

**Nota de Aceptación:**

**Proyecto de Diseño Aprobado**, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



---

HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO  
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



---

JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATINO  
Director Carrera Ingeniería Industrial



---

LUIS ALONSO VELASCO ROLDÁN  
Director Proyecto de Diseño



---

KATHLEEN SALAZAR SERNA  
Jurado 1



---

ALVARO FIGUEROA CABRERA  
Jurado 2



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
Proyecto de diseño I

Junio 21/2021

Señor:

Alvaro Figueroa Cabrera  
Facultad de ingeniería y ciencias  
Pontificia Universidad Javeriana

En calidad de director del proyecto de grado de los estudiantes **MARIANA ZULUAGA GORDILLO, HELLEN SOLARTE MORALES, ANDRES FELIPE CARVAJAL BERTIN y PAULO CASTILLO FERREIRA**, el cual lleva como posible título: “Propuesta de un Método para Diseñar y Fabricar Productos Genéricos en el CAP de Javeriana Cali”, considero que el documento cumple con los requisitos para realizar la tercera entrega formal al docente de la asignatura Proyecto de diseño 2. Sin ningún otro particular, quedo atento a cualquier comentario o información al respecto.

Atentamente,

Ing. Luis Alonso Velasco MsC

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 /  
485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 - [www.javerianacali.edu.co](http://www.javerianacali.edu.co)

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

## Propuesta de un Proceso para Diseñar y Fabricar Productos Genéricos en el CAP de Javeriana Cali

Mariana Zuluaga Gordillo <sup>a,c</sup>, Hellen Solarte Morales <sup>a,c</sup>, Andres Felipe Carvajal Bertin <sup>a,c</sup>

Paulo Cesar Castillo Ferreira <sup>a,c</sup>,

Luis Alonso Velasco Roldan <sup>b,c</sup>, Mario Muñoz Velez <sup>b,c</sup>, Juan David Contreras Perez <sup>b,c</sup>,

<sup>a</sup>Estudiante de Ingeniería Industrial

<sup>b</sup>Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

<sup>c</sup>Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

---

### Resumen en español

Colombia tiene como reto potenciar la innovación pública y generar fuertes encadenamientos entre la inversión, el aprendizaje tecnológico y el desarrollo institucional que dirijan al crecimiento económico, para que este a su vez fortalezca la productividad. Por ende, el desafío está en estimular la colaboración entre instituciones educativas para lograr un mayor nivel en investigación y promover una cultura de innovación con el objetivo de diseñar soluciones de alto impacto.

La Pontificia Universidad Javeriana Cali, por medio del Centro de Automatización de procesos (CAP) proporciona y mantiene un entorno tecnológico actualizado con el cual pretende fomentar la innovación y el emprendimiento en la comunidad académica. A pesar de estar dotado de recursos para fomentar la manufactura de manera automatizada en el sector industrial, en el CAP actualmente se presenta una subutilización de la maquinaria adquirida. Se identificó que tal subutilización sucede debido a que sus usuarios desconocen del proceso para desarrollar productos en la entidad.

En el presente proyecto se evaluaron métodos de diseño de producto, y teniendo en cuenta las necesidades del CAP se seleccionó el diseño para seis sigma, por sus siglas en inglés (DFFS). A partir de este método se desarrolló un proceso para diseñar y fabricar productos, en el cual se describen las actividades, los responsables y respectivos procedimientos. Por medio de su implementación, se proyectó un incremento en la utilización de los equipos y además se generaron ciclos de diseño más cortos y efectivos que en el corto plazo impulsarán a la comunidad a hacer uso del CAP para desarrollar proyectos interdisciplinarios. El proceso diseñado se validó a partir de una prueba piloto, en la cual se elaboró una estación de control de temperatura, que responde a una necesidad previamente identificada en la facultad de ingeniería y ciencias.

*Palabras claves: Proceso, diseño de producto, método, utilización*

---

### Abstract (in English)

*Key words: Process, product design, method, utilization*

Colombia's challenge is to promote public innovation and generate a strong connection between investment, technological learning, and institutional development, that lead to economic growth so that this, in turn, strengthens productivity. Therefore, the task is to stimulate collaboration between educational institutions to achieve a higher level of research and promote a culture of innovation to design high-impact solutions.

The Pontificia Universidad Javeriana located in Cali, through the Process Automation Center (CAP), provides and maintains an updated technological environment with which it intends to promote innovation and entrepreneurship in the academic community. Despite being equipped with resources to promote automated manufacturing in the industrial sector, the CAP currently shows underutilization of the acquired machinery. It was identified that such underutilization occurs because its users are unaware of the process to develop products in the entity.

In this project, product design methods were evaluated, and considering the CAP's needs, Design for Six Sigma (DFFS) was selected. Out of this method, a process to design and manufacture products was developed, and activities, those responsible and important procedures were described. Throughout its implementation, an increase in the use of the equipment was projected and, shorter and more effective design cycles were generated. This, in the short term, will encourage the community to make use of the CAP and develop interdisciplinary projects. The

designed process was validated from a pilot test, in which a temperature control station was developed, which responded to a previously identified need in the engineering and science faculty.

---

## Tabla de contenido

I.	PROJECT CHARTER .....	4
II.	DEFINIR.....	7
	A. Contexto y Justificación (¿por qué?) .....	7
	B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?).....	10
	C. Requerimientos.....	11
IV.	MEDIR.....	14
	A. Plan de recolección de datos.....	14
	B. Exploración del mercado.....	16
V.	ANALIZAR .....	24
	A. Análisis de oportunidad.....	24
	B. Revisión de literatura.....	28
	C. Exploración de ideas y selección de alternativa .....	30
	D. Objetivos .....	34
	E. Plan de trabajo (PdT).....	34
VI.	DISEÑAR.....	35
	A. Desarrollo del diseño de la solución.....	35
	B. Validación del diseño propuesto.....	39
VII.	VERIFICAR .....	43
	A. Medición de los impactos.....	43
	B. Estandarización de la solución – POE’S (plan de control) .....	45
	C. Conclusiones .....	45
	D. Recomendaciones.....	46
VIII.	GLOSARIO .....	47
IX.	REFERENCIAS .....	48
X.	ANEXOS .....	50

---

## Índice de Tablas

TABLA I.....	8
TABLA II.....	10
TABLA III.....	12
TABLA IV.....	17
TABLA V.....	24
TABLA VI.....	32
TABLA VII.....	32
TABLA VIII.....	34
TABLA IX.....	35

TABLA X.....	36
TABLA XI.....	42
TABLA XII.....	50

## Índice de figuras

Fig. 1. Brecha de productividad laboral en Colombia. Modificado de [1].....	7
Fig. 2. Composición sectorial del PIB en el Valle del Cauca 2018[4].....	8
Fig. 3. Uso de maquinaria en horas semanales.....	9
Fig. 4. Porcentaje de utilización de la maquinaria.....	9
Fig. 5. Matriz poder vs interés.....	11
Fig. 6. Proyectos desarrollados en el CAP al semestre.....	16
Fig. 7. Utilización vs tiempo ocioso de los equipos en el semestre 2019-2 [7].....	17
Fig. 8. Ubicación semestral de los usuarios del CAP.....	18
Fig. 9. Calificación servicios ofrecidos por el CAP.....	18
Fig. 10. Limitantes para el uso del CAP.....	19
Fig. 11. Modelo de procesos Pontificia Universidad Javeriana [17].....	19
Fig. 12. Ciclos focales de la Facultad de Ingeniería y Ciencias. Modificado de [17].....	20
Fig. 13. Diagrama de flujo del CAP.....	21
Fig. 14. Diagrama de flujo de prestación de servicios en el CAP para el diseño y fabricación de productos.....	22
Fig. 15. Matriz DOFA de la propuesta.....	23
Fig. 16. Diagrama causa y efecto: Poco conocimiento del manejo de los equipos del CAP.....	25
Fig. 17. Cinco porqués: Poco conocimiento del manejo de los equipos.....	26
Fig. 18. Diagrama causa y efecto: Falta de asistencia del personal del CAP.....	26
Fig. 19. Cinco porqués: Falta de asistencia del personal del CAP.....	27
Fig. 20. Diagrama causa y efecto: Modelado 3D.....	27
Fig. 21. Cinco porqués: Modelado 3D.....	28
Fig. 22. Diagrama de selección de alternativas.....	33
Fig. 23. Resumen de ponderación de criterios.....	33
Fig. 24. Resultados del criterio de tiempo.....	33
Fig. 25. Análisis jerárquico total.....	33
Fig. 26. Características de un proceso.....	36
Fig. 27. Actores del proceso.....	37
Fig. 28. Simbología de la norma ISO 9000 para elaboración de diagramas de flujo. Modificado de [27].....	37
Fig. 29. Matriz de selección de Pugh.....	38
Fig. 30. Operaciones y demoras con formato.....	38
Fig. 31. Kit de estudio, Sistemas Realimentados.....	39
Fig. 32. Estación de control de temperatura.....	40
Fig. 33. Comparación número de proyectos el CAP al semestre.....	41
Fig. 34. Matriz de tiempo.....	41
Fig. 35. Utilización de equipos 2019-2 vs 2021-2.....	42
Fig. 36. Resumen de ingresos, costos y gastos de la propuesta de diseño.....	43
Fig. 37. Análisis Beneficio/Costo.....	44

## I.PROJECT CHARTER

Descripción ( <i>Business case</i> )	Planteamiento del problema ( <i>Problem statement</i> )		
La Pontificia Universidad Javeriana, por medio del Centro de Automatización de procesos (CAP) proporciona y mantiene un entorno tecnológico actualizado con el cual pretende fomentar la innovación y el emprendimiento en la comunidad estudiantil. A pesar de estar dotado con los recursos para fomentar la manufactura de manera automatizada en el sector industrial, en el CAP actualmente se detecta una subutilización de la maquinaria adquirida. Se hace necesario establecer una propuesta de solución que agregue valor tanto al CAP como a sus equipos y que incremente el nivel de utilización.	Actualmente, la Pontificia Universidad Javeriana Cali, cuenta con seis equipos de manufactura gestionados por el CAP, cuya utilización no supera el 30% de la capacidad instalada. A pesar de la inversión económica realizada para su adquisición, se detectó una subutilización debido a la ausencia de procesos, la cual se evidencia en el poco aprovechamiento que se les da a los equipos. El propósito del proyecto fue hacer uso de un método de diseño para proponer un proceso de diseño y fabricación de productos, que incrementará el uso de la infraestructura en el CAP.		
Impacto de los actores ( <i>Stakeholder's business needs</i> )	Restricciones	Especificaciones	Marco legal
<p style="text-align: center;">Matriz Poder vs Interés</p> <p style="text-align: center;"><i>Poder vs interés</i></p>	Equipo de trabajo -Disponibilidad de tiempo. -Carga Académica	Desarrollo de un proceso de diseño y fabricación de productos. Determinar caso de estudio que responda a una necesidad en la comunidad Javeriana.	Acuerdo número 567(Actualización reglamento del estudiante). Código penal de Colombia (Artículo 271)
	Pontificia Universidad Javeriana Cali -N. A	Cumplimiento del objetivo de la asignatura Proyecto de diseño 1.	Acuerdo número 567(Actualización reglamento del estudiante).
	CAP. -Presupuesto que debe ser aprobado por el decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias. -La fecha límite para culminar el proyecto es mayo 2021. -Disponibilidad de tiempo del coordinador y operarios del CAP	Superar la capacidad instalada. Se debe hacer uso de al menos el 50% de las maquinas disponibles en el CAP. Se debe implementar el proceso solo en las horas disponibles del CAP.	Protocolos de Bioseguridad, Código de conducta y reglas de seguridad para el uso del Centro de automatización de procesos. Metodología de las 5S.
	Facultades de Ingeniería y Ciencias. -Disponibilidad de tiempo e interés de los miembros de las facultades de la Pontificia Universidad Javeriana y otras instituciones para diseñar y fabricar productos en el CAP.	El proceso debe ser universal y adaptable a los proyectos propuestos, con el fin de incrementar el número de proyectos al semestre	N. A
	Empresas -Proceso y trámites requeridos para acceder al CAP cuando no se es parte de la comunidad Javeriana.	Se deben aprobar al menos el 50% de las solicitudes hechas para el desarrollo de proyectos en el CAP.	Resolución 0312 de 2019
	Proveedores.  -Disponibilidad de los materiales o el tiempo de entrega de estos puede variar dependiendo del proveedor.  -Costo de los materiales afecta la	Solicitud de compra con un tiempo establecido de anticipación para que se haga el respectivo análisis, negociación y tramite.	Solicitud de compra con un tiempo establecido de anticipación para que se haga el respectivo análisis, negociación y tramite.

	viabilidad del producto		
	Comunidad Javeriana.  -No hay capacitación para el uso de los equipos del CAP.	Facilidad de comprensión del proceso propuesto.  El proceso debe adaptarse a múltiples productos propuestos por la comunidad javeriana.  Satisfacción de comunidad Javeriana respecto al uso de los equipos	Protocolo de bioseguridad para el uso del Centro de Automatización de procesos. Código de conducta y reglas de seguridad para el uso del Centro de automatización de procesos
	Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación. -N. A	Se debe hacer el registro de los proyectos desarrollados en el CAP haciendo uso del proceso de diseño y fabricación de productos.	Ley No 1951 24 enero 2019. Artículo 3 ley 1951 de 2019.
	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. -Consumo limitado de energía y materiales para el desarrollo de los productos. -La elaboración de los diferentes productos incurre en desperdicios los cuales deben tener un tratamiento adecuado	Los materiales utilizados no deben generar una cantidad de residuos que supere la cantidad permitida al CAP.	Decreto 4741 de 2005 (Artículo 28).

**Indicadores de Desempeño (KPI's)**

Variable	Actualidad	Meta												
Número de proyectos de la facultad en el CAP por semestre.	64	> 64												
Porcentaje de utilización de los equipos en el CAP al semestre	<table border="1"> <tr> <td>Impresora 3D</td> <td align="center">16,84%</td> </tr> <tr> <td>Cortadora láser</td> <td align="center">23,08%</td> </tr> <tr> <td>Termo formadora</td> <td align="center">0%</td> </tr> <tr> <td>Centro de mecanizado CNC</td> <td align="center">16%</td> </tr> <tr> <td>Torno</td> <td align="center">4,55%</td> </tr> <tr> <td>Robot</td> <td align="center">13,64%</td> </tr> </table>	Impresora 3D	16,84%	Cortadora láser	23,08%	Termo formadora	0%	Centro de mecanizado CNC	16%	Torno	4,55%	Robot	13,64%	>A la utilización actual
Impresora 3D	16,84%													
Cortadora láser	23,08%													
Termo formadora	0%													
Centro de mecanizado CNC	16%													
Torno	4,55%													
Robot	13,64%													
Tiempo de entrega	3 semanas y 3 días	<tres semanas y tres días												
Porcentaje de satisfacción de los usuarios del CAP	70%	80%												

**Objetivo general (Goal statement)**

Proponer un proceso para el diseño y fabricación de productos genéricos en el CAP para incrementar el uso de la infraestructura mediante un método de diseño de producto.

