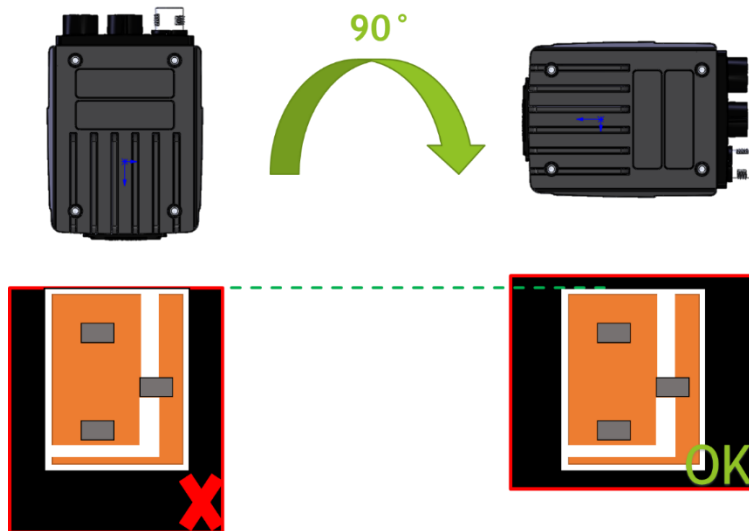


Figura 3.1 Solución sistemática para resolver el problema de falsos rechazos

3.2 MATERIALES

Los principales objetos en cuestión que fueron soportados por la estructura diseñada en este proceso fue una cámara de inspección y un aro de luz led. Estos son provenientes de la empresa Cognex, en Alemania, que se encarga de la fabricación de equipos y sistemas de visión. El modelo de cámara que se tiene es el Cognex Insight 7905M la cual consta de las principales características: tipo de

imagen a color, fuente de alimentación de 24 VCD y resolución de 2448x2048 megapíxeles. En la figura 3.2 se puede observar un modelo CAD de la cámara.

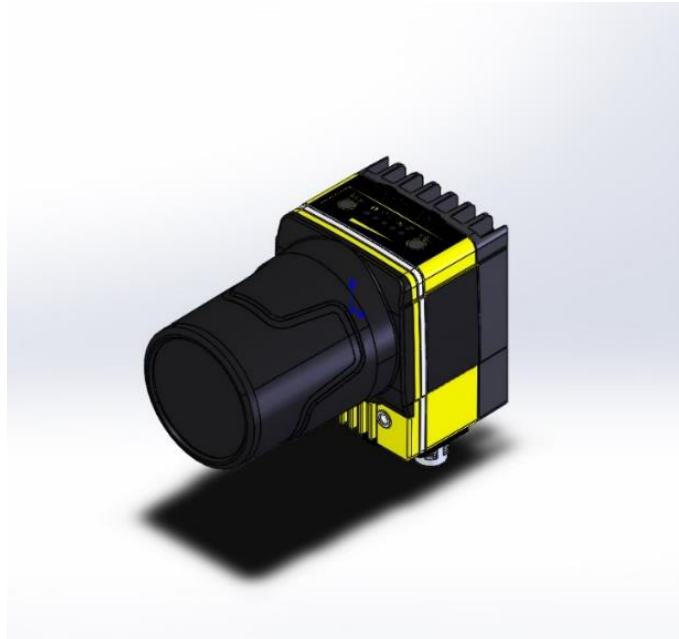


Figura 3.2 Cámara Cognex Insight 7905M

Las características del aro de luz led son las siguientes: fuente de alimentación de 24 VCD, un espesor de 25.5 mm, un diámetro mayor de 116 mm y un diámetro menor de 66 mm. En la figura 3.3 se muestra un diseño CAD del aro de luz led.



Figura 3.3 Aro de luz led de 24 VCD

3.3 PROCESO DE DISEÑO

Para el diseño de esta estructura se siguió la metodología de diseño propuesta por Richard G. Budynas, ver figura 3.4. Esta consta de seis pasos: reconocimiento de la necesidad, definición del problema, síntesis, análisis, evaluación y presentación.

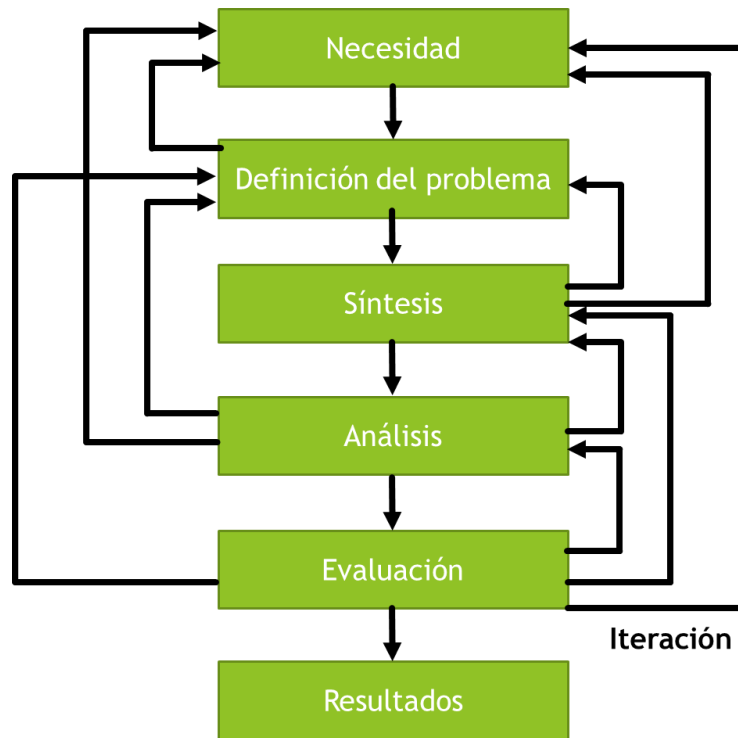


Figura 3.4 Diagrama de flujo de proceso de diseño [6, p. 6]

3.3.1 Reconocimiento de la necesidad

Diseñar y fabricar una estructura fija para sostener una cámara de inspección junto con su aro de luz led.

3.3.2 Definición del problema

Diseñar y fabricar una estructura fija para sostener una cámara de inspección junto con su aro de luz led, bajo las condiciones de la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Condiciones específicas de la estructura que se deben cumplir para poder ajustar completamente la cámara

CONDICIÓN	ESPECIFICACIÓN
Distancia del lente de la cámara al objeto de inspección	33^{+5}_{-5} cm
Materiales de la estructura	Disipativos
Ajuste de posición de cámara en eje Y	>5 mm
Ajuste de posición de cámara en eje X	>5 mm
Concentricidad de cámara y aro de luz	Max 1 cm
Altura de aro de luz con respecto al lente de la cámara	El lente debe de estar dentro del espesor de 25.5 mm
Manufactura de la estructura.	Que sea fácil de manufacturar y que no se requiera ningún herramental especial para poder alcanzar las especificaciones.

3.3.3 Síntesis

Primero se revisó el diseño de la cámara para poder tomarlo como referencia en la estructura. En la figura 3.5 se observa el diseño de la cámara. Como se puede apreciar en el dibujo, el fabricante coloca 4 barrenos roscados M3 con paso de 0.5 mm y con una profundidad de 3.5 mm. Esto nos indica que el fabricante colocó esos barrenos por diseño como única opción para sujetar la cámara, ya que esta cámara se considera un producto de manejo especial y si se sujeta de manera errónea, se puede dañar un componente interno. Además, se observa las dimensiones base de la cámara: ancho de 2.38 pulgadas, largo de 2.87 pulgadas y una altura total de 4.58 pulgadas. Otro aspecto importante del diseño es la consideración de los cables debido a que se deben de considerar como parte de la estructura y que tenga incluida una guía o canaleta. Estos cables son de alimentación, comunicación y salida, y están situados en la parte trasera de la cámara. También se revisó el diseño de la lámpara para sacar las dimensiones clave que se usaron para obtener un diseño de su sujeción. En la figura 3.6 se observa las dimensiones base de la lámpara, así como también los barrenos con cuerda para su sujeción. El fabricante de la lámpara optó por agregar barrenos M3 para sujetar. Estos barrenos están distribuidos simétricamente en un círculo de referencia de 108 mm. De manera similar, se tomará la distribución de los barrenos para poder tomarlo como referencia

en el diseño de la sujeción. En este caso es de 76.4 mm la distancia entre barrenos, formando un cuadrado y en cada arista del cuadrado está localizado el centro del barreno. Cabe mencionar que la posición del lente de la cámara debe de estar sobre el espesor del aro de luz y concéntrica, por lo que la estructura debe de ser ajustable en el eje Z.