**Objetivos específicos (Project scope)**

1. Analizar métodos de diseño de producto para establecer el más apropiado a las necesidades del Centro de Automatización de Procesos-CAP.
2. Adaptar el método elegido de acuerdo con las necesidades y requerimientos del CAP.
3. Diseñar los procedimientos que permitan desarrollar y fabricar los productos diseñados.
4. Validar la propuesta del proceso a través de una prueba piloto.
5. Evaluar la relación beneficio-costos del proceso propuesto.

Plan de Trabajo (Project Plan)			Equipo de trabajo (Team members)		
Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área HSE	Nombre	Rol
Recopilación de datos e información actual a través de encuesta.	01/02/2021	20/02/2021	Work Design and Measurement	Andrés Carvajal	Harmonizer - Elaborator
Consolidación de la información y de los datos	21/02/2021	25/02/2021		Paulo Castillo	Encourager - Energizer
Análisis de la información	26/02/2021	05/03/2021		Mariana Zuluaga	Standard Setter - Initiator
Realizar lluvia de ideas para el diseño	06/03/2021	09/03/2021	Product design and development	Hellen Solarte	Follower - Coordinator
Consolidar la propuesta de diseño	10/03/2021	18/03/2021		Andres Carvajal	Harmonizer - Elaborator
Evaluar la propuesta de diseño.	19/03/2021	20/03/2021		Paulo Castillo	Encourager - Energizer
Establecer el procedimiento para solicitar los servicios del CAP.	21/03/2021	29/03/2021	Operations Engineering and Management	Mariana Zuluaga	Standard Setter - Initiator
Identificar los equipos a usar	30/03/2021	01/04/2021		Hellen Solarte	Follower - Coordinator
Determinar el proceso para el uso de cada una de las máquinas	02/04/2021	05/04/2021		Andres Carvajal	Harmonizer - Elaborator
Realizar pruebas para probar la funcionalidad del producto	06/04/2021	15/04/2021	Facilities Engineering and energy management	Paulo Castillo	Encourager - Energizer
Documentar el diseño y el proceso de fabricación	16/04/2021	28/04/2021	Information Engineering	Mariana Zuluaga	Standard Setter - Initiator
Realizar un análisis costo/beneficio	29/04/2021	15/05/2021	Engineering economic analysis	Hellen Solarte	Follower - Coordinator
Reportar resultados del proceso propuesto	16/05/2021	28/05/2021	Information engineering	Andrés Carvajal	Harmonizer - Elaborator

## II.DEFINIR

### A. Contexto y Justificación (¿por qué?)

Colombia, en las últimas décadas, ha asumido el reto de adaptarse a una economía mundial dinámica y cambiante a través de la internacionalización de sus mercados. El país se enfrenta a nuevos modelos de competencia y a recientes conceptos que giran en torno a la innovación, la tecnología y el conocimiento. Consecuentemente, este se ha interesado en adoptar cambios en su estructura económica, con el fin de aumentar su productividad, mejorar en competitividad y ofrecer un mayor bienestar a la población.

Desde las últimas dos décadas ha habido un progreso significativo en Colombia, ya que entre el 2000 y el 2017 “hubo un crecimiento anual promedio en la economía del 4,3%, el índice de pobreza descendió del 50 % al 28 % e incrementó el PIB per cápita de 0.153% a 1.904%”[1]. Por otro lado, es evidente que los inversionistas mundiales han mostrado mayor interés en el país, pues tan solo en “el 2017 la entrada de inversión extranjera directa en Colombia alcanzó un 59 % del PIB, [...] situándolo entre las máximas de la región de América Latina y el Caribe” [1].

Pese a los avances registrados, la Revisión de la Política de Transformación Productiva de Colombia (PTPR) elaborada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), afirma que Colombia “sigue presentando carencias estructurales que dificultan los avances de cara al futuro” [1]. La economía colombiana sigue dependiendo en gran medida del sector primario, lo que conlleva a un sector manufacturero menos competitivo y a una limitada oportunidad de alcanzar el nivel de otras economías más avanzadas.

La amplia brecha de productividad laboral que se tiene respecto a los países de Latinoamérica y a la OCDE, mostrada en la Fig. 1, es un llamado a abordar nuevos desafíos, entre estos, la inversión en Investigación y Desarrollo “I+D”, que hasta hoy tan solo representa el 0,2% del PIB[1]. Es evidente la falta de dinamismo y la poca relevancia que actualmente tiene el adoptar nuevos patrones de producción que generen “productos y servicios con alto contenido tecnológico” [2]. No solo hay una dificultad para hacer uso de las ventajas, por el contrario, no se percibe la necesidad de una estructura de producción más diversa que facilite la elaboración de productos que se caractericen por su valor agregado y sofisticación.

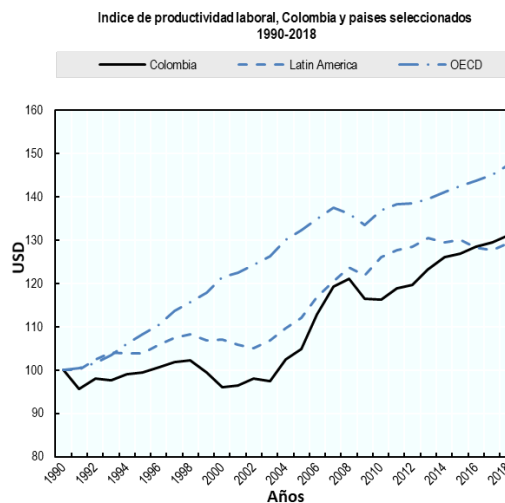


Fig. 1. Brecha de productividad laboral en Colombia. Modificado de [1]

No obstante, abordando la actual situación desde el contexto regional, la economía del Valle del Cauca, que se sitúa entre las tres mejores del país, ha crecido a un ritmo mayor al de Colombia. De acuerdo al indicador mensual de actividad económica (IMAE) “el PIB del Valle del Cauca habría crecido 3,1% en el acumulado al tercer trimestre de 2019, cifra superior al registro nacional en igual periodo (2,9%)”[3]. Por ejemplo, en el departamento han surgido diversos cambios en torno al sector de la manufactura; este es uno de los que ha presentado mayor crecimiento en las últimas décadas. A pesar de la crisis internacional,

la industria regional, se ha podido recuperar a través de la reactivación de la economía y el comercio exterior. “El consolidado de la producción industrial en el Valle del Cauca durante el 2019 aumentó 2,4% frente a 2018” [3], y en cuanto a la industria manufacturera, como lo indica la Fig. 2, el departamento supera a Colombia en 4,3 puntos.

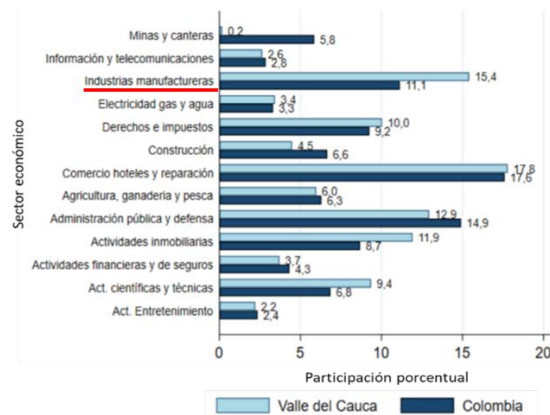


Fig. 2. Composición sectorial del PIB en el Valle del Cauca 2018[4]

Santiago de Cali, una de las principales ciudades de Colombia y la capital del Valle del Cauca, “ en el 2019 registró el segundo crecimiento anual más alto de producción industrial (2,4%) [...], siendo este superior al total de la industria nacional en 2019 frente a 2018” [3]. Este crecimiento se dio desde el año anterior, cuando la industria manufacturera en el segundo trimestre del 2018 obtuvo una variación positiva en la producción y ventas; “de 12 actividades estudiadas en el territorio, nueve presentaron un cambio positivo y los otros 3 restantes un cambio negativo” [4].

De acuerdo al Indicador Mensual de Actividad Económica (IMAE\_Cali), se estima que la economía de la ciudad creció alrededor de 3,9%, indicando que hay un proceso de aceleración económica constante[5]. Sin embargo, para que este crecimiento se mantenga en el tiempo se debe apostar por el desarrollo tecnológico, la industria, y la producción. Por ende, para lograrlo se debe adaptar la oferta académica a las necesidades del sector empresarial, a través de la apropiación de la ciencia, la tecnología y la innovación, para que esta adquiera un mayor nivel de sofisticación.

La universidad Javeriana Cali, con el objeto de crear un medio académico propicio para la formación integral de las personas que hacen parte de ella [6], realiza inversiones con el fin de ofrecer no solo un componente teórico, sino una mirada al entorno empresarial, permitiendo a sus estudiantes identificar el funcionamiento, componentes y métodos de un proceso productivo. Por medio del Centro de Automatización de Procesos (CAP), la comunidad estudiantil tiene la posibilidad de acceder a “proyectos de investigación aplicada, desarrollo de productos tecnológicos y actividades de transferencia tecnológica, enfocadas a la automatización industrial, manufactura inteligente y control de procesos”[7].

En su compromiso con la comunidad caleña de aportar al constante desarrollo, el CAP proporciona y mantiene un entorno tecnológico actualizado, trabaja para asegurar que sus lineamientos vayan acorde a las necesidades actuales y promueve el uso de recursos tecnológicos para fomentar la innovación y el emprendimiento. Para cumplir con esta misión, el CAP, en conjunto con la universidad, invirtió en la adquisición de maquinaria y equipos de alta tecnología, como se muestra en la TABLA I, con los cuales se espera mejorar los servicios prestados.[8]

TABLA I  
INVERSION EN EQUIPOS [9]

Equipo	Valor invertido aproximado
Centro de mecanizado CNC	\$ 75.000.000
Torno	\$20.000.000
Robot	\$120.000.000
Cortadora Laser	\$60.000.000
Termo formadora	\$11.000.000

Impresora 3D	\$5.000.000
--------------	-------------

Es claro entonces que el CAP con su potencial tecnológico, está dotado de recursos para propiciar un ambiente de aprendizaje enfocado en fomentar la manufactura en el sector industrial a nivel nacional, regional y local. No obstante, se detectó una ausencia de procesos que tuvieron como consecuencia la subutilización de la maquinaria adquirida. Lo anterior se evidenció en el poco aprovechamiento que la comunidad estudiantil y el profesorado les daba a los equipos, tal como se muestra en la Fig. 3.

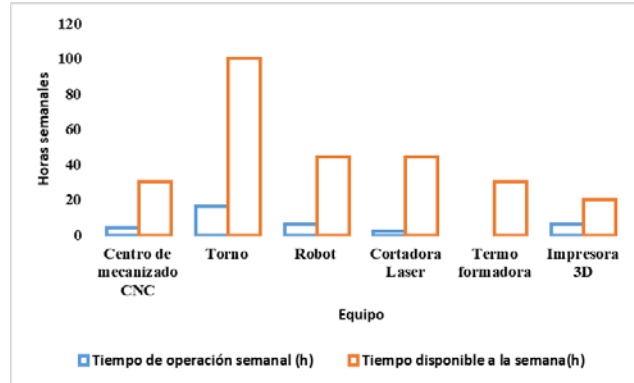


Fig. 3. Uso de maquinaria en horas semanales

Partiendo de la información suministrada por el coordinador del CAP [ver Anexo 1], la universidad incurrió en una inversión que superó un monto de \$280.000.000, excluyendo los costos de mantenimiento y operación, los cuales oscilaban entre \$10.000.000 y \$15.000.000 anuales. La adquisición de equipos se hizo con la intención de promover el uso de la tecnología y el desarrollo de productos en los programas de ingeniería de sistemas, industrial, electrónica y recientemente, mecánica; no obstante, fue clara la pérdida monetaria y de potencial, pues la utilización de cada equipo era baja, como se indica en la Fig. 4. Se destaca que los equipos presentados no alcanzaban al 25% de utilización, ya que el centro de mecanizado tenía un porcentaje de utilización del 13,3%, el torno de 16%, el robot 13,6%, la cortadora láser de 4,5%, la impresora 3D 30% y la termo formadora resaltaba con 0% de uso [ver anexo 1].

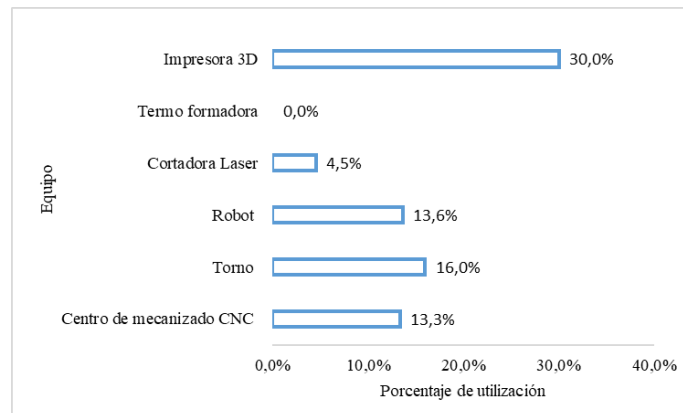


Fig. 4. Porcentaje de utilización de la maquinaria

Era de suma importancia para el CAP como dependencia de servicio de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, aprovechar la oportunidad que se demostró en los datos presentados. Por tal motivo se planteó una estrategia por medio de la cual se logró sacar una ventaja a los equipos, que de acuerdo con la Fig.4, su capacidad productiva no estaba siendo explotada. Era oportuno para el CAP, identificar necesidades en la comunidad Javeriana, con el fin de invertir las horas disponibles de cada máquina en la producción de un bien y/o la prestación de un servicio, que redundara en la satisfacción de una necesidad.

El proyecto consideró la situación como una oportunidad para agregar valor al CAP y a sus equipos. A partir de esto, haciendo uso de método de diseño, se propuso un proceso que permitió diseñar y fabricar productos catalogados como necesarios, con el fin de reducir los tiempos muertos de los equipos. Tal proceso procuró ser el soporte que permitió explotar en mejor medida el potencial de los equipos, a través del desarrollo de múltiples productos. De igual manera, se planteó una prueba piloto, en la cual se desarrolló un producto, que resolviera una necesidad en la comunidad, con el fin de comprobar la efectividad del mencionado proceso.

Se pretendió que el proceso planteado impulsara a la comunidad javeriana a hacer uso del CAP, y por medio del desarrollo de proyectos interdisciplinarios, contribuir al desarrollo científico y tecnológico de la universidad. El presente proyecto representó una oportunidad para que los miembros de la institución se actualizarán en un entorno científico, profundizaran y complementaran sus conocimientos, aportando así al desarrollo intelectual y a la renovación de la institución.

*B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)*

“Los grupos de interés o *stakeholders* son individuos o colectivos de personas, formales e informales, que se relacionan activa o pasivamente con el desarrollo del proyecto” [10] y a su vez se ven afectados por los resultados de este mismo. La identificación de estos resulta importante; permite establecer una relación directa entre el proyecto y el entorno en el cual se desarrolla, influyendo en la toma de decisiones y en el reconocimiento de las limitantes.

Para la categorización de los stakeholders, se hizo uso de la herramienta *matriz poder interés*, en la cual se le asignó una ponderación a cada una de las partes. En la TABLA II se presentan cada uno de los grupos de interés, su respectiva definición y calificación asignada conforme a su grado de autoridad (poder) y participación (interés) en el desarrollo del proyecto. En esta, se implementa una escala de calificación de 1 a 10, en la cual el 1 representa un nivel bajo, el 5 un nivel intermedio y el 10 y nivel alto de participación de acuerdo con los criterios ya mencionados.

TABLE II  
DEFINICION Y PONDERACION DE LOS GRUPOS DE INTERES

Numero	Grupo de Interés	Definición	Poder	Interés
1	Equipo de trabajo	Conjunto de personas enfocadas en el desarrollo del proyecto.	9	10
2	Pontificia Universidad Javeriana	Institución de enseñanza superior que comprende diversas facultades, y que confiere los grados académicos correspondientes.	8	9
3	CAP	Centro de Automatización de Procesos	8	10
4	Facultades de ingeniería y ciencias	Conjunto de carreras y estudios superiores que componen la facultad de ingeniería y ciencias en la Pontificia Universidad Javeriana Cali y otras instituciones educativas	3	8
5	Empresas	Organizaciones cuya actividad particular requiera de alguno o varios de los servicios ofrecidos por el CAP	2	8
6	Proveedores	Encargados de proporcionar la materia prima necesaria para llevar a cabo los procesos dentro del CAP	3	6
7	Comunidad Javeriana	Estudiantes, profesores y demás trabajadores que componen el entorno universitario	3	7
8	Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación	Organismo para la gestión de la administración pública, rector del sector y del sistema Nacional de ciencia, tecnología e innovación.	9	2
9	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Organismo encargado de implantar normas y directrices en materia de ambiente, biodiversidad, recursos marinos y recursos hídricos.	8	2

En la TABLA II se muestra cada grupo de interés y la ponderación que se le asignó de acuerdo con la información presentada en el Anexo 2. En esta, se expone la calificación del grupo según el grado de impacto, influencia en el desarrollo del proyecto y conforme a su autoridad. A su vez en la fig. 5. se presenta la matriz que se obtuvo tras representar los grupos de acuerdo con su respectiva ponderación, y en seguida se explica dicha matriz en relación con sus zonas.

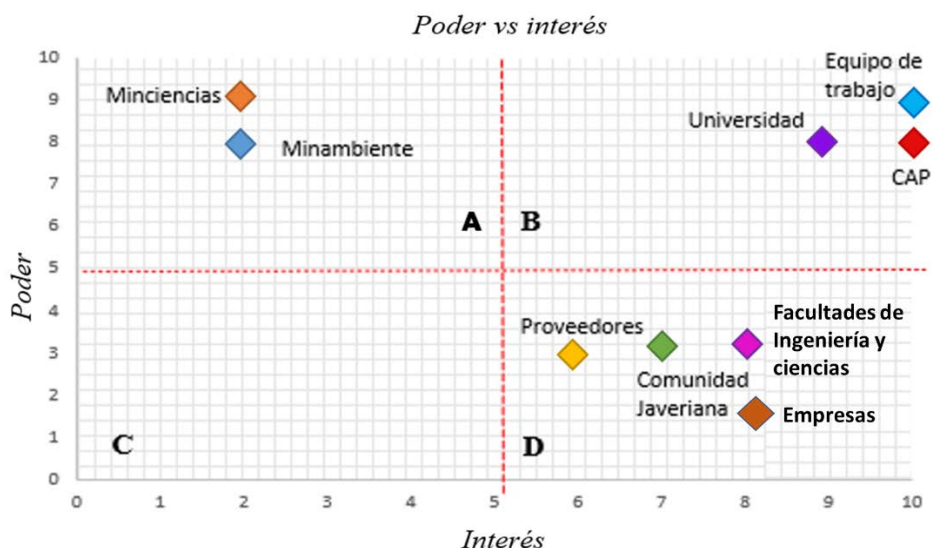


Fig. 5. Matriz poder vs interés

Los grupos de interés ubicados en la zona A de la Fig. 5. tienen un bajo interés en el proyecto, sin embargo, estos tienen el poder de afectar su normal avance. Lo anterior, hace que a estos grupos se les otorgue un igual grado de importancia que a los demás. De igual manera, se les debe satisfacer constantemente ya que es necesario que sientan que el desarrollo del proyecto va direccionado acorde a los parámetros establecidos[11].

Los interesados ubicados en la zona B son fundamentales para el desarrollo del proyecto, pues tienen el poder de afectar negativamente el desarrollo, pero también, tienen un alto interés en que el proyecto cumpla los objetivos esperados. Es por esto, que se deben administrar de cerca, se les debe hacer partícipes en la implementación de estrategias o toma de decisiones importantes. Asimismo, se debe mantener una comunicación fluida y una relación de tipo colaborativa, que permita una constante retroalimentación que genere conocimientos y herramientas claves para desarrollar el plan según lo esperado [11].

Los grupos de interés ubicados en la zona D, siempre se deben mantener informados, pues a pesar de que tienen poco poder de incidencia dentro del proyecto, su grado de interés es alto. Estos grupos deben ser aliados en cada una de las etapas que involucra el proyecto, ya que son estos son un elemento que fortalece y aporta dinamismo y colaboración[11].

Luego de implementación de la Matriz Poder vs Interés, se tiene una clasificación para cada grupo de interés, entendiendo mejor el impacto que cada uno de estos tiene sobre el proyecto y de qué manera es mejor gestionar las relaciones con cada uno de ellos.

### C. Requerimientos

Se debían comprender los requerimientos y expectativas de cada una de las partes interesadas, con el fin de direccionar el proyecto adecuadamente y lograr traducir las necesidades en especificaciones para el producto que se desarrolló. Por otro lado, con el fin de lograr un grado de satisfacción mayor entre las partes de interés, se debía garantizar el cumplimiento de leyes, normas, estándares y considerar las múltiples restricciones. En este proyecto se hizo uso de la herramienta Voz del Cliente (VoC), y a través de un enfoque cualitativo se realizó una entrevista para recolectar información relevante y reunir sugerencia y comentarios. Tal entrevista consistió en un diálogo con el Coordinador del Centro de Automatización de Procesos (CAP) [ver Anexo 3] con el objeto de determinar el alcance del proyecto. Además, se hizo revisión de la literatura y documentos digitales, que permitieron conocer a fondo los intereses de stakeholders como la Pontificia Universidad Javeriana, la facultad de ingeniería y ciencias de dicha institución, y otras instituciones educativas. Esta información se puede verificar en los documentos

correspondientes al Plan Estratégico Del Programa Nacional De Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad [12], al Plan de Desarrollo Institucional de la Pontificia Universidad Javeriana[13], y al Informe de Gestión del año 2018 de la Pontificia Universidad Javeriana[14].

Teniendo en cuenta que los grupos de interés poseían necesidades y expectativas particulares, a todos se les debía otorgar un grado de importancia. Por tal motivo, se realizó una búsqueda a través de la cual se identificaron las limitaciones que impactaban la toma de decisiones. En la TABLA III se identifican los requerimientos, especificaciones y marco legal relacionado a cada una de las partes involucradas, los cuales impactan de manera directa el desarrollo del presente proyecto.

**TABLA III**  
**REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERES**

Grupos de interés	Voc (requisitos del cliente)	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normas y estándares	
				Legislación y requisitos aplicables	Importancia o efecto
Equipo de trabajo	Compromiso y trabajo responsable por parte de los integrantes del equipo.	Disponibilidad de tiempo para realizar las actividades propuestas en el desarrollo del proyecto.	Desarrollo de un proceso de diseño y fabricación de producto que permita explotar en gran medida el potencial de los equipos del CAP e invertir las horas disponibles.	Acuerdo número 567 (Actualización del reglamento de estudiantes).	Por medio del cual se dicta la posibilidad de incluir el trabajo de grado en programas de pregrado
	Obtener el título de ingenieros industriales de la Pontificia Universidad Javeriana.	Carga académica que posiblemente interfiera con el cumplimiento del cronograma establecido.	Determinar un caso de estudio de diseño de producto, por medio del cual sea posible comprobar la validez del proceso propuesto.  El producto para desarrollar en el caso de estudio debe responder a una necesidad identificada en la comunidad javeriana.	Código penal de Colombia (Artículo 271).	Por medio del cual se establece la sanción por violación a los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos.
Pontificia Universidad Javeriana	Desarrollo de un proyecto de nivel, cumpliendo plazos y requerimientos establecidos [13]	N. A	Cumplimiento del objetivo de la asignatura Proyecto de Diseño, que consiste en “definir un problema, su alcance y los actores involucrados, obtener los datos requeridos, y analizar las variables relevantes” [15], por medio del ciclo DMADV. El proyecto debe tener una calificación superior a 3.0.	Acuerdo número 567 (Actualización del reglamento de estudiantes).	Por medio del cual se dicta la normativa y los diferentes plazos de entrega para la asignatura proyecto de diseño
CAP	Las máquinas del CAP deben incrementar su porcentaje de utilización.	Económico: Presupuesto que debe ser aprobado por el decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, Camilo Rocha, una vez el proyecto se esté desarrollando.	Superar la capacidad instalada.	Protocolo de bioseguridad de regreso al Campus.	Por medio del cual se presentan las directrices generales de autocuidado y el protocolo de bioseguridad para retornar de manera presencial al campus universitario.
		Tiempo: 1.La fecha límite para culminar el proyecto es mayo 2021. 2.Disponibilidad de tiempo del coordinador y operarios del CAP.		Protocolo de bioseguridad para el uso del Centro de Automatización de procesos (CAP) [Ver anexo 4]	Dicta las medidas a adoptar para prevenir el contagio y la propagación del Covid-19 durante el uso del CAP.
	Se debe desarrollar el proyecto con los recursos actuales del CAP.	Ambiental: Impacto ambiental en el ciclo de vida del producto.	Se debe hacer uso de al menos del 50% de las máquinas disponibles en el CAP.	Código de conducta y reglas de seguridad para el uso del Centro de automatización de procesos (CAP) [Ver anexos 5 y 6].	Se establecen para mantener el orden en el CAP y prevenir accidentes durante el desarrollo de cualquier actividad.

Grupos de interés	Voc (requisitos del cliente)	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normas y estándares	
				Legislación y requisitos aplicables	Importancia o efecto
				Metodología de las 5S.	Se centra en reducir desperdicios, aumentar la productividad y la motivación del personal en el CAP.
	Se debe considerar la disponibilidad del CAP.	Tiempo: El CAP tiene horarios preestablecidos para el desarrollo de prácticas y talleres.	Se debe implementar el proceso solo en las horas disponibles del CAP.	Formato de prácticas facultad de ingeniería y ciencias 2020-2	Dicta los horarios en los cuales el CAP estará reservado a lo largo del semestre
Facultades de ingeniería y ciencias	Incentivar a los estudiantes de las demás facultades a hacer uso del CAP constantemente como herramienta para desarrollar proyectos [14].	Disponibilidad de tiempo e interés de los miembros de las facultades de la Pontificia Universidad Javeriana y otras instituciones para diseñar y fabricar productos en el CAP.	El proceso debe ser universal y adaptable a los proyectos propuestos, con el fin de incrementar el número de proyectos al semestre.	N. A	N.A
Empresas	En la ciudad de Cali hay un número limitado de entidades que ofrezcan un entorno tecnológico equivalente al CAP, enfocados en la automatización industria, manufactura inteligente y control de procesos [12].	Proceso y trámites requeridos para acceder al CAP cuando no se es parte de la comunidad Javeriana.	Se deben aprobar al menos el 50% de las solicitudes hechas para el desarrollo de proyectos en el CAP.	Resolución 0312 de 2019.	Por medio de la cual se dictan los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST.
Proveedores	Mantener un orden en las órdenes, con el fin de cumplir con los plazos establecidos para la llegada de materia prima.	Materiales: la disponibilidad de los materiales o el tiempo de entrega de estos puede variar dependiendo del proveedor.	Solicitud de compra con un tiempo establecido de anticipación para que se haga el respectivo análisis, negociación y tramite.	Proceso de solicitud de compras de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.	Por medio de la cual se explica cómo realizar la solicitud de compras y cómo realizar el trámite.
		Económico: el costo de los materiales afecta la viabilidad del producto.			
Comunidad Javeriana	Facilidad de uso de los equipos del CAP y un portafolio amplio de servicios	No hay capacitación para el uso de los equipos del CAP.	Facilidad de comprensión del proceso propuesto.	Protocolo de bioseguridad para el uso del Centro de Automatización de procesos (CAP) [Ver anexo 4]	Dicta las medidas a adoptar para prevenir el contagio y la propagación del Covid-19 durante el uso del CAP.

Grupos de interés	Voc (requisitos del cliente)	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normas y estándares	
				Legislación y requisitos aplicables	Importancia o efecto
	adecuado para cada área.		El proceso debe adaptarse a múltiples productos propuestos por la comunidad javeriana.  Satisfacción de la comunidad javeriana con respecto al uso de los equipos, acompañamiento y demás servicios ofrecidos por el CAP	Código de conducta y reglas de seguridad para el uso del Centro de automatización de procesos (CAP) [Ver anexos 5 y 6].	Se establecen para mantener el orden en el CAP y prevenir accidentes durante el desarrollo de cualquier actividad.
Comunidad Javeriana Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación	Se debe velar por el desarrollo de nuevos materiales, de procesos de automatización que impulsen el crecimiento tecnológico de la industria nacional, minimicen las pérdidas de tiempo y costos y desarrollen nuevos productos y servicios derivados de la aplicación del conocimiento [12].	N. A	Se debe hacer el registro de los proyectos desarrollados en el CAP haciendo uso del proceso de diseño y fabricación de productos.	Ley No 1951 24 enero 2019.	Tiene como objeto fortalecer el desarrollo regional por medio de las actividades científicas, tecnológicas y de innovación.
				Artículo 3 ley 1951 de 2019.	Política nacional de ciencia, tecnología e innovación. Busca elevar el nivel de la investigación científica y social, el desarrollo tecnológico de las Instituciones de Educación Superior (IES).
Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Se debe velar por la protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los materiales[16].	Consumo limitado de energía y materiales para el desarrollo de los productos a partir del proceso planteado.	Los materiales utilizados no deben generar una cantidad de residuos que supere la cantidad permitida al CAP.	Decreto 4741 de 2005 (Artículo 28).	Establece que los generadores de residuos deben de inscribirse en el Registro de Generadores (se considera generador si la cantidad de residuos es mayor a 10.0 kg por mes).
		Desperdicios: La elaboración de los diferentes productos incurre en desperdicios los cuales deben tener un tratamiento adecuado por cuestiones de sanidad, y contaminación ambiental.			

#### IV. MEDIR

##### A. Plan de recolección de datos

El plan de recolección de datos fue fundamental en el desarrollo del presente proyecto, ya que, a partir de este, se lograron identificar y estudiar las variables críticas del sistema actual, con las cuales posteriormente se pudo determinar el desempeño de este mismo. Consecuentemente, se realizó el estudio de las variables que se relacionaban directa e indirectamente con el uso de los equipos del CAP, teniendo como criterio de selección su relevancia y tipo de aporte frente al proyecto. Para llevar a cabo la recolección de datos se realizó una entrevista previa con el coordinador del CAP, con el objetivo de delimitar las múltiples variables a estudiar, que se derivaron a partir de los requisitos de diseño establecidos en la TABLA III mostrada anteriormente. Por este motivo, para dar un diagnóstico del sistema (CAP) se estudió la utilización del CAP como entidad y de sus equipos, el

desempeño en términos de proyectos finalizados en la entidad, el tiempo de entrega de los proveedores y el grado de satisfacción de los usuarios.