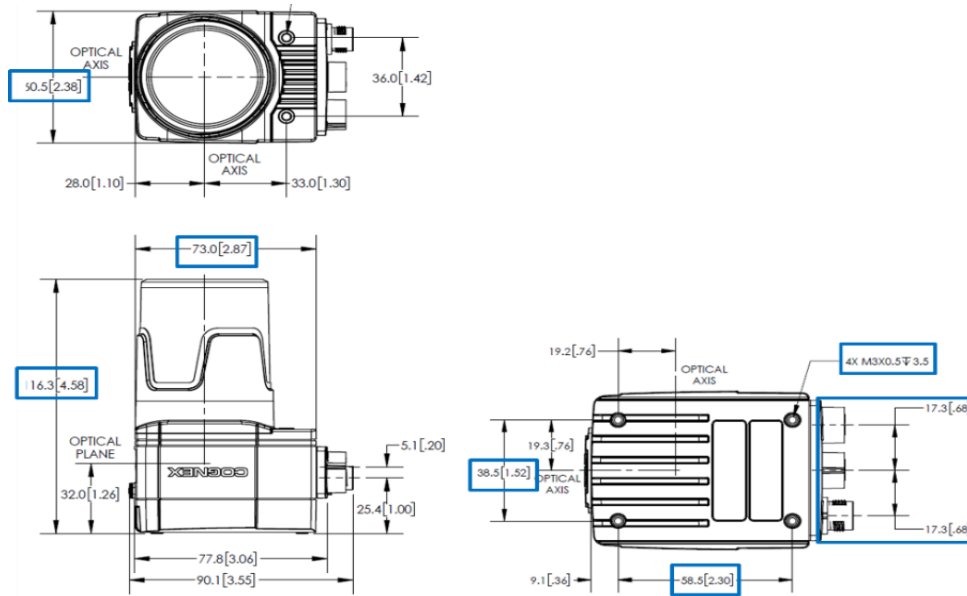


Figura 3.5 Diseño de la cámara de inspección en donde se muestran las dimensiones base que sirven para el diseño de su sujeción

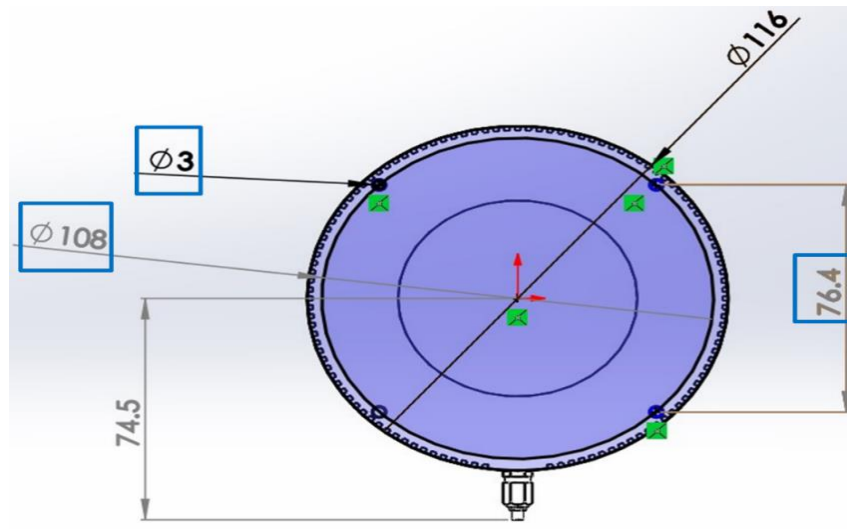


Figura 3.6 Diseño del aro de luz led en donde se muestran las dimensiones base que sirven para el diseño de su sujeción

3.3.4 Análisis

Se opta por una base rectangular para sujetar la cámara. Esta tiene una guía de 20 mm entre centros para poder ajustar la cámara en el eje Y. Por lo tanto, la condición de ajuste >5 mm en el eje Y se cumpliría, ver figura 3.7. Cabe mencionar que se le colocó una tolerancia de 1 décima ($+0.05/-0.05$) entre centros de las guías para evitar un desalineamiento cuando se ensamble la cámara con la base. El material de esta base será de aluminio para evitar la oxidación de este componente y que la estructura no esté pesada. Al ser material de aluminio se está cubriendo la condición de material disipativo.

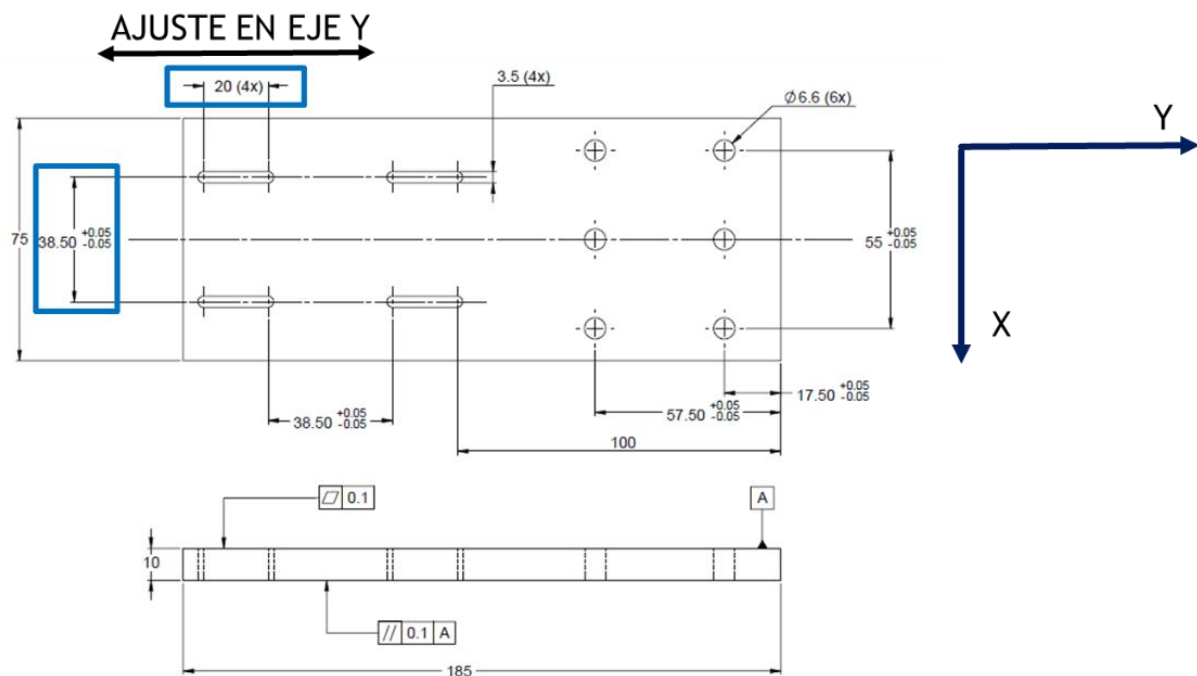


Figura 3.7 Diseño de base para sujetar cámara

Para evitar que los conectores de los cables se dañen, se diseñó una canaleta o guía que estará situada debajo de la sujeción de la cámara. Esta guía sostiene el soporte de la cámara y está fija a un perfil general. En la figura 3.8 se observa que tiene 6 barrenos M6 que estarán alineados a los seis barrenos de 6.6 mm de la base para sujetar la cámara (ver figura 3.7). Estos barrenos tienen una línea de centros con referencia D (nótese que los dos barrenos centrales están sobre esa misma referencia) y la distancia entre barrenos tienen una tolerancia igual de 1 décima

($+0.05/-0.05$). Los cuatro barrenos exteriores separados a una distancia de 100 mm serán los que servirán para sujetar la guía de cables a un perfil general. Dado que la posición de la cámara debe de estar lo más alineada posible, es decir, tener un paralelismo con respecto a un nivel de referencia, se optó por colocar dos tolerancias geométricas de tal manera que asegura una alineación desde la base y que no afecte a la inspección de la cámara. Además de que estas tolerancias geométricas ayudarán a la alineación de todo el ensamble. Se requiere una planicidad de la base superior de 0.1 mm y la parte inferior debe de ser paralela a ésta con máximo 0.1 mm.