Para lograr un estudio más objetivo y confiable, como fuente primaria se tuvo en cuenta la información suministrada por el principal grupo de interés del proyecto. A través de un formulario enviado al coordinador del CAP y cálculos realizados por el equipo de trabajo [ver anexo 7 y 8], fue posible recolectar los datos necesarios para el desarrollo del presente estudio, que involucraban tiempos de operación, tiempo de entrega de materia prima, presupuesto y tipo de materiales empleados en el desarrollo de proyectos tanto de investigación como académicos. Por otro lado, de las bases de datos del CAP se pudo extraer información concerniente a las prácticas y talleres [ver anexo 9 en la pestaña “Prácticas 2020-2” y “Tiempo de utilización] para establecer el tiempo disponible al semestre. Como fuente secundaria se utilizaron los informes de gestión del año 2018 y 2019 otorgados por el CAP, las listas de proveedores y las ordenes de materia prima [ver anexo 10 en la pestaña “Proveedores”], con las que se pudo construir el referente histórico de la entidad.

Teniendo en cuenta que los colaboradores del CAP aseguraron no tener la información clasificada de los programas académicos que hacían uso de los equipos, se estableció un contacto directo e inmediato con los directores de los respectivos programas de la facultad de ingeniería y ciencias. Mediante un cuestionario enviado [ver anexo 11], fue posible captar datos más concretos del uso que se le da al CAP, las asignaturas que requieren de sus servicios, las metodologías de trabajo y el tipo de proyectos que los estudiantes desarrollan haciendo uso de los equipos.

Para lograr un mayor acercamiento a los usuarios del CAP y determinar su percepción respecto al servicio y al uso de los equipos se diseñó una encuesta de tipo cualitativo que facilitó la obtención de dicha información [ver anexo 12 en la pestaña “Respuestas encuesta”]. Cabe aclarar que esta se realizó a los estudiantes de los programas de pregrado de la facultad de ingeniería y ciencias cuyos directores de programa afirmaron una utilización constante del CAP. En esta encuesta se midió el grado de satisfacción y a su vez se recopiló la opinión acerca de la experiencia con relación a la atención, manejo de equipos y capacitaciones [ver anexo 13].

Con el propósito de conseguir resultados detallados y representativos del estudio, se calculó un tamaño de muestra que estableció un mínimo de mediciones que garantizaran confiabilidad para realizar un diagnóstico adecuado de la situación actual del CAP. En la ecuación (1) mostrada a continuación se establece la fórmula empleada para determinar el número de encuestados, donde  $n_0$  es el tamaño de muestra para proporciones [ver anexo 14].

$$n_0 = \frac{Z^2 \cdot (p \cdot (1-p))}{\varepsilon^2} \quad (1)$$

donde  $Z$  es el nivel de confianza del estudio,  $\varepsilon$  es el error máximo permitido establecido, y  $p$  es la proporción de casos favorables encontrados en una muestra piloto. Para realizar el respectivo cálculo se empleó un nivel de confianza del 95%, un máximo error del 10% y teniendo en cuenta la falta de información, se asumió una proporción de 50%. Se aplicó también la fórmula de corrección por población finita, la cual se evidencia en la ecuación (2), donde  $N$  es el tamaño conocido de la población y  $n_0$  es el número de muestras sin corregir. Se estableció entonces que  $n$  correspondía a 84 encuestados.

$$n = \frac{n_0}{1 + \left(\frac{n_0}{N}\right)} \quad (2)$$

Por otra parte, se investigaron los diferentes procesos en los cuales el CAP está involucrado y las actividades que se llevan a cabo en este, con el objetivo de tener una visión más amplia de esta entidad y del servicio que este le presta a la Universidad Javeriana y a la comunidad que la conforma. Consecuentemente, se presenta en la Fig. 12. el mapa de procesos de la Pontificia Universidad Javeriana, el cual “contempla tres grandes grupos de ciclos y procesos que en su conjunto y de manera articulada responden al quehacer de la Universidad en términos de las actividades necesarias para prestar los servicios que ésta ofrece”[17]. A partir de este es posible comprender los procesos que operan en la institución. De igual manera, se determinaron los ciclos que comprenden la facultad de ingeniería y ciencias, y conjunto a la información obtenida en una asesoría con el coordinador de calidad de la Pontificia Universidad Javeriana [ver anexo 15], se establecieron los procesos que involucra el CAP. Asimismo, se

presenta un diagrama de flujo suministrado por el CAP, el cual se muestra en la Fig.14. En este flujograma, se muestran los diferentes procesos que se llevan a cabo en el CAP, y a partir de este se deriva un diagrama más detallado en la Fig.15. donde se puede apreciar el proceso a partir de la cual surgió el presente proyecto.

El plan previamente presentado permitió la identificación de las variables a analizar, las cuales en su mayoría son cuantitativas; estas son: número de proyectos desarrollados en el CAP por semestre, utilización de los equipos por semestre, tiempo de entrega de proveedores, y utilización del CAP por semestre. Por otro lado, la satisfacción de los usuarios del CAP, resultó ser la variable cualitativa por estudiar. Estas variables son explicadas con detalle en el formato PRD [ver anexo 16], donde se presenta una definición, justificación, método de medición y a su vez las expresiones asociadas. Cabe aclarar que los indicadores y ecuaciones fueron definidos por el equipo de trabajo con el fin de lograr una caracterización y cuantificación más exacta del sistema.

#### B. Exploración del mercado

Tras implementar el plan de recolección de datos explicado anteriormente, se realizó una síntesis de la información más representativa en el propósito de determinar el estado del sistema, y posteriormente evaluar el impacto del proyecto en este. A continuación, se presenta los resultados obtenidos para cada una de las variables expuestas.

Conforme a los datos relacionados con el número de proyectos desarrollados en el CAP, se puede observar en la Fig. 6. que el programa que reportó un mayor porcentaje de proyectos finalizados fue ingeniería electrónica. Lo anterior indicó que, de un total de 64 proyectos reportados, el 76% eran desarrollados por el mencionado programa, superando este a ingeniería industrial y mecánica, los cuales fueron un 8% y 16% respectivamente.

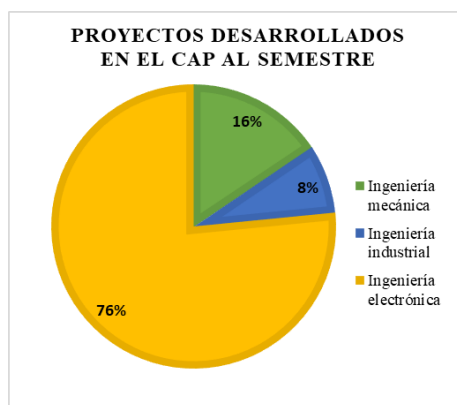


Fig. 6. Proyectos desarrollados en el CAP al semestre

En lo que concierne a la utilización de los equipos del CAP, de acuerdo con la información que se presenta en la Fig. 7, se expone la diferencia entre el tiempo que la maquinaria estaba siendo utilizada y el tiempo ocioso que presentaba. Cabe resaltar que todos los equipos tenían un tiempo ocioso que superaba el 70% de la capacidad instalada (en horas), en contraste, su utilización no excedía el 25%. Se destaca que la termo formadora no presentaba uso alguno por su reciente adquisición y en conjunto con este equipo, el torno y el robot mostraban los porcentajes más bajos de utilización con 4,55% y 13,64% respectivamente, a diferencia de la cortadora láser, la cual indicaba tener el mayor porcentaje de uso con 23,08% del tiempo total disponible.

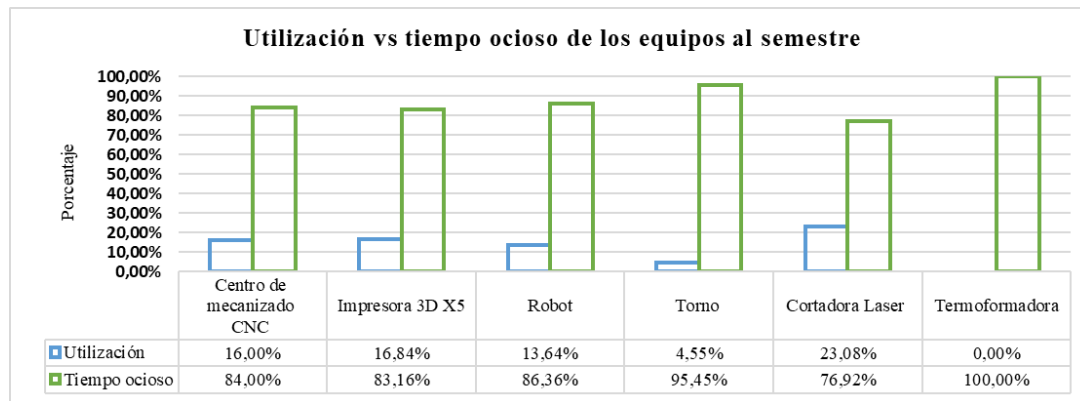


Fig. 7. Utilización vs tiempo ocioso de los equipos en el semestre 2019-2 [7]

Los datos recolectados mostraron que el CAP tenía una utilización baja, considerando que este disponía de 880 horas al semestre y solo el 13,86% de este tiempo se destinaba a la operación. Del total de horas disponibles, 122 horas estaban siendo aprovechadas, mientras que las 758 horas al semestre eran improductivas. Por otra parte, 23 de las 122 ocupadas se destinaban a prácticas de laboratorio y talleres, lo cual indicó que 99 horas al semestre eran dirigidas al desarrollo de proyectos académicos.

En la TABLA IV se lista los principales proveedores del CAP junto con el tipo de material y el respectivo tiempo de entrega (en días). A partir de esta información fue posible establecer un tiempo de entrega promedio de 2.23 días, el cual se aproximó a tres días, y a su vez una desviación estándar de 1,60 días, redondeada a dos días. No obstante, con base al protocolo para realizar los pedidos de materia prima presentado en el anexo 10, se determinó que desde que se generaba una orden de materia prima, hasta que esta se recibía en el CAP, había un estimado de tres semanas. Lo anterior indicó que el tiempo de entrega de un material se componía en un 15% por el tiempo de entrega del respectivo proveedor y en un 85% por el tiempo que tardaba una orden en tramitarse en el ciclo de compras de la Universidad Javeriana. Por tanto, se estimó que para llevar a cabo los múltiples proyectos que demandan los usuarios del CAP era necesario realizar los pedidos con un tiempo de tres semanas y tres días, los cuales representan 24 días hábiles.

TABLA IV  
TIEMPO DE ENTREGA DE PROVEEDORES 2019-2 [7]

Proveedor	Tipo de material	Lead time (días)
Aceroscol	Platina 1020 cal 3/8 " x 1"	2
	Aluminio red 5/16"	4
	Aluminio red 3/8"	4
	Aluminio red 3/4"	4
	Aluminio red 7/8"	4
	Nylon red 1/2"	4
	Empack red 1"	4
	Empack red 1.1/2"	4
	Empack red 2"	4
	Placa de aluminio espesor 20 mm	4
Ferro Bronces	Aluminio redondo 7/8"	1
	Aluminio redondo 1/4"	1
	Aluminio redondo 3/8"	1
	Aluminio redondo 5/16"	1
	Nylon diámetro 1/2"	1
	Empack diámetro 1"	1
	Empack diámetro 1-1/2"	1
	Empack diámetro 2"	1
Reydin	Placa de aluminio de 20mm x 120mm x 85mm	1
	Acero inoxidable 304 redondo 3"	0
	Lamina Aluminio espesor 3mm 350mm x 350mm	0
<b>Promedio <math>\bar{X}</math></b>		2,23 días
<b>Desviación estándar <math>\sigma</math></b>		1,60 días
<b>Tiempo de entrega de materia prima</b>		Tres semanas + tres días

En la Fig.8. según la encuesta aplicada a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, la mayoría que hacían uso del CAP, cursaban séptimo, octavo y noveno semestre. Aproximadamente el 78% de los usuarios del CAP afirmó estar cursando los últimos semestres del programa académico, mientras que el 22% restante tenía una ubicación semestral menor. Posteriormente, en la Fig.9. se observa que el 70% de los ya mencionados usuarios consideraban los servicios prestados por la entidad como excelentes y buenos, no obstante, el 30% restante los calificó como regulares y muy malos.

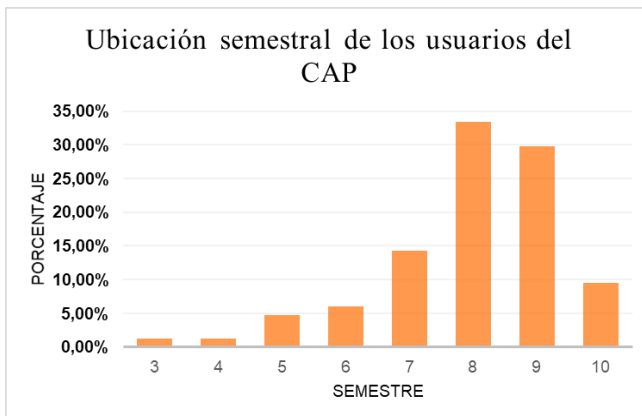


Fig. 8. Ubicación semestral de los usuarios del CAP



Fig. 9. Calificación servicios ofrecidos por el CAP

Profundizando en la satisfacción de los estudiantes de la facultad de Ingeniería y Ciencias, según lo que ilustra la Fig. 10. los usuarios consideraban que efectivamente había limitantes para el desarrollo de proyectos en el CAP. Por consiguiente, el 46,4% de los 84 estudiantes encuestados, afirmó que el principal obstáculo para el desarrollo de proyectos resultó ser el poco conocimiento del manejo de los equipos seguido de la disponibilidad de estos. Sin embargo, aproximadamente un 11% de los entrevistados aseguraron que no había ningún tipo de limitante respecto al servicio prestado.

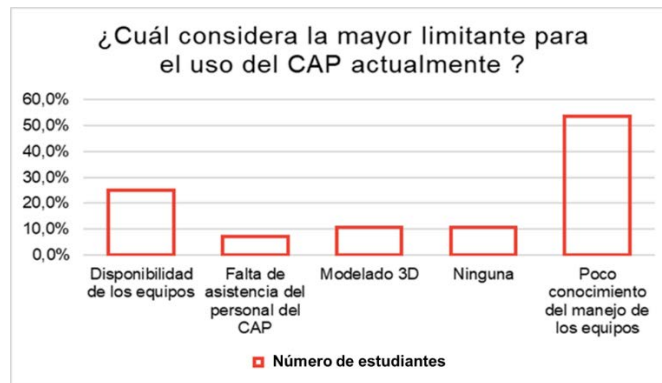


Fig. 10. Limitantes para el uso del CAP

Se presentan a continuación los procesos donde se identifica la oportunidad de la cual se derivó el presente proyecto. En la Fig.11. se ilustra el modelo de procesos de la Pontificia Universidad Javeriana, que bajo el concepto de “giro” en torno a un foco, permite visualizar la gestión de la institución para integrar el conjunto de actividades que le agregan valor [17].

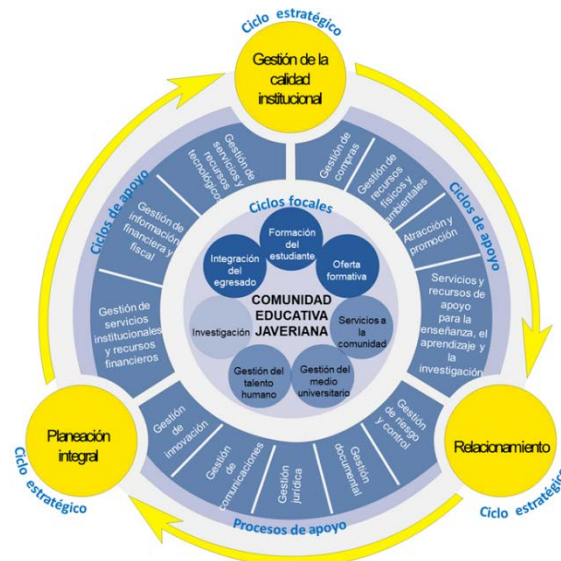


Fig. 11. Modelo de procesos Pontificia Universidad Javeriana [17]

Teniendo en cuenta que el modelo de procesos mostrado anteriormente “no esta diseñado para reflejar la estructura organizacional de la universidad”[17], este se conforma por siete (7) ciclos de gestión focales, los cuales están orientados hacia la mejora, el rendimiento y el fomento de la eficiencia. Debido a la transversalidad de su diseño, en el modelo se puede identificar la facultad de ingeniería y ciencias, a la cual el CAP presta sus servicios, en los ciclos de oferta formativa, formación al estudiante, servicio a la comunidad e investigación, estos se pueden apreciar en la Fig.12. Cada uno de los mencionados ciclos tiene a su vez procesos que lo componen; el CAP comprende los procesos de enseñanza-aprendizaje, y gestión académica-administrativa en cuanto al ciclo de formación al estudiante, además abarca los cuatro procesos del ciclo de investigación. Los ya mencionados procesos se señalan en la Fig. 12. con el color rojo.

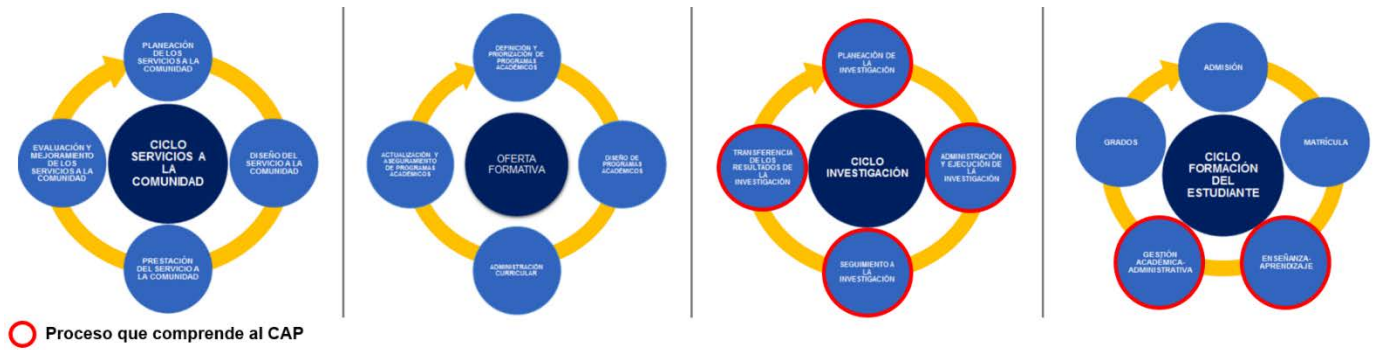


Fig. 12. Ciclos focales de la Facultad de Ingeniería y Ciencias. Modificado de [17]

Habiendo identificado los respectivos procesos, se presenta a su vez un diagrama de flujo del CAP, suministrado por el coordinador, en el cual se perciben detalladamente las actividades que se llevan a cabo en la entidad y se visualiza la estructura a través de pasos en la Fig.13. De igual manera, se deriva de este diagrama, un flujograma más específico de la prestación de los servicios del CAP para el desarrollo de proyectos que seguidamente se encuentra en la Fig.14.

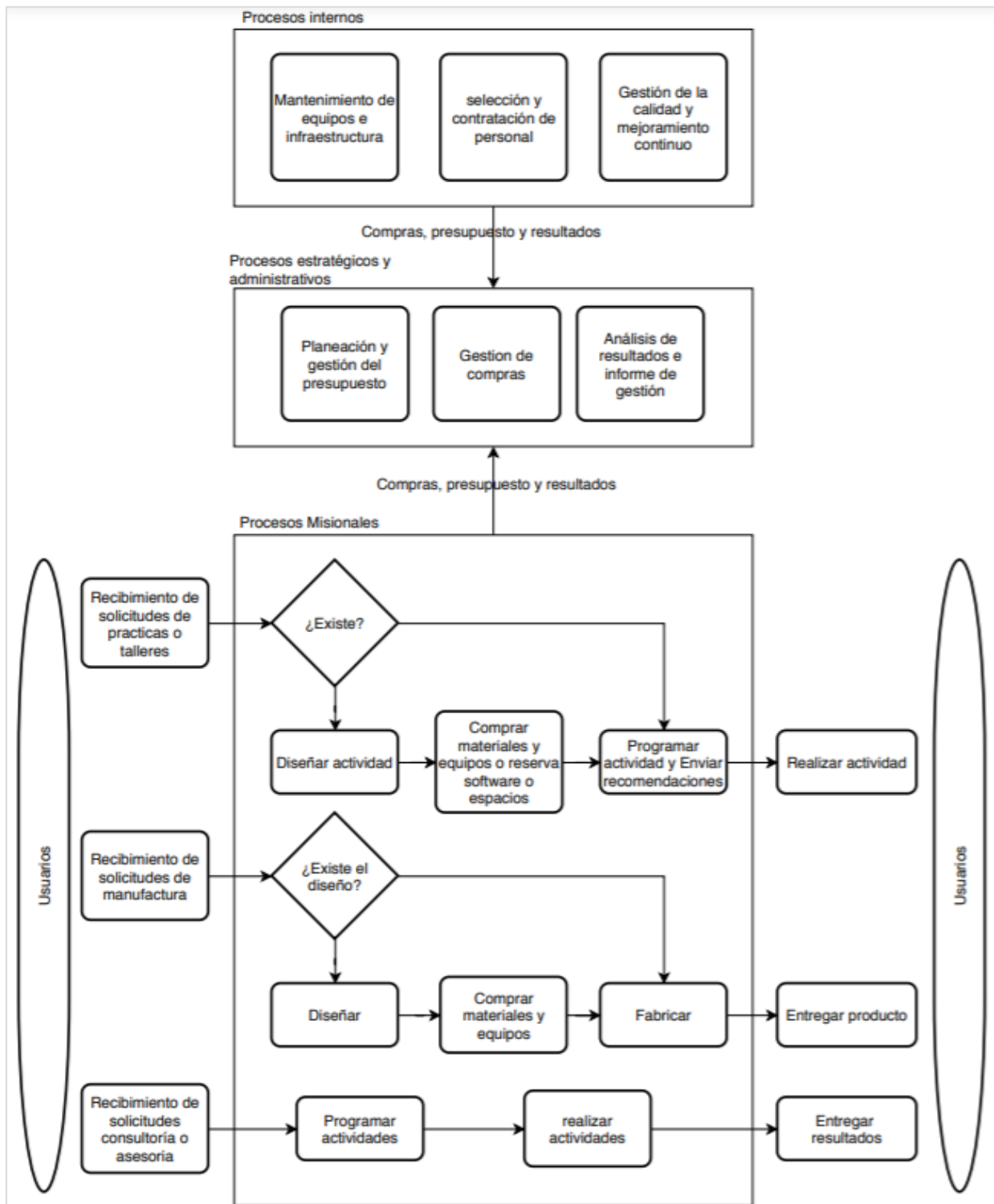


Fig. 13. Diagrama de flujo del CAP

CAP	Resumen de eventos	
<b>Diagrama de flujo de prestación de servicios en el CAP para el diseño y fabricación de productos</b>	Operaciones	8
<b>Realizado por:</b> Mariana Zuluaga, Andrés Carvajal, Paulo Castillo, Hellen Solarte	Inspecciones	3
<b>Fecha:</b> Octubre 20/2020	Decisiones	1
Método actual	Espera	1
Página 1 de 1	Total	<b>12</b>

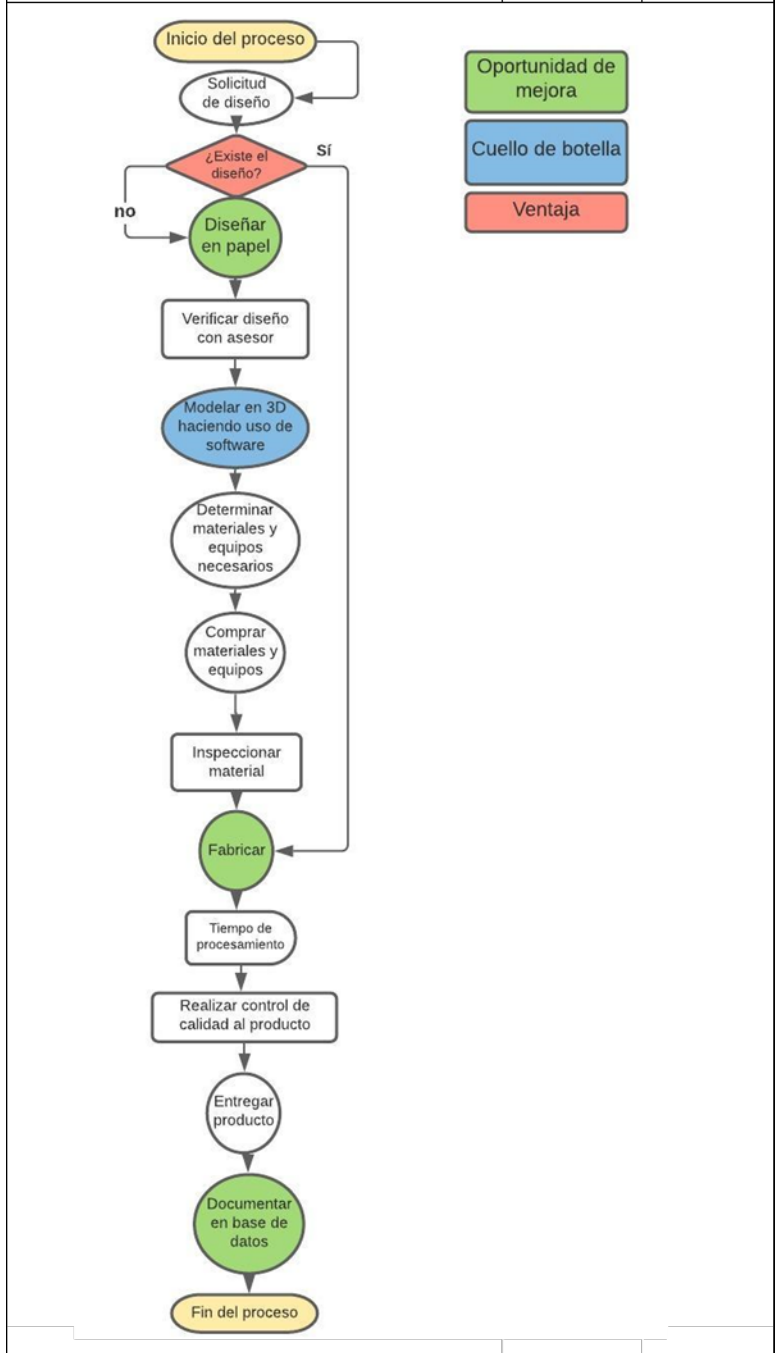


Fig. 14. Diagrama de flujo de prestación de servicios en el CAP para el diseño y fabricación de productos

En el diagrama presentado en la Fig.14 se muestra el proceso en el cual se detectó la oportunidad para el desarrollo del presente proyecto. En este, a su vez, se marcan las oportunidades de mejora, como lo es el diseño del producto, las dificultades percibidas como el modelado en 3D y las ventajas del proceso que en este caso es la existencia de diseños en las bases de datos del CAP. De este modo, se puede afirmar que en el CAP se debía optimizar el diseño, la fabricación de los productos y la documentación de los proyectos, elementos que se desarrollaron con el proceso propuesto. Por otro lado, el modelado en 3D resultó ser el principal cuello de botella, y los diseños ya existentes eran una ventaja del CAP.

Ya habiendo presentado el proceso anterior, se desarrolló un análisis global e integral del estado actual del sistema, con el fin de complementar la evaluación de la situación actual. Este análisis se llevó a cabo a través de una matriz DOFA, presentada en la Fig. 15. la cual se desarrolló con la ayuda de un análisis PESTEL [ver anexo 17 en las pestañas “Externo” e “Interno”] que permitió identificar factores tanto internos como externos del entorno que afectan directamente el proceso previamente identificado.