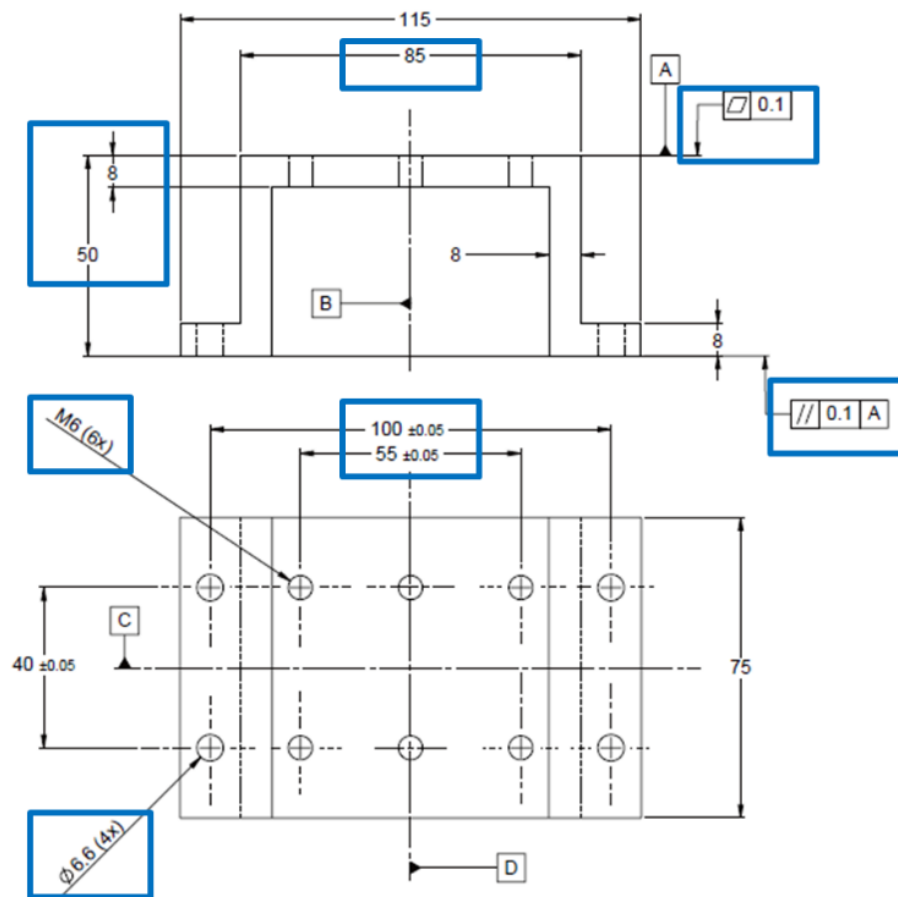


Figura 3.8 Estructura que sostiene al soporte de la cámara y tiene una guía para los cables

El área transversal por donde pasan los cables y conectores es lo suficientemente grande para evitar alguna interferencia y rozamiento de cables con la guía. Esta

tiene una altura de 42 mm y una base de 69 mm. El material de esta guía será de aluminio, cumpliendo la condición de material disipativo. Además, al ser de aluminio, la estructura no se vuelve demasiado pesada, facilitando el montaje de los componentes.

Para la estructura de la lámpara se toma como referencia la distancia entre centros de barrenos de 76.40 mm con una tolerancia de 1 décima ($+0.05/-0.05$). En la figura 3.9 se puede observar que esa distancia se conserva a centros de las guías para poder posicionar el aro de luz en el eje Y. Adicional, el ancho de las guías es de 5 mm, esto significa que el aro de luz podrá ajustarse también en el eje X. Al tener la libertad de posicionar el aro de luz en el eje X y Y se está cumpliendo la condición de concentricidad entre el aro de luz y el lente de la cámara de 1 cm máximo. Nótese que la estructura de la lámpara consta de dos partes: parte A y parte B. Estas partes fueron soldadas con soldadura con electrodo. Se observa que en la parte B consta de dos guías adicionales y cuya función es posicionar el aro de luz led a lo largo del eje Z. Al tener esta libertad de posición se cumple el punto de que la posición del lente debe de estar dentro del espesor del aro de luz. Nótese que la estructura que sujeta al aro de luz es independiente a la guía y soporte de la cámara, por lo que esta se montó sobre el perfil general. Un punto adicional al diseño considerado es que en la parte B tiene un corte rectangular de 73 mm de ancho y 26.5 mm de largo. Este corte se hizo como medida de protección de los cables ya que, si la estructura debe subirse sobre el eje Z, esta no choque con los cables.

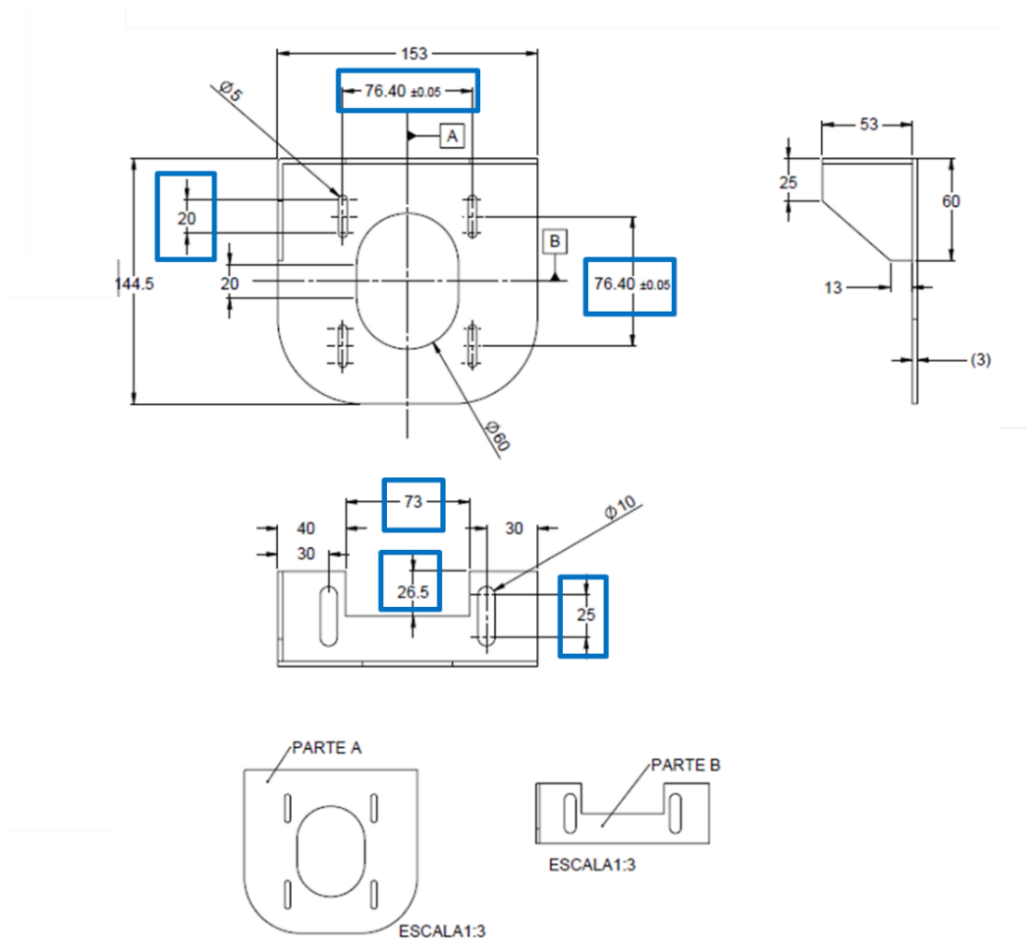


Figura 3.9 Estructura que sostiene el aro de luz led

3.3.5 Evaluación

Antes de mandar a fabricar los componentes, fue necesario realizar una evaluación de interferencia y posición para asegurar que todas las condiciones necesarias fueran cumplidas. En la figura 3.10 se muestra el ensamble de toda la estructura. Se puede observar que se tiene dos perfiles generales que sostienen a todo el subensamble de la cámara y el aro de luz. El perfil horizontal cuenta con guías lineales para permitir el movimiento a lo largo del eje X de la cámara. Con esta guía lineal fabricada en el perfil se está cumpliendo la condición de ajuste de posición de la cámara en el eje X de >5 mm.

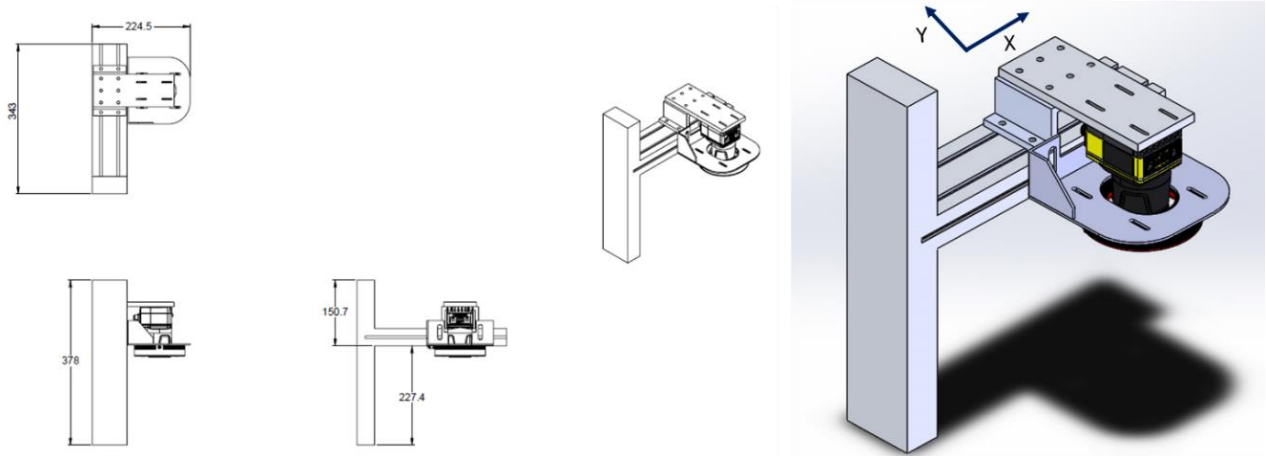


Figura 3.10 Simulación de ensamble final para revisión de posiciones e interferencias

3.4 PÁNELES DE DBC

Los paneles de DBC son recibidos para realizar el proceso de corte individual. Estos paneles pueden contener desde 24 hasta 36 DBCs, según sea su tamaño de DBC, ver figura 3.11.