	<p style="text-align: center;"><b>FORTALEZAS</b></p> <p>F1: Tecnología de punta al alcance de la comunidad Javeriana para desarrollar proyectos en el CAP.          F2: Personal capacitado para apoyar a los usuarios interesados en diseñar y fabricar productos en el CAP.          F3: Tiempo disponible de los equipos del CAP para ser utilizado en el desarrollo de proyectos propuestos.          F4: Amplia base de datos con diseños previamente realizados.          F5: Políticas de la Universidad Javeriana que impulsen el desarrollo de actividades en el CAP.</p>	<p style="text-align: center;"><b>DEBILIDADES</b></p> <p>D1: Múltiples trámites que se requieren para el proceso de compra de insumos y materia prima.          D2: Capacitación necesaria para el uso de los equipos en el CAP.          D3: Poca disponibilidad del personal de apoyo del CAP.          D4: Mantenimiento periódicos de los equipos del CAP.</p>
<p style="text-align: center;"><b>OPORTUNIDADES</b></p> <p>O1: Interés de la comunidad Javeriana en hacer uso de los servicios prestados por el CAP.          O2: Soporte de la tecnología ofrecida por la Universidad Javeriana para el desarrollo de proyectos que impulsen la investigación e innovación.          O3: Aplicación de las técnicas de ingeniería para el desarrollo de un modelo que impulse el diseño y la fabricación de productos en el CAP.          O4: Elaboración de un plan de distribución y separación de residuos e implementación de tecnologías limpias para el desarrollo de productos en el CAP.</p>	<p style="text-align: center;"><b>ESTRATEGIAS FO</b></p> <p>FO1: Dar a conocer en la comunidad Javeriana los servicios ofrecidos por el CAP a través de estrategias de mercadeo que motiven al desarrollo de proyectos haciendo uso de los equipos en el CAP. <b>(F2-3/O2)</b></p> <p>FO2: Establecer una base de datos pública en la que se den a conocer proyectos previos desarrollados en el CAP, los cuales puedan servir de guía para nuevos diseños. <b>(F4/O3)</b></p> <p>FO3: Seminarios en los que se divulgue la aplicación de la automatización de procesos en los diferentes campos de la ingeniería. <b>(F1-5/O1)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>ESTRATEGIAS DO</b></p> <p>DO1: Implementación de capacitaciones periódicas que permitan a los estudiantes tener dominio de los equipos en el CAP. <b>(D2/O2)</b></p> <p>DO2: Capacitar a un grupo específico de estudiantes que puedan tomar el rol de monitores para orientar al resto de la comunidad Javeriana en el manejo de los equipos del CAP. <b>(D3/O3)</b></p> <p>DO3: Implementación de un sistema de reservas que facilite el acceso a los equipos del CAP. <b>(D1/O1)</b></p> <p>D4: Jornadas de mantenimiento en periodos donde haya poco flujo de usuarios. <b>(D4/O4)</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>AMENAZAS</b></p> <p>A1: Limitaciones de presupuesto para la adquisición de materiales, insumos y mantenimiento de equipos.          A2: Insatisfacción de los usuarios del CAP con respecto a los servicios ofrecidos y a la disponibilidad de las máquinas.</p>	<p style="text-align: center;"><b>ESTRATEGIAS FA</b></p> <p>FA1: Estudio que permita detectar el nivel de satisfacción de los usuarios del CAP, y a su vez. <b>(F1-3/A2)</b></p> <p>FA2: Realizar pronósticos de la demanda los cuales permitan obtener un estimado de la cantidad de material necesario para un periodo de tiempo determinado. <b>(F2/A1)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>ESTRATEGIAS DA</b></p> <p>DA1: Realizar inspecciones y revisiones periódicas que permitan la mejora continua. <b>(D4/A1)</b></p> <p>DA2: Evaluaciones continuas que permitan el nivel de satisfacción de los usuarios. <b>(D3/A2)</b></p> <p>DA3: Análisis financiero que permita determinar si el presupuesto actual es el adecuado para cubrir las necesidades actuales del CAP. <b>(D1/A1)</b></p>

Fig. 15. Matriz DOFA de la propuesta

A partir de la información presentada anteriormente fue posible dar un diagnóstico de la situación del CAP y los procesos que se llevan a cabo en la entidad. Siguiendo el plan de recolección de datos, en la *TABLA V* se presenta un resumen, en el cual se establecen las variables medidas anteriormente con su respectiva descripción e indicador. Asimismo, se presentan las metas asociadas a dichas variables, las cuales fueron establecidas en conjunto con el coordinador del CAP y dan respuesta a los requerimientos de las partes interesadas presentadas previamente en la *TABLA III*. Los anexos en los cuales se realizaron los respectivos cálculos para presentar la situación actual también se presentan en la *TABLA V*.

*TABLA V*  
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador	Actualidad	Meta	Anexo	
Número de proyectos de la facultad en el CAP por semestre.	Conocer el uso que se le da a los equipos del CAP para el desarrollo de proyectos académicos	Conteo de los proyectos realizados al semestre con ayuda de un cuestionario enviado a los directores de los programas de pregrado de la facultad de ingeniería y ciencias.	Proyectos desarrollados en el CAP al semestre $= \sum_i PCAPS_i$ Donde, $PCAPS_i = (C) * (ET) * (PE)$	64	>64	[Anexo 11]	
Utilización de los equipos en el CAP al semestre	Determinar las horas reales de trabajo y el tiempo ocioso de las máquinas.	El coordinador del CAP suministra la información del uso de los equipos en horas semanales y se calcula la utilización a partir de las horas disponibles.	$\%U_e = \frac{\text{Rendimiento}}{\text{Capacidad efectiva real}} * 100$	Impresora 3D	16,84%	> A la utilización actual	[Anexo 8]
				Cortadora láser	23,08%		
				Termo formadora	0%		
				Centro de mecanizado CNC	16%		
				Torno	4,55%		
				Robot	13,64%		
Tiempo de entrega	Calcular el tiempo de entrega de la materia prima desde que se realiza la orden hasta que arriba al CAP.	Cálculo del promedio y la desviación de los Lead times de los diferentes proveedores del CAP, sumándole el tiempo de procesamiento de la orden.	$\text{Tiempo de entrega} = LT + \text{Tiempo de procesamiento de orden}$	3 semanas y 3 días	< 3 semanas y 3 días	[Anexo 10, pestaña "Tiempo de entrega"]	
Satisfacción de los usuarios del CAP	Conocer el grado de satisfacción de los estudiantes en relación con los servicios del CAP. Busca esclarecer posibles causas de la subutilización de los equipos del CAP.	Encuesta a los usuarios del CAP, donde se mide el grado de satisfacción con respecto a los servicios prestados por la entidad de acuerdo con una escala.	$\% \text{ satisfacción usuarios satisfechos} = \frac{\text{Total}}{\text{entrevistados}} * 100$	70%	80%	[Anexo 12]	

## V. ANALIZAR

### A. Análisis de oportunidad

A través de la recolección de datos y el análisis de los indicadores evaluados en la etapa medir, fue posible identificar la oportunidad que se presentaba y a su vez determinar los elementos clave que permitieran disminuir la brecha existente entre el sistema estudiado y el sistema deseado. La baja utilización de la maquinaria del CAP por parte de la comunidad estudiantil y el profesorado representaba una pérdida monetaria para la Pontificia Universidad Javeriana y demostraba el poco aprovechamiento de los recursos tecnológicos, su capacidad productiva y la posibilidad de generar proyectos de emprendimiento e innovación. Con el fin de establecer una propuesta que permitiera abordar satisfactoriamente la oportunidad encontrada y que alcanzara las metas planteadas en el apartado anterior, se desarrolló una metodología que involucró un análisis de causas. Esta metodología se apoyó en la encuesta de satisfacción realizada a los usuarios del CAP [ver anexo 12 en la pestaña "Respuestas encuesta"], a partir de la

cual se determinaron las principales limitantes para el uso del CAP. Tomando como base aquellas limitantes, se realizó una tormenta de ideas para cada una de estas, integrando opiniones del equipo de trabajo y de las partes interesadas, en la que se establecieron las posibles causas del problema detectado. Seguidamente, se realizó el respectivo diagrama de afinidad [ver anexo 18] para cada limitante que permitió organizar las ideas planteadas en grupos semejantes; a estos se les asignó un encabezado que posteriormente se plasmó en un diagrama causa-efecto. Finalmente se utilizó la herramienta de los cinco por qué, por medio de la cual se pudo indagar en detalle la manera más viable de dirigir el sistema actual al deseado y cumplir con los requerimientos de las partes interesadas, los cuales previamente fueron presentados en la *TABLA III*. Por consiguiente, el análisis de causas previamente descrito fue la manera más viable de validar que un proceso para el diseño y fabricación de productos en el CAP representaba una oportunidad para superar aquellas dificultades anteriormente señaladas por los usuarios encuestados.

En primer lugar, tomando como referencia la Fig.10. se analizaron las causas asociadas al “poco conocimiento del manejo de los equipos”. De esta manera, se desarrolló una tormenta ideas, la cual se puede consultar en el anexo 18. En esta se establecieron ideas que representaban una posible causa al problema en cuestión, y tras una depuración, se logró construir el diagrama causa-efecto, el cual se evidencia en la Fig. 16. donde se ilustran las relaciones existentes entre el efecto y los factores (causas) que influyen en este. En este caso, se clasificaron los factores en 5 categorías, como entorno, mano de obra, información, método, maquinaria y equipo.

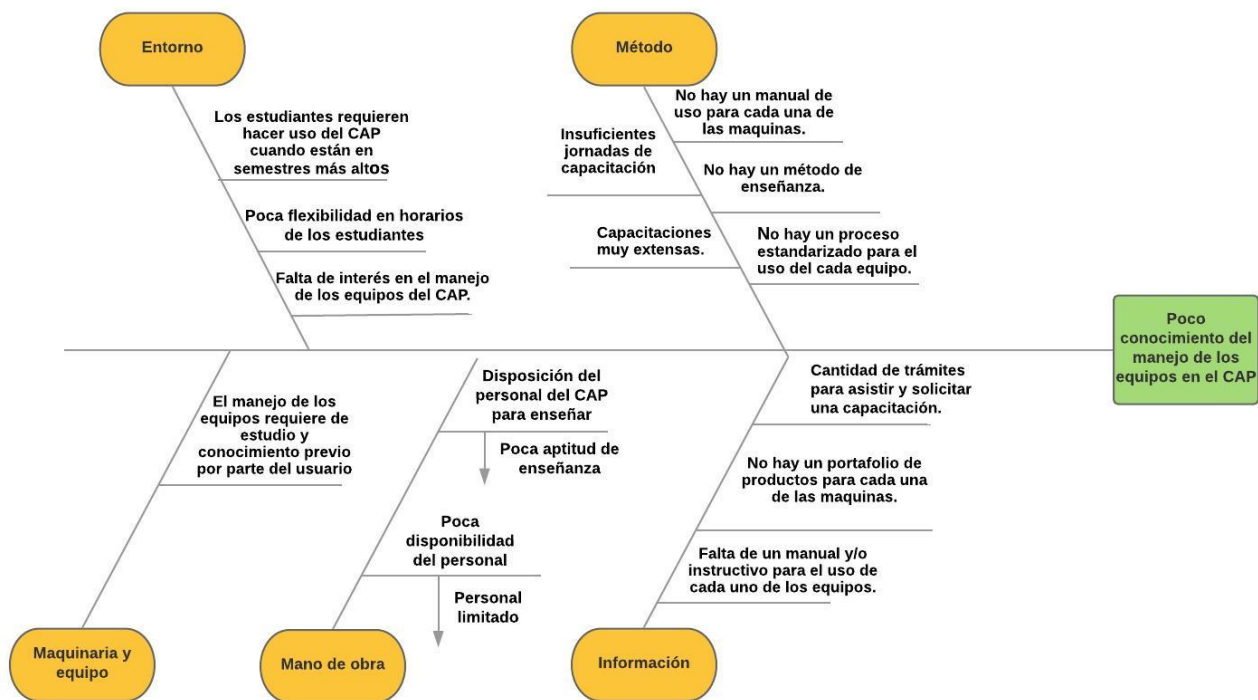


Fig. 16. Diagrama causa y efecto: Poco conocimiento del manejo de los equipos del CAP

De acuerdo con la Fig.17. el método fue una causa potencial del problema en cuestión, ya que había insuficientes capacitaciones a los usuarios del CAP para el manejo de los equipos y había una carencia de un proceso estandarizado que involucrara manuales y/o instructivos. En lo referente a mano de obra, se detectó poca disponibilidad del personal en el CAP y poca disposición de este para la enseñanza, teniendo en cuenta que su labor principal no era instruir a los usuarios. Asimismo, en cuanto a la información, se evidenció un desconocimiento de los productos que se pueden obtener a través del uso de cada una de las maquinas. A su vez, faltaba un instructivo para usarlas, y había un exceso de trámites para el manejo de cada uno de los equipos. Del mismo modo, en el entorno se percibió que los estudiantes tenían un horario poco flexible para asistir a las capacitaciones ofrecidas por el CAP y que debido a que requerían de los servicios del CAP en semestres más altos, no tenían la oportunidad de aprender sobre el manejo de los equipos con anterioridad.

Teniendo en cuenta lo anterior, y habiendo determinado que el método era una de las causas más representativas del problema, se procedió a establecer la causa raíz del “poco conocimiento del manejo de los equipos” a través de los cinco porqués como se muestra a continuación en la Fig.17.

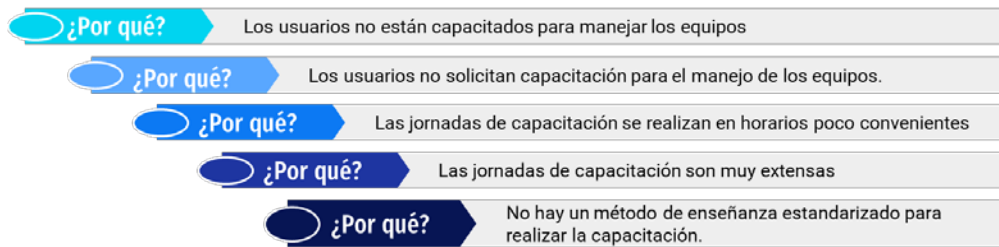


Fig. 17. Cinco porqués: Poco conocimiento del manejo de los equipos

A partir de esta herramienta se determinó que el poco conocimiento del manejo de los equipos se debía a que en el CAP no había un procedimiento a seguir para capacitar a los estudiantes, lo cual influía directamente en la utilización que se le daba a cada uno de los equipos de la entidad. Por consiguiente, se determinó que para poder proponer un proceso de diseño y fabricación de productos era necesario resolver que los usuarios dominaran los equipos, razón por la cual se propuso la elaboración de una serie de instrumentos que proporcionarían la información necesaria para el manejo adecuado de estos. Dichos instrumentos podían ser de tipo audiovisual o físico para ofrecerle al usuario un conocimiento básico sobre el empleo de cada una de las máquinas.

Se analizaron las causas de “la falta de asistencia del personal del CAP. Se procedió con la metodología implementada anteriormente [ver anexo 18], y en la Fig.18. se presenta el respectivo diagrama causa y efecto, donde se ilustran las posibles causas del ya mencionado problema. Se clasifican las respectivas causas en factores como el tiempo, el método empleado, la mano de obra y/o personal, la información, la maquinaria y el equipo.