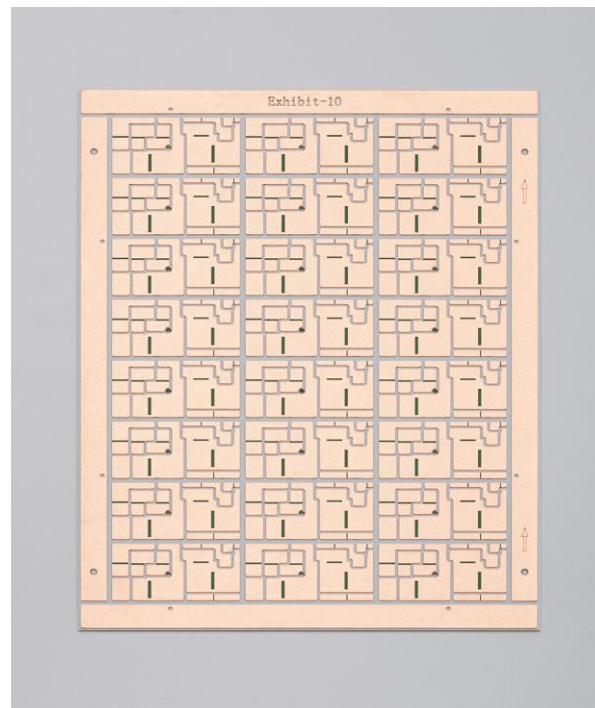


Figura 3.11 Pánel de DBC [12]

La dimensión de las plantillas es de tamaño estándar, de $178\text{ mm} \times 127\text{ mm}$, ver figura 3.12. Esto es, debido a que los contenedores de las plantillas deben ser del mismo tamaño para facilitar la automatización de los procesos. Estos contenedores son insertados en máquinas, en donde un robot toma la plantilla y realiza el corte de manera individual para poder obtener los DBC por separado. Este procedimiento se explicará más adelante. Adicionalmente, cada plantilla debe tener un espacio de 0.6 mm en los bordes y una separación de 1.2 mm entre DBC.

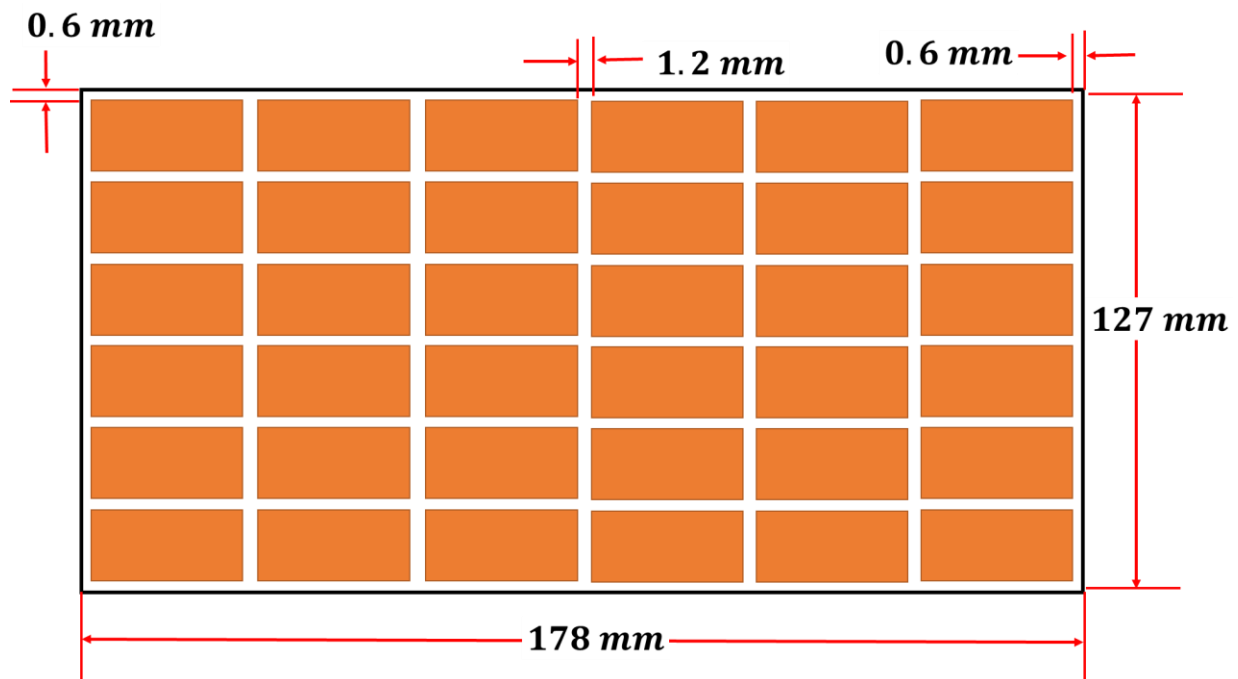


Figura 3.12 Pánel que contiene DBC

3.4.1 Tipos de DBC

A pesar de que todos los paneles tienen el mismo tamaño ($178\text{ mm} \times 127\text{ mm}$), estos contienen diferentes tipos de DBC los cuales se clasifican de acuerdo a su tamaño. Se cuentan con cuatro tipos diferentes de tamaños de DBC los cuales se enlistan abajo. En la figura 3.13 se muestra un DBC tipo A.

- Tipo A: $21.166\text{ mm} \times 29.633\text{ mm}$
- Tipo B: $22.225\text{ mm} \times 30.433\text{ mm}$
- Tipo C: $22.225\text{ mm} \times 30.560\text{ mm}$
- Tipo D: $27.000\text{ mm} \times 30.560\text{ mm}$

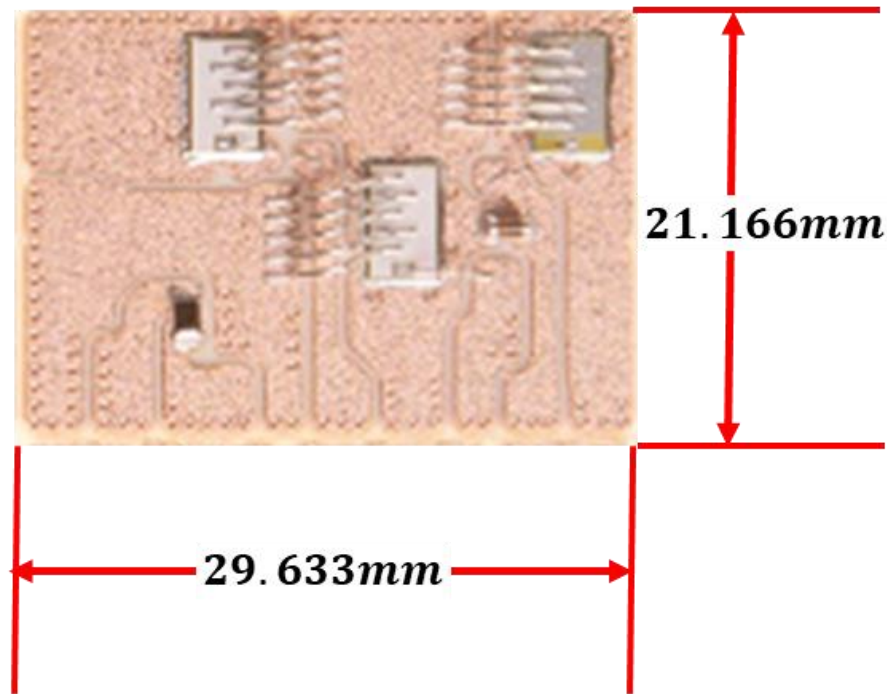


Figura 3.13 DBC tipo A [13]

Dependiendo del tamaño de DBC, será la cantidad que se obtenga de la placa original. Así, para un tipo A ($21.166\text{ mm} \times 29.633\text{ mm}$) se obtendrá 36 DBC, para un tipo B ($22.225\text{ mm} \times 30.433\text{ mm}$) se obtendrá 32, para un tipo C ($22.225\text{ mm} \times 30.560\text{ mm}$) se obtendrá 24 y para un tipo D se obtendrá ($27.000\text{ mm} \times 30.560\text{ mm}$) 18. Para los DBC tipo C y D se tendrá un sobrante superior que es desechado. En la figura 3.14 se muestra la distribución del DBC tipo C en el pánel. Las piezas 8 superiores restantes en cada columna es scrap.

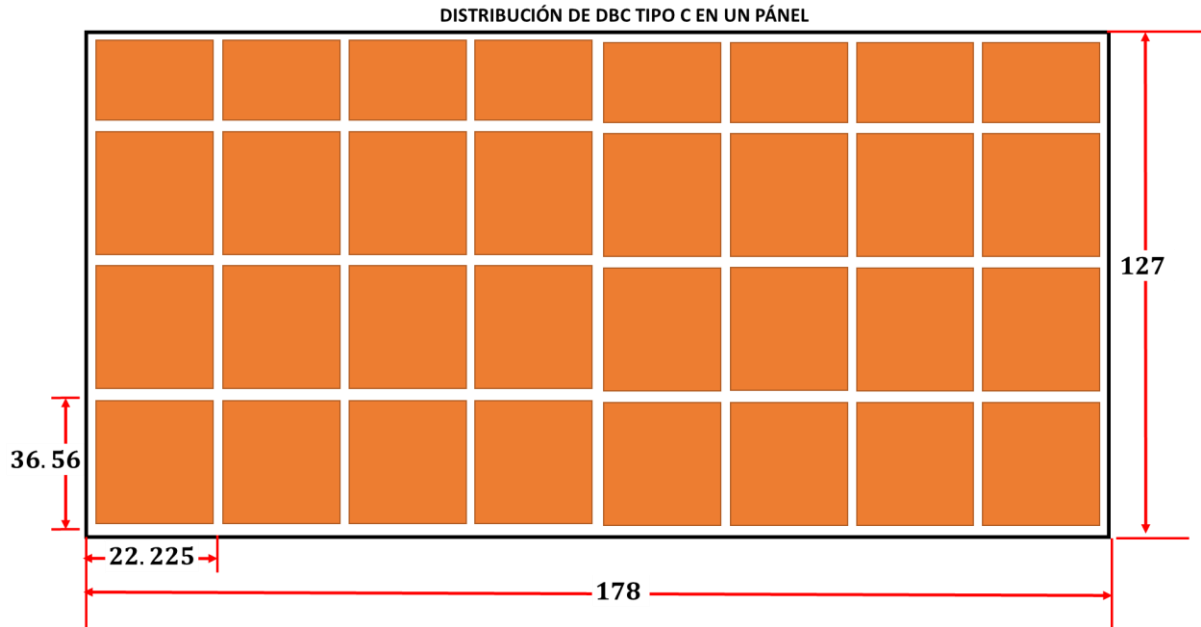


Figura 3.14 Distribución de DBC tipo C en un panel. Se obtienen 24 DBC

Aunque se tengan diferentes tipos de tamaños de DBC, los espesores de las capas de cobre y la cerámica son iguales para cada tipo. El espesor del cobre es de 0.3 mm por lado, mientras que el espesor de la capa de la cerámica es de 0.6 mm . Esto da un espesor total de 1.2 mm . En la figura 3.15 se muestra un esquema de los espesores de las capas del cobre y el material cerámico.



Figura 3.15 Espesores de un DBC. El espesor total es de 1.2 mm

3.5 PROCESO DE CORTE

3.5.1 Máquina Cortadora de DBC

El proceso de corte de DBC se realiza de forma automatizada en una máquina tipo *Break Box* por Baumann Automation. En la figura 3.16 se muestra la máquina usada para realizar el proceso de corte. La máquina cuenta con 2 estaciones: una estación de corte y una estación de inspección. Además, cuenta con 2 robots que facilitan la automatización del proceso; el primero tiene una cuchilla para cortar los DBC y un gripper para tomar los paneles individuales y el segundo, posee un gripper para colocar los DBC cortados en una charola de descarga después de ser inspeccionados por la cámara de inspección. También cuenta con 1 pick&place auxiliar para colocar un DBC individual a la estación de inspección. A continuación, se explica el proceso de corte y de inspección:



Figura 3.16 Máquina Break Box de Baumann Automation [14]

3.5.2 Proceso de corte

Un panel de DBC es tomado por el primer robot y colocado sobre una mesa de corte el cual fija al panel por medio de vacío. La mesa de corte tiene un mecanismo en el cual una sección de la mesa se mueve hacia abajo para facilitar el corte. El mismo robot tiene una cuchilla la cual es utilizada para ejercer presión sobre la parte de

cerámica y cortar una tira del panel. Al mismo tiempo, la mesa de corte realiza un movimiento hacia abajo para apoyar a la cuchilla y poder realizar el corte de una tira de DBC. En la figura 3.17 se muestra el robot ejerciendo presión hacia abajo sobre la parte cerámica y a su vez, una sección de la mesa de corte se mueve hacia abajo para separar una tira del resto del panel. En la figura 3.18 se muestra las dimensiones de la cuchilla usada para el proceso de corte. El material es acero inoxidable V2A.



Figura 3.17 Cuchilla de robot y mecanismo de mesa cortando una tira de DBC [14]

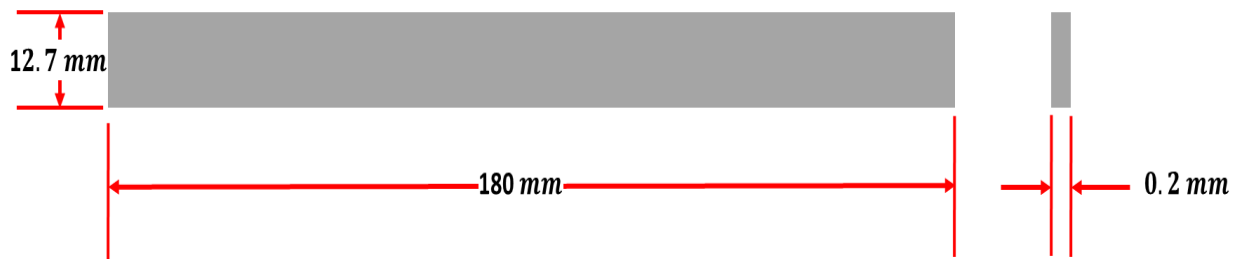


Figura 3.18 Dimensiones de la cuchilla de acero

Después que la tira se separa del resto del panel, el robot empuja la tira, por medio de la cuchilla, a una segunda mesa de corte para realizar el corte de DBC individual. La mesa de corte sujeta la tira por medio de vacío. De la misma manera para cortar

la tira, el robot ejerce presión sobre la parte de cerámica y a su vez la mesa de corte se mueve hacia abajo para poder separar el DBC de forma individual.

En la figura 3.19 a) se muestra un layout de la mesa de corte en donde se indica el mecanismo para cortar, los conductos de la línea de vacío para sujetar el panel y la trayectoria que se recorre. En la figura 3.18 b) se muestra el proceso de corte a lo largo de toda la mesa de corte.

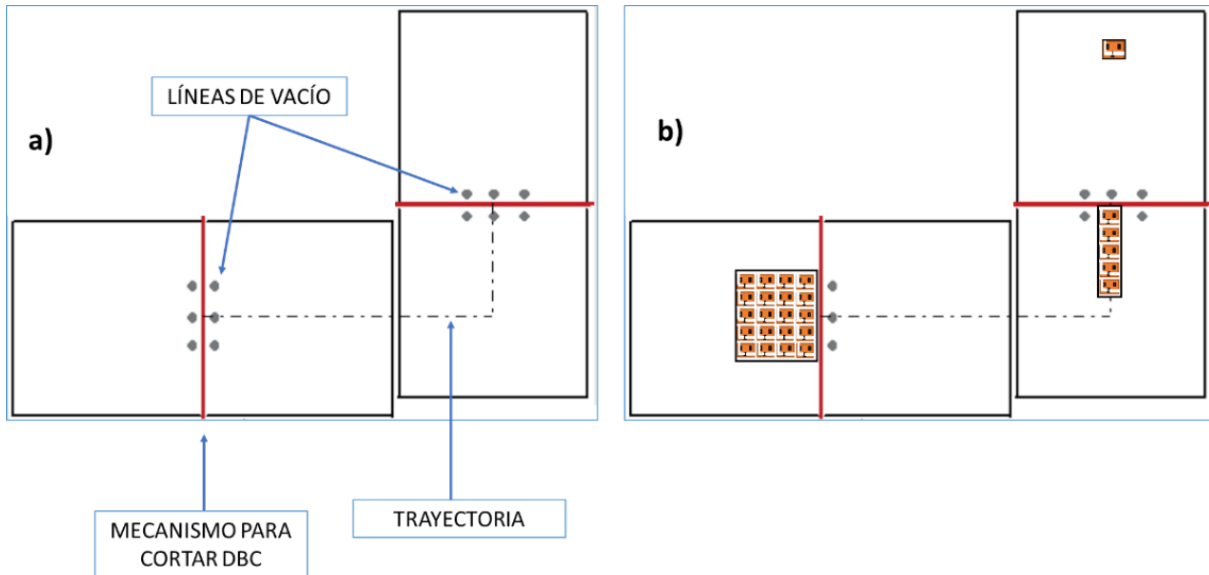


Figura 3.19 a) Layout de la mesa de corte b) Proceso de corte a lo largo de toda la mesa de corte

3.5.3 Proceso de inspección

Una vez que se ha cortado un DBC individual, el pick&place toma el DBC y lo coloca sobre un domo de inspección que está sobre una mesa rotativa. En la figura 3.20 se muestra un diagrama de la mesa rotativa con los domos de inspección. El domo tiene un conducto de vacío para fijar al DBC.