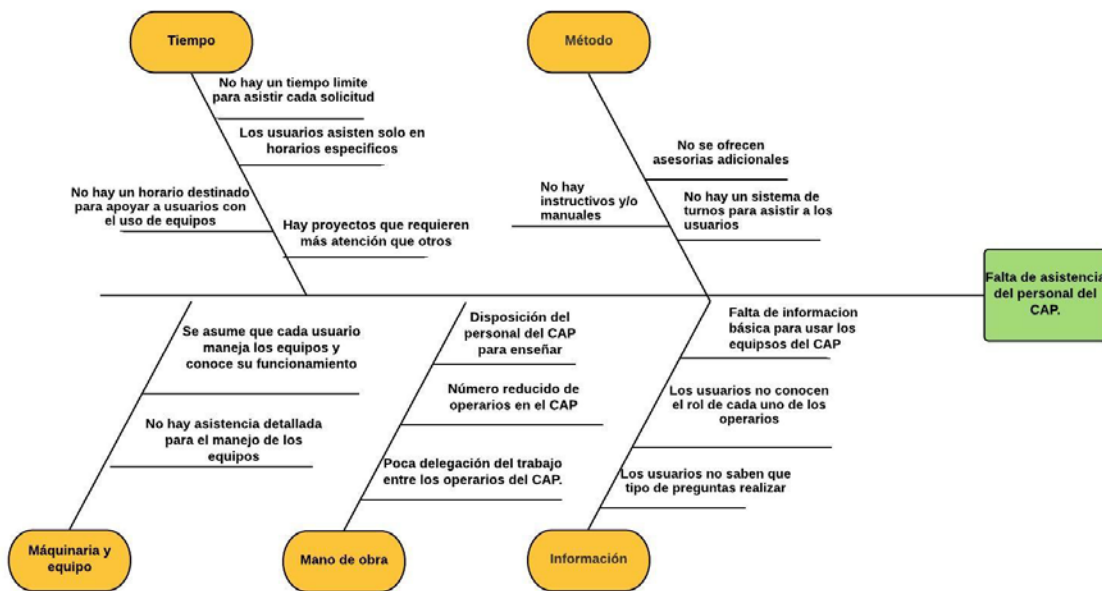


Fig. 18. Diagrama causa y efecto: Falta de asistencia del personal del CAP

Según la Fig.18. La falta de asistencia del personal del CAP ocurría puesto que había poca delegación de las tareas entre los operarios y había un número reducido en personal de apoyo. En relación con la información, los usuarios del CAP no tenían conocimiento del rol de los operarios, razón por la cual no sabían a quién hacerle las respectivas preguntas. En lo que concierne a la maquinaria y los equipos, como se había señalado previamente, el poco conocimiento del manejo de las máquinas en el CAP impedía que se prestara un servicio de la misma calidad a todos los usuarios. Adicionalmente, se observó que, en cuanto al método, en el CAP no había un sistema que facilitara la organización de los turnos, ni un sistema de información que involucrara manuales

o instructivos que pudieran alivianar la carga de trabajo de los operarios. Además, respecto al tiempo, el personal de apoyo no disponía del cien por ciento del tiempo para asistir solicitudes, no establecía un límite de tiempo para atender a los usuarios, y no tenía establecido un horario de atención teniendo en cuenta que las asesorías varían en duración.

Tras identificar las causas potenciales, se determinó que el tiempo era uno de los factores más influyentes en la falta de asistencia del personal que se evidenciaba en el CAP. Para determinar la causa raíz de este problema se procedió a hacer uso de la herramienta de los cinco porqués, como se muestra a continuación en la Fig.19.

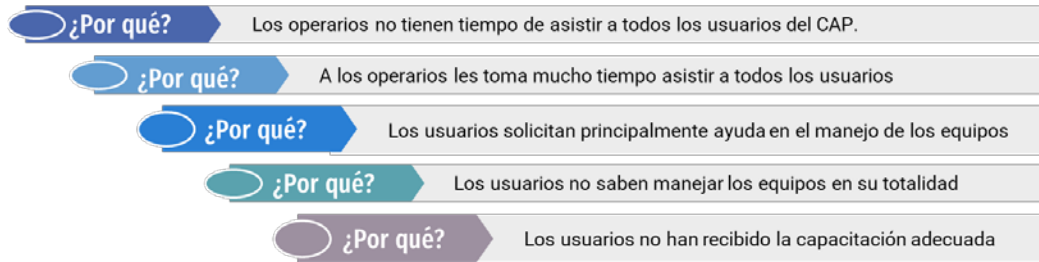


Fig. 19. Cinco porqués: Falta de asistencia del personal del CAP

A través de esta herramienta se definió que la causa raíz del ya mencionado problema redundaba en la falta de capacitación que tenían los usuarios para manejar los equipos. Por este motivo se estableció que la elaboración de instrumentos que se enfocaran en capacitar al usuario representaba una entrada para la propuesta del proceso, puesto que este requería que cada usuario tuviera pleno conocimiento del manejo de los equipos.

Por último, se analizaron las causas del “Modelado 3D” las cuales, siguiendo la metodología previamente presentada, se pueden reconocer en la Fig.20 que corresponde al diagrama causa y efecto. En este diagrama se pueden identificar las causas de la problemática mencionada y la respectiva clasificación con respecto al método, entorno, maquinaria y equipo, capacitación e información.

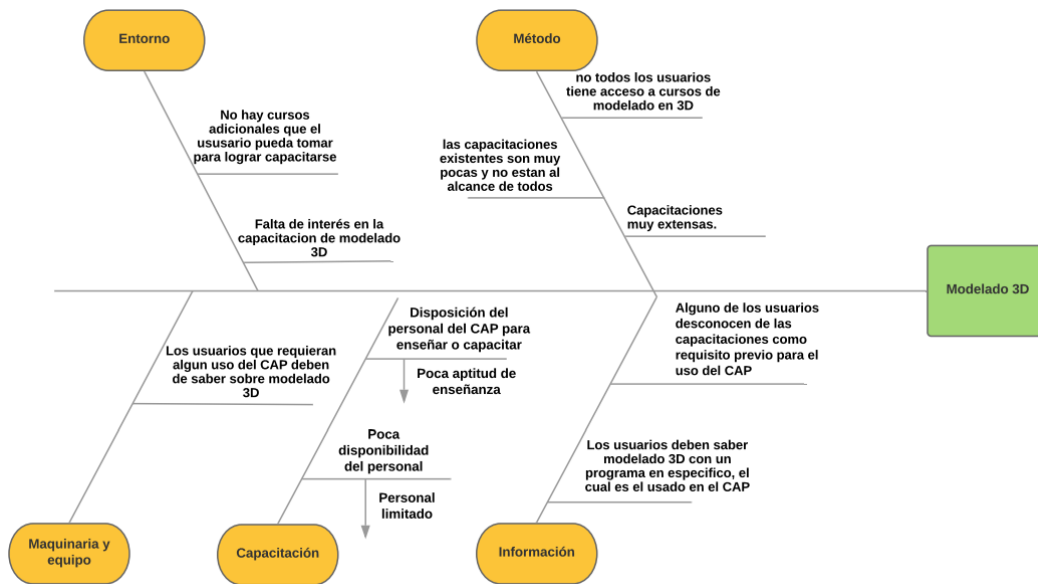


Fig. 20. Diagrama causa y efecto: Modelado 3D

La falta de información, la insuficiencia de tiempo y de operarios representaban en gran parte las razones por las cuales había cierta dificultad con el modelado 3D en el CAP. Un usuario que pretendía desarrollar un proyecto mediante el uso de los diferentes equipos en el CAP requería de un conocimiento básico del modelado tridimensional, de no tenerlo, este podía presentar dificultades en el proceso. A pesar de que ciertos programas ofrecían los cursos y seminarios de modelado 3D, de acuerdo con

lo expresado por los estudiantes de los programas de la facultad de ingeniería y ciencias [ver anexo 13] estos resultaban ser básicos, cortos y no garantizaban preparación para que un estudiante pudiera modelar libremente piezas de dificultad media. No obstante, de acuerdo con la encuesta de satisfacción realizada [ver anexo 11], la cantidad de usuarios que no recibían este tipo de capacitación superaba en un 50% a los que sí.

Después de identificar las causas de la problemática se evidenció que la falta de capacitación fue de los factores más influyentes en el desconocimiento del modelado 3D. Así que para determinar la causa raíz de este problema se hizo uso de la herramienta de los cinco porqués, el resultado se puede observar a continuación en la Fig.21.

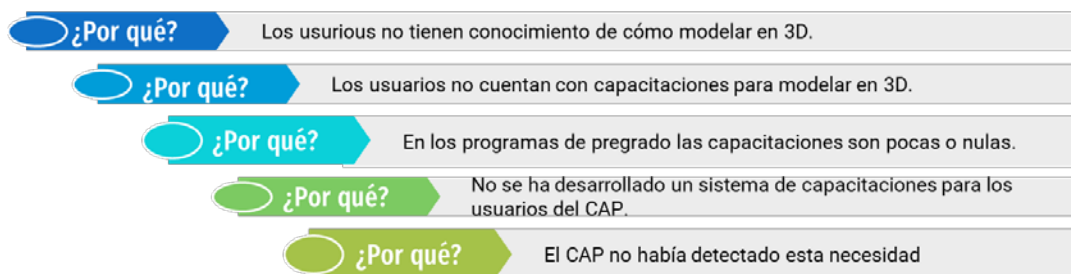


Fig. 21. Cinco porqués: Modelado 3D.

Conforme a lo anterior, se pudo definir que la causa raíz del problema anteriormente mencionado, era la falta de capacitación de modelado 3D por parte del CAP. Se propuso entonces que el CAP brindara apoyo a sus usuarios en este aspecto, pues el modelado en 3D era un requisito para el uso de la maquinaria. Por consiguiente, se sugirió la elaboración de videos tutoriales para la comunidad Javeriana, que fortalecieran a los usuarios en el uso de SolidWorks y otros softwares de modelado mecánico.

Ya identificada la causa principal de cada una de las limitantes mencionadas por los usuarios del CAP en la encuesta de satisfacción aplicada [ver anexo 13], se aclaró que para la puesta en marcha del proceso para diseñar y fabricar productos en el CAP era necesario resolver tales restricciones. El análisis previamente presentado fue útil, ya que mostró que era fundamental plantear y ejecutar alternativas de solución a estas restricciones porque posiblemente iban a influir en el desempeño del proceso. El desarrollo de instrumentos para el manejo de los equipos y el modelado en 3D representaban una parte fundamental en la propuesta del proceso. Siendo así, para el diseño de un producto era necesario hacer uso de un software de modelado, y, por otra parte, para la fabricación era elemental un adecuado manejo del conjunto de equipos que se han mencionado en el presente proyecto.

#### B. Revisión de literatura

Con el propósito de establecer un proceso de diseño y fabricación de productos, que permitiera eliminar las restricciones identificadas en el apartado anterior, se realizó una investigación académica sobre los diversos métodos de diseño en la fabricación de productos que encaminara hacia la solución del problema principal del proyecto. Este redundaba en la baja utilización de la maquinaria del CAP por parte de la comunidad estudiantil y el profesorado. Para ello se consultaron múltiples artículos científicos y textos relacionados al tema tratado, que permitieran un acercamiento real al sistema estudiado a través de la literatura. El resumen de esta revisión de literatura se puede observar de manera estructurada en el anexo 19.

Se estudiaron diferentes artículos que abordaban varios métodos de diseño de producto, por ejemplo, la publicación “Evolución de los modelos del proceso de diseño”[18] hace una revisión en detalle la transformación del proceso de diseño y desarrollo de productos. En esta se distingue, que han existido métodos clásicos de diseño que se han ido transformando hasta convertirse en métodos actuales enfocados en los requerimientos de los clientes y en posicionar a los productos en el mercado. Dichos métodos, aportan una visión específica de los procesos relacionados con el diseño y el desarrollo de productos, adicionalmente, ofrecen un acercamiento a los sistemas productivos. De esta manera, se seleccionaron los más afines al presente proyecto y los que posteriormente pudieran ser una guía para el desarrollo del proceso para diseñar y fabricar productos en el CAP.

En primera instancia, se consultó la norma alemana VDI 2221 titulada “*Systematic approach to the development and design of technical systems and products*”[19], en la cual la Asociación Alemana de Ingenieros propone un método de diseño de productos en el que se mencionan requerimientos, modelos conceptuales, y un alistamiento para la producción. Esta norma tiene un enfoque sistémico que plantea analizar y entender el problema, luego fraccionarlo en subproblemas y posteriormente encontrar “sub-soluciones” que conlleven a una solución general. Dicho enfoque hace que este sea un modelo fundamentado en el problema y no en la solución a diferencia de otros métodos tradicionales. Por otro lado, la norma tiene como propósito un diseño sistemático que aborda diferentes ramas de la ingeniería como la mecánica e incluso el desarrollo de softwares; esto a través de ocho fases principales las cuales son: especificación, estructura funcional, estructura modular, diseños preliminares, diseño definitivo y finalmente documentación del producto. Lo anterior indica que el proceso resulta ser iterativo y se adapta a los requerimientos, no obstante, comparado con su norma predecesora VDI 2222 “*Design engineering methodics Conceptioning of industrial products*” esta guía intenta principalmente “establecer las funciones y sus respectivas estructuras, buscar soluciones y de igual forma cumplir”[19] con los módulos previamente mencionado. Finalmente, la norma VDI 2221 se centra en buscar una solución a un problema y busca información precisa para el desarrollo de un diseño eficaz que resulte en un prototipo que logre satisfacer una necesidad.

Kai Yang y Basem El-Haik, en su libro “*Design for six sigma: Roadmap to product development*”[20], muestran una directriz clara en el desarrollo del diseño y la fabricación de un producto determinado. Estos enfatizan en la importancia que tiene ser consciente del contexto en el que se aborda el diseño y las herramientas con las cuales se cuenta para abordar el problema identificado; lo anterior con el fin de formular ideas innovadoras que se ajusten a la realidad. Yang y El-Haik, hacen relevante el estudio del mercado objetivo para identificar la percepción existente por parte de las posibles clientes y los aspectos que para estos son fundamentales en un producto. Desde el diseño para seis sigma (DFSS), se busca el desarrollo integral de un producto que cuente con estándares de calidad, y se busca una mejora continua que asegure mejores resultados. Por consiguiente, se establece que se debe fijar un plan de monitoreo postventa, que permita identificar oportunidades de mejora, e incluso no conformidades identificadas por el cliente en el diseño actual. El objetivo es que al finalizar las etapas que componen el método, se cuente con un producto totalmente ajustable al entorno, que cumpla con las características y requisitos que lo hagan atractivo para el consumidor, y que adicionalmente asegure la solución a una necesidad inicialmente identificada[20].

Kevin Otto y Kristin Wood, en su publicación “*Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*” [21] tornaron los métodos clásicos de desarrollo de productos a un nivel más especializado. A partir de herramientas y técnicas más modernas como la ingeniería inversa, establecieron que, para llevar a cabo la ejecución de un producto, se deben planificar todas las actividades de producción y comercialización; incluyendo las etapas de estudio de mercado, planeación estratégica, diseño del producto y del proceso. A su vez se debe incluir la fabricación de los medios de producción y el lanzamiento de la fabricación y comercialización del producto. El método planteado en la investigación de estos autores es flexible y se adapta a las diferentes disciplinas, teniendo en cuenta que a través de este es posible desarrollar productos mecánicos, eléctricos/electrónicos y softwares o combinaciones de estos como lo son los electromecánicos o mecatrónicas. Sin embargo, este se desarrolla bajo el concepto de que no hay un “mejor” proceso de diseño ya que es el mismo proceso el que fluctúa dependiendo de la sofisticación del producto, el entorno competitivo, el cambio de la tecnología y las transformaciones de los sistemas.

Otra perspectiva resultó ser la de Stuart Pugh, quien en su libro “*Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*”[22] dio un enfoque multidisciplinar a sus proyectos y planteó un método de diseño total con el cual es posible abordar de manera amplia un problema. En este, el proyecto (o diseño) se describe como una actividad sistémica necesaria y como “un núcleo central de actividades imprescindibles”[22]. Dichas actividades, que se caracterizan por tener un componente iterativo son: identificar las necesidades o requerimientos del mercado, definir las especificaciones del producto, realizar un diseño conceptual y detallado, fabricarlo, y, por último, comercializarlo. Pugh además plantea que el diseño total implica el aprovechamiento diferentes fuentes de conocimiento, con perspectivas particulares, técnicas y herramientas que aporten al desarrollo de productos innovadores. De igual manera hace énfasis en la importancia de una multidisciplinariedad que permita el flujo de información durante todas las fases del desarrollo de un producto y que conlleve a la solución de una necesidad y/o problema identificado. Siendo así, el diseño total compromete un trabajo conjunto que ofrece resultados más eficientes e innovadores que logren satisfacer al consumidor final.