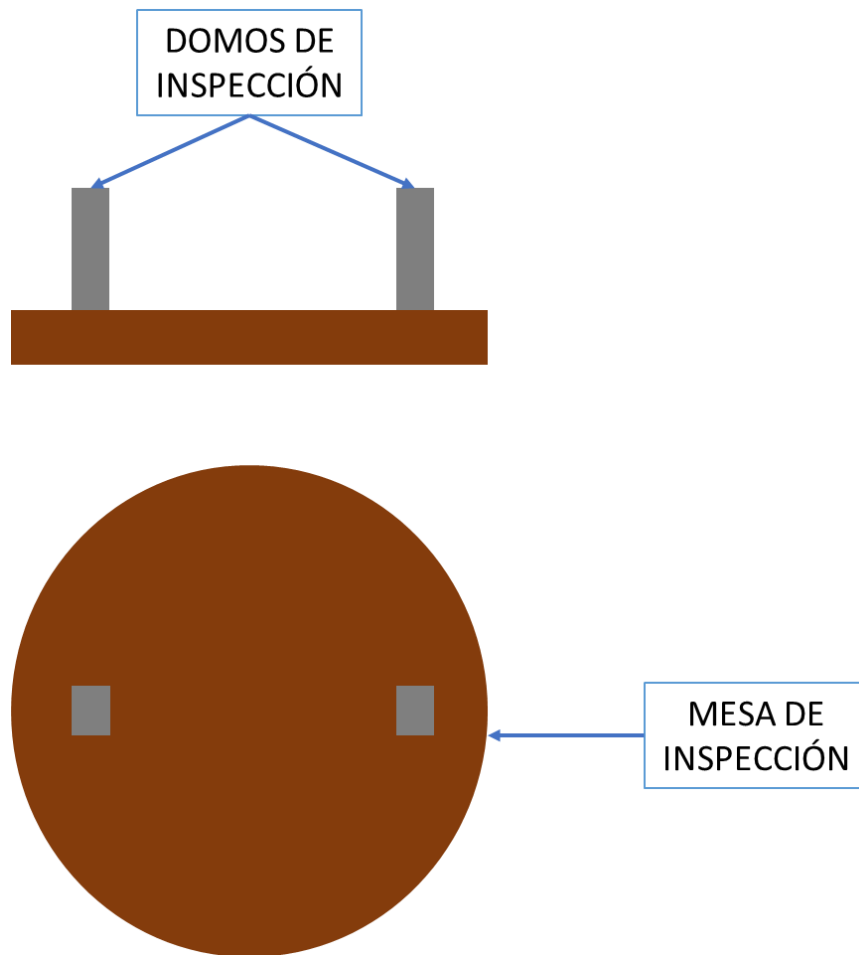


Figura 3.20 Mesa de inspección y domos de inspección

El DBC es inspeccionado por medio de una cámara COGNEX, la cual revisa perpendicularidad del corte y posiciones de componentes del DBC. Después de la inspección, la mesa de inspección gira para que el DBC pueda ser tomado por el segundo robot. El robot toma el DBC con el gripper y lo coloca en una charola de descarga si el DBC está OK. Si el DBC está NOK, este se desecha en un contenedor especial de desecho. En la figura 3.21 se muestra el esquema general de la inspección. En la figura 3.22 se presenta un esquema general de la mesa de corte junto con la mesa giratoria y el pick&place.

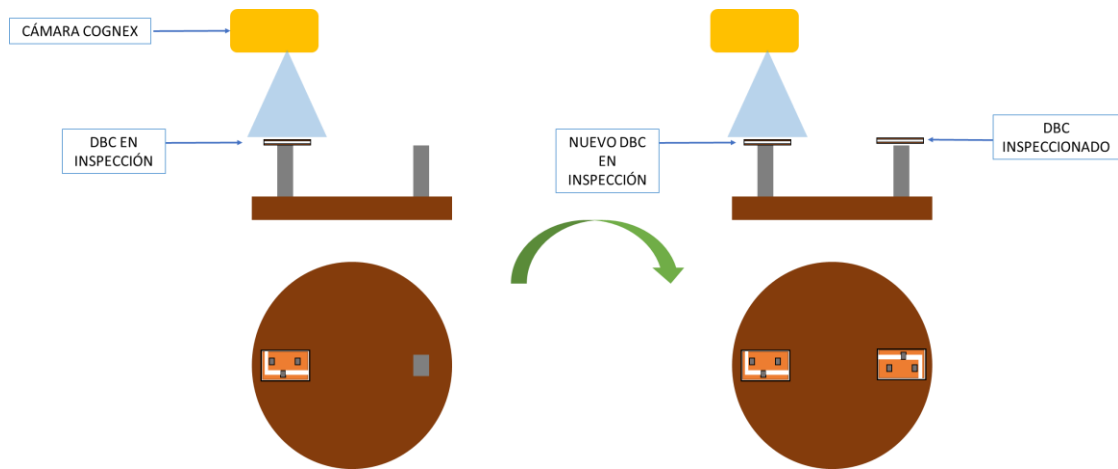


Figura 3.21 Esquema general de la inspección

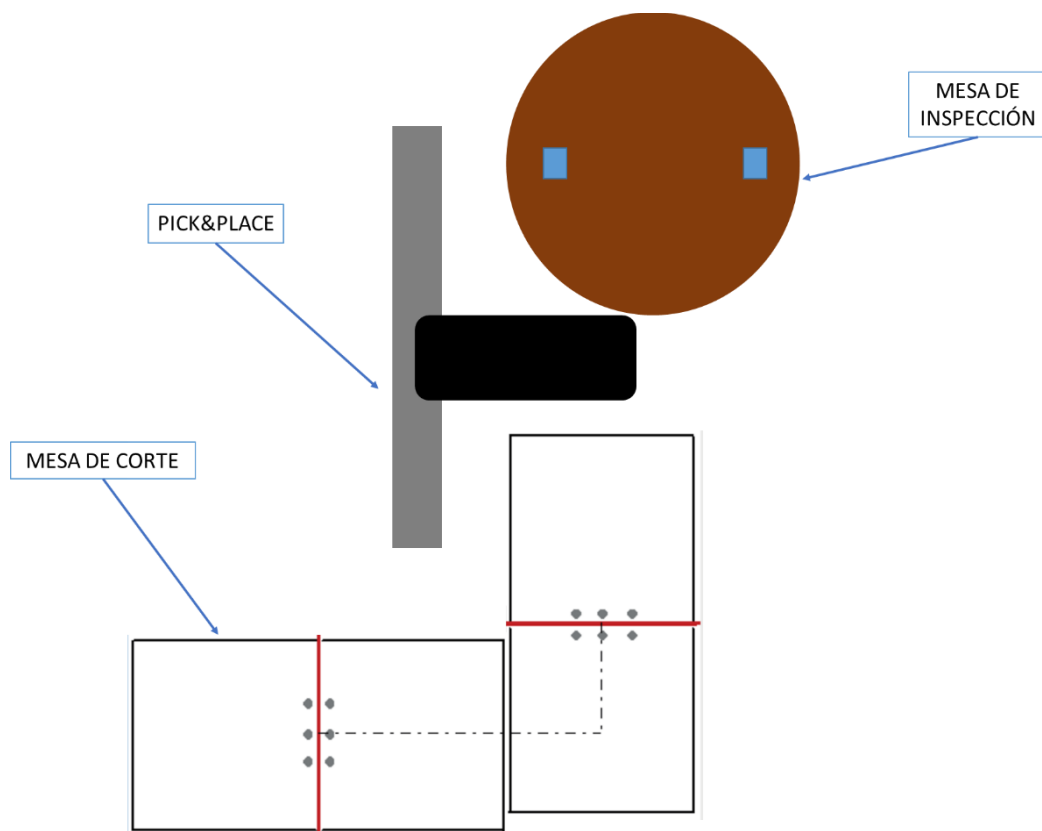


Figura 3.22 Layout general que incluye la mesa de corte, mesa de inspección y el pick&place

De manera general, el proceso de corte e inspección de DBC se muestra en la figura 3.23

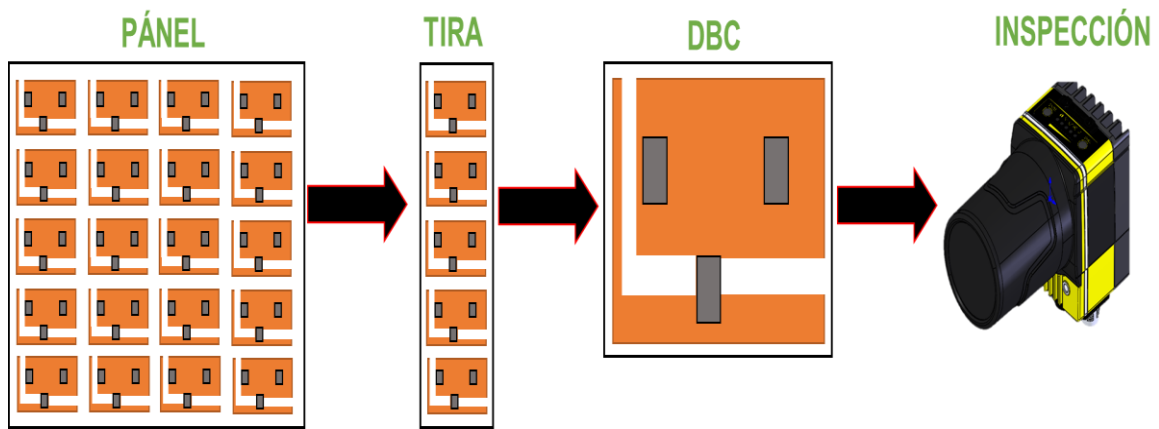


Figura 3.23 Proceso de corte e inspección de DBC

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 ESTUDIOS DE CAPACIDAD

Una vez teniendo el nuevo montaje de la cámara junto con la recalibración y ajuste se procede a realizar los estudios de capacidad con ayuda de la gráfica de control p por atributos. En la tabla 4.1 se muestran los datos recabados de veinte grupos con una muestra constante de treinta DBC cada grupo. En cada grupo se obtiene su proporción p correspondiente y los límites superior e inferior de control.

Tabla 4.1 Datos obtenidos para estudio de capacidad por atributos

# GRUPOS	# DBC	# DBC NOK	p	LSC	LIC	LC
1	30	1	0.03	0.22	0.00	0.07
2	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
3	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
4	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
5	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
6	30	1	0.03	0.22	0.00	0.07
7	30	3	0.10	0.22	0.00	0.07
8	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
9	30	5	0.17	0.22	0.00	0.07
10	30	3	0.10	0.22	0.00	0.07
11	30	4	0.13	0.22	0.00	0.07
12	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
13	30	1	0.03	0.22	0.00	0.07
14	30	1	0.03	0.22	0.00	0.07
15	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
16	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
17	30	6	0.20	0.22	0.00	0.07
18	30	1	0.03	0.22	0.00	0.07
19	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07
20	30	2	0.07	0.22	0.00	0.07

Si se grafican los datos se puede observar el comportamiento de la fracción de defectos a lo largo del número de grupos. En la figura 4.1 se observa el gráfico p de la tabla 4.1. En comparación con el primer estudio de capacidad, se puede observar que la tendencia de defectos mejoró ya que todos los puntos de la fracción de defectos están dentro de los límites de control.

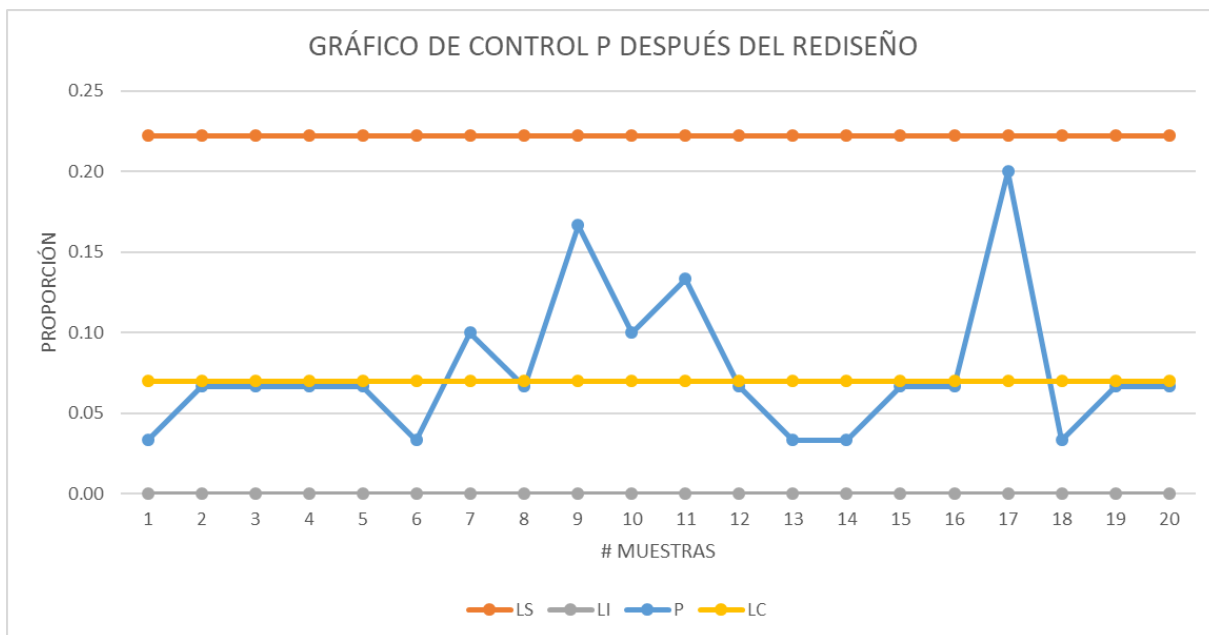


Figura 4.1 Gráfico de control por atributos p después del rediseño de la estructura de la cámara

Si se utiliza la ecuación (2.3) $\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n}$ para obtener la proporción total, se puede comparar la cantidad de scrap antes y después del rediseño de la cámara. Ambos estudios de capacidad se realizaron con una muestra total de 600 DCB. En la tabla 4.2 se muestra el detalle de la comparativa. Se observa que antes se tenía un rate de 38.83% de proporción de scrap. Después del rediseño de la estructura de la cámara se logró disminuir hasta un 7.66%, lo que significa que el scrap disminuyó alrededor del 80% debido a los falsos rechazos.

Tabla 4.2 Comparativa de la proporción total

COMPARATIVA	ANTES	DESPUÉS
Muestra total	600	600
Defectos totales	233	46
Proporción total	0.3883 (38.83%)	0.076 (7.66%)

4.2 CONCLUSIONES

Siempre es importante realizar un análisis donde involucre una optimización de la situación actual para poder desarrollar proyectos que obtengan buenos resultados para las organizaciones. Como en este caso, de todas las alternativas posibles para poder disminuir el scrap por falsos rechazos, se optó por la más factible en cuanto a costo y tiempo. Cuando se realizan cambios en el proceso es importante realizar una validación que involucre la estadística para analizar el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo. Además, se tuvo una disminución de scrap debido a falsos rechazos en un 80% superando el objetivo inicial con respecto al DBC de mayor tamaño. Con estos valores ya fue posible liberar la cámara a producción en serie.

Este tipo de diseño de estructuras de cámara puede ser utilizado posteriormente para las máquinas enfocadas al corte de DBC. Cabe mencionar que no hubo necesidad de iterar por una segunda ocasión debido a que no se tuvo problemas de interferencias en el montaje real ya que la manufactura de los componentes se realizó de una manera adecuada debido al apoyo de las tolerancias geométricas y dimensionales. Además de que en la simulación del ensamble se calcularon las dimensiones necesarias para cumplir con los requerimientos previos.

4.3 RECOMENDACIONES

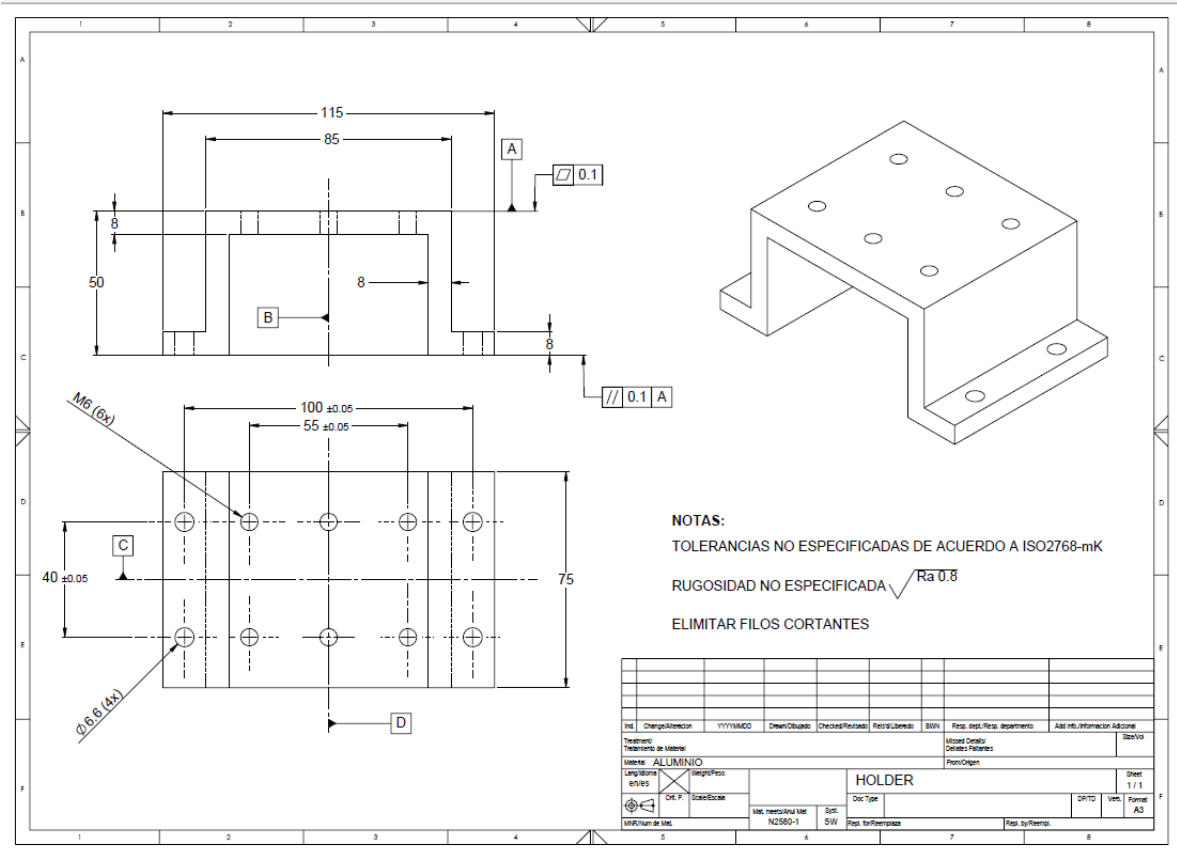
- Cuando se tenga este tipo de liberaciones en sistema de visión, es mejor realizar pruebas con los modelos más grandes a inspeccionar, debido a posibles perturbaciones que pudiesen dar falsos rechazos.
- Instrucción de mantenimiento en el que incluya revisar el sistema de vacío, mesa de corte y mesa giratoria. Esto para prevenir que se tenga vibraciones que afecten a la inspección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

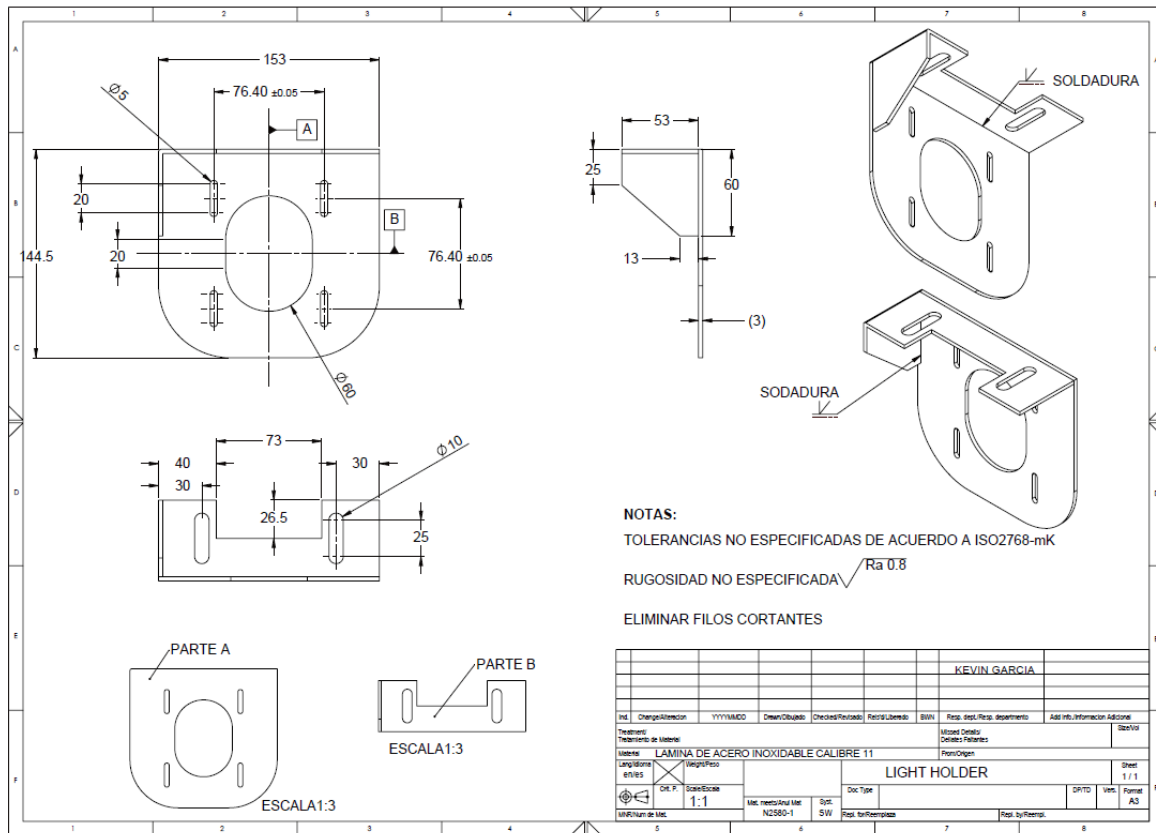
- [1] Electrónica Edimar, «Electrónica Edimar,» [En línea]. Available: <https://edimar.com/vision-artificial-en-la-industria/>.
- [2] EDS Robotics , «EDS Robotics,» 5 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.edsrobotics.com/blog/sistemas-de-vision-artificial-tipos-aplicaciones/#:~:text=La%20aplicaci%C3%B3n%20de%20los%20sistemas,a%20aumento%20de%20la%20producci%C3%B3n..>
- [3] COGNEX , «COGNEX,» [En línea]. Available: <https://www.cognex.com/es-mx/what-is/machine-vision/system-types> .
- [4] R. Resnick, «Física. Volumen 2.,» de *Física. Volumen 2.* , GRUPO EDITORIAL PATRIA, 2002, p. 571.
- [5] S.-H. Jürgen, «Advantages and new development of direct bonded,» *Microelectronics Reliability*, pp. 359-365, 2002.
- [6] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, «Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,» Mc Graw Hill, p. 4.
- [7] M. J. Iglesias, Tolerancias Geométricas GD&T Geometric Dimensioning and Tolerancing : basado en ASME Y 14.5-2018: Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2021.
- [8] F. Díaz del Castillo Rodriguez , «Olimpia Cuatitlan UNAM,» 2008. [En línea]. Available: http://olimpia.cuatitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m2/tolerancias%20geometricas.pdf.

- [9] Tesis USON MX, «Tesis USON MX,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/9844/capitulo3.pdf>.
- [10] L. Jaramillo Castro y O. Rosales Hernández, «Relación entre Estudios de Capacidad de Proceso y Estudios de Repetibilidad,» *Conciencia Tecnológica*, 2007.
- [11] APUNTES CEITBA, «APUNTES CEITBA,» [En línea]. Available: https://apuntes.ceitba.org.ar/ver/11.05/206/cap_09.pdf.
- [12] «Ferrotec,» [En línea]. Available: <https://www.ferrotec.com/products-technologies/power-electronic-substrates/>.
- [13] C-MAC Electronic Solutions, «C-MAC,» [En línea]. Available: <https://cmac.com/direct-copper-bonding-assembly/>.
- [14] «Baumann Automation,» [En línea]. Available: <https://www.baumann-automation.com/en/produkte/baumann-break-box.php>.
- [15] A. Ben Kabaar, C. Buttay, O. Dezellus, R. Estevez, A. Gravouil y L. Gremillard, «Characterization of materials and their interfaces in a direct bonded copper substrate for power electronics applications,» *HAL*, pp. 1-9, 2017.
- [16] R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Mc Graw Hill , 2008.

ANEXO B: HOLDER



ANEXO C: LIGHT HOLDER



ANEXO D: FINAL ASSEMBLY