A su vez, se consideró importante identificar aplicaciones de los métodos de diseño previamente mencionados. Se buscó comprender la manera en que dichos métodos se adaptaron para el desarrollo de nuevos productos y los resultados que se obtuvieron. Se investigó un caso de aplicación para un método clásico, y para un método moderno. Estos casos se presentan a continuación.

En el artículo “*Caso de aplicación de la metodología Diseño Para Seis Sigma en un componente automotriz*” [23] se aplica el diseño para seis sigma, y a través de cuatro etapas se busca optimizar el diseño del producto de acuerdo con los requerimientos del cliente, generando de esta manera un diseño robusto que cumpla con las especificaciones establecidas. El producto en cuestión es un *bracket* plástico, que conecta la consola de piso con el módulo de aire acondicionado en un vehículo. El problema planteado radica en que el *bracket* no cumple con las funciones que debería ya que la distribución del esfuerzo no está alineada y su diseño no es lo suficientemente robusto. Para lograr el diseño deseado, inicialmente se buscan las oportunidades de mejora existentes, identificando los elementos a mejorar, entre estos la firmeza, facilidad de ensamble, y alineación con otros componentes. El Diseño para Seis Sigma, en este caso, se centra en la recolección de información y en la utilización de técnicas que guían paso a paso el diseño; adicionalmente brinda soporte en la toma de decisiones que integran el proceso. En fases como identificar y definir se reúne información que posteriormente resulta en características fundamentales del *bracket*, no obstante, en las fases de desarrollar y optimizar se entiende la arquitectura del sistema y sus múltiples componentes. Más adelante, herramientas como el análisis de modo y efecto de falla son utilizadas para lograr una buena toma de decisiones. En la fase validar se obtiene al final un diseño que logra cumplir con las especificaciones requeridas para la pieza y un plan de verificación para esta misma. La aplicación apropiada del diseño para seis sigma, conlleva a una propuesta de diseño de un *bracket* en la que se reduce en un 46% el valor del esfuerzo actual; por consiguiente, se establece que el método permite cumplir con los requerimientos del cliente y de la compañía.

En contraste, en el artículo “*Designing automated test systems: An adapted methodology inspired on Pahl and Beitz’s systematic approach*”[24] se hace un acercamiento al diseño sistemático de Pahl y Beitz a través del diseño de un producto. Este caso se enfoca en adaptar el diseño sistemático al desarrollo de sistemas de pruebas automatizadas (ATS), los cuales son útiles para “mejorar la confiabilidad y la productividad de las actividades de prueba en las diferentes etapas del ciclo de desarrollo del producto y la fabricación”[24]. Teniendo en cuenta los tres subsistemas de los ATS, el físico, el electrónico y el software, se pretende incorporar el enfoque de Pahl y Beitz con el fin de llevar el diseño a un nivel más detallado y crear ciclos más cortos. Para los sistemas de prueba automatizados se parte de este método clásico ampliamente aceptado por la industria, y sus cuatro etapas principales y de acuerdo con el contexto y los requisitos particulares se realiza una adaptación acorde a la necesidad. Por consiguiente, se conservan las cuatro fases las cuales se designan como: “Definición de requisitos de prueba y cliente, especificación técnica del proyecto, síntesis conceptual, y análisis, simulación y dimensionamiento. Asimismo, se integran el detallado y documentación e integración. A partir de la adaptación se logró un ciclo de desarrollo más corto y una estructura definida, la cual fue gran utilidad para diseñadores de ATS.

### C. Exploración de ideas y selección de alternativa

Una vez realizado el análisis de los datos y la revisión de la literatura, se exploraron las diferentes alternativas que permitieran hacer frente a la oportunidad encontrada en el CAP y dar respuesta a los requerimientos de las partes interesadas previamente señalados en la *TABLA III*. A partir de una variedad de propuestas planteadas, se seleccionó la más viable, la que mejor se adaptará al sistema y que a su vez garantizará el aprovechamiento de los equipos en el CAP.

Para la generación de ideas, se hizo uso de la técnica *Brainwriting* o “escritura de ideas”, la cual se centra en originar propuestas diferentes y creativas que permitan llegar a soluciones innovadoras y poco habituales. De esta manera, acorde con la revisión de literatura y los métodos de diseño presentados en este apartado, se llevaron a cabo varias reuniones en las cuales participaron todos los integrantes del equipo de trabajo y que tenían el propósito de concretar los métodos de diseño con sus respectivas adaptaciones, que posteriormente se iban evaluar. En cada una de las reuniones se escogió al azar un método y basándose en los requerimientos de las partes interesadas, cada miembro del equipo de trabajo hizo varias, o en su defecto una adaptación del método al sistema estudiado. Haciendo uso de “Miro”, una plataforma colaborativa que facilita una pizarra cooperada y ofrece un soporte para videoconferencias, fue posible exponer, explicar, debatir y evaluar todas las ideas propuestas. Posteriormente se seleccionó entre todas las propuestas la que sobresaliera ante las otras. Este procedimiento se llevó a cabo varias veces, ya que por cada método considerado se debía seleccionar una propuesta; estas propuestas se pueden consultar en el anexo

20. Fue de esta manera y a través de una comunicación efectiva entre el equipo y el apoyo del coordinador del CAP que finalmente se seleccionaron las cuatro alternativas que más adelante serán evaluadas.

La primera alternativa consistió en una adaptación del diseño sistemático desarrollada por Pahl y Beitz, la cual “proporciona una forma eficaz de racionalizar el diseño y la producción, [...] a través de la estructuración del problema y las tareas”[25]. En esta adecuación, se conserva el proceso de diseño basado en la resolución de un problema general, un sistema de planeación y organización estructural, por ende, se mantienen las cuatro fases principales del método original. En la fase de “determinar la necesidad del usuario y las especificaciones técnicas del proyecto”, el estudiante, profesor y/o colaborador debe observar de manera amplia su necesidad y establecer la función general que tendrá el producto que se va a desarrollar en el CAP; además este debe establecer objetivos y obtener información adicional. La segunda fase que es “Determinar el concepto de diseño” se centra en establecer la idea del producto a desarrollar mediante un proceso creativo y en definir una estructura de trabajo que incluye necesidades de material, tecnología y procesos. Por otro lado, en la fase de “Hacer tangible el diseño” el usuario debe transformar el concepto de diseño previamente establecido en un producto que vaya acorde a las primeras especificaciones, realizando a su vez varios prototipos para finalmente escoger uno. La fase 4, “Integración de documentación y detalles” se basa principalmente en realizar ajustes finales de forma, dimensiones y propiedades específicas del producto.

En segundo lugar, se propuso como alternativa el método de Diseño para Seis Sigma (DFSS), adaptado estratégicamente al sistema del CAP. En este se establecen cuatro fases; Identificar, Caracterizar, Optimizar y Verificar (ICOV). En la primera fase, identificar requerimientos, en la etapa uno, el usuario del CAP debe desarrollar la idea del producto, teniendo claro el contexto y las herramientas tecnológicas; también debe establecer metas y objetivos. Luego este procede a hacer un estudio de requisitos, con el propósito de conocer más a fondo las características y funcionalidad que debería tener el producto. Posteriormente, en la fase dos, donde se caracteriza el diseño, el usuario debe traducir los requerimientos en especificaciones del producto a desarrollar. Adicionalmente se deben generar alternativas de diseño que logren satisfacer las especificaciones previamente establecidas y que cumplan con los requisitos mínimos de diseño. En la fase tres, optimizar, es necesario hacer uso de la información de la capacidad del proceso, la tolerancia y el rendimiento para lograr una mayor optimización. En la fase final, denominada verificar, se debe desarrollar una prueba piloto, en la cual se hace uso de prototipos para evaluar el desempeño del producto. De igual manera, se debe validar y controlar el proceso para asegurar que las características críticas vayan acorde con lo especificado en las primeras fases y a su vez para garantizar una producción controlada.

La tercera alternativa que se planteó fue la ingeniería inversa, la cual consta de una adaptación de los autores Otto y Wood [21]. Este método propone tres etapas principales; ingeniería inversa, desarrollar el rediseño e implementar el rediseño, las cuales se dividen en cuatro subetapas o pasos. En primera instancia, en la ingeniería inversa el usuario del CAP debe seleccionar un producto y analizar los posibles cambios a realizar, generando a su vez oportunidades de diseño. El segundo paso es el desarrollo de una visión, donde se realizan estimaciones sobre un modelo funcional del producto y se crean nociones de cómo este debería funcionar, después está el análisis de las necesidades del consumidor en el cual se determina y entiende cómo opera el producto para satisfacer ciertos requerimientos. Para finalizar se realiza un análisis de oportunidades de mercado en el que se analiza la arquitectura del producto y de otros similares en el mercado a través de un desmontaje. Para la segunda etapa, desarrollar el rediseño, el modelado funcional es el primer paso, este da lugar a cambios en el modelo funcional para tener un enfoque de rediseño más sólido, lo siguiente es el análisis competitivo en el que se hace una evaluación comparativa respecto a otros productos que tienen las mismas características. Luego sigue el desarrollo de la arquitectura del producto, se identifican en las entradas, salidas y transformaciones en el proceso y para terminar esta etapa se tiene la ingeniería conceptual, donde se escoge un solo concepto que será la guía para implementar en la elaboración del producto. Siendo la última etapa la implementación del concepto, el primer paso es la ingeniería tangible, donde se materializa el concepto y se seleccionan las partes del producto final, el segundo paso es el modelado físico o analítico en donde se hacen pruebas durante la implementación en la creación física del producto y el análisis del modelado numérico. Lo siguiente es el diseño para x, donde convergen todas las especificaciones que puede tener el producto, como por ejemplo la fabricación y el impacto en el medio ambiente. Por último, está el diseño robusto, donde se controla que se haya cumplido con los pasos necesarios para la elaboración del producto.

Finalmente, se propuso una modificación de la norma alemana VDI 2221 para el diseño y rediseño de productos, la cual establece siete etapas. Clarificar y definir la tarea, trata de definir qué necesidad se debe resolver y qué producto se va a diseñar, teniendo en cuenta los requerimientos, características y especificaciones técnicas. En la segunda etapa se determinan las

funciones y sus estructuras, que implica establecer las funciones principales, secundarias, y una estructura funcional que se adapte al producto. El tercer paso es buscar los principios de solución y sus combinaciones; aquí se realiza una matriz y se escogen las funciones principales del producto. Lo siguiente es organizar las diferentes estructuras propuestas en módulos para unir la información en grupos de las mismas características. Posteriormente, se realiza un esquema de los módulos principales, siendo este el diseño 3D y se propone el material. Completar el esquema definitivo, es la sexta etapa, donde se evalúan todos los modelos para un diseño definitivo y se seleccionan los equipos a implementar. Por último, está la preparación de producción e instrumentos de operación, que corresponde a hacer la obtención de los materiales a utilizar (materia prima), la reserva de las maquinas del CAP y pasar el diseño a la realidad.

Con el fin de evaluar las diferentes alternativas propuestas, se definieron criterios para facilitar la elección de una de estas. Dichos criterios se determinaron con base a los requerimientos de los grupos de interés, la factibilidad y elementos técnicos La *TABLA VI* presenta los criterios seleccionados y su definición para el presente proyecto.

*TABLA VI  
CRITERIOS DE DECISIÓN*

<b>Criterio</b>	<b>Definición</b>
Tiempo	Hace referencia al tiempo que le toma al usuario del CAP implementar el proceso y desarrollar el producto deseado a través de este.
Robustez	Hace referencia a la sostenibilidad y a la viabilidad que tiene el proceso propuesto a lo largo del tiempo.
Facilidad	Hace referencia a la facilidad con que los operarios y los usuarios del CAP pueden implementar de manera sencilla y confiable el proceso de diseño.
Calidad	Hace referencia a la calidad del producto que resulta tras implementar el proceso de diseño.
Adaptabilidad	Hace referencia a la universalidad del proceso y la manera en que este puede adaptarse a los productos que los usuarios del CAP deseen desarrollar.

Tras establecer los criterios y presentar las alternativas, se procedió a seleccionar una propuesta a través de un análisis jerárquico AHP [ver anexo 21], siendo esta una herramienta que permite la toma de decisiones multicriterio bajo análisis cualitativos y cuantitativos. Se asignó entonces un peso a cada uno de los criterios, y se utilizó una tabla estandarizada de preferencias[26], la cual se presenta en la *TABLA VII*.

*TABLA VII  
ESTANDARIZACIÓN DE LAS PREFERENCIAS [19]*

<b>Juicio verbal de preferencia</b>	<b>Valor numérico</b>
Preferencia igual	1
Preferencia igual o moderada	2
Preferencia moderada	3
Preferencia moderada a fuerte	4
Preferencia fuerte	5
Preferencia fuerte a muy fuerte	6
Preferencia muy fuerte	7
Preferencia muy fuerte a extrema	8
Preferencia extrema	9

Haciendo uso de información presentadas previamente en la *TABLA VII* y la opinión del coordinador del CAP se pudo hacer la respectiva evaluación, la cual se puede consultar en el anexo 21. El panorama de este análisis por jerarquía se puede observar a su vez en la Fig.22.

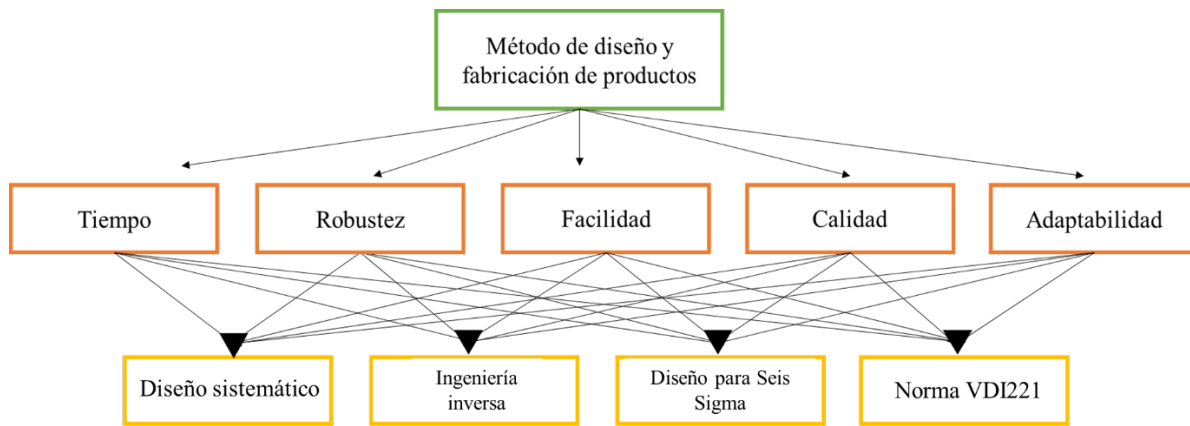


Fig. 22. Diagrama de selección de alternativas

En primera instancia, para la evaluación se procedió a ponderar los criterios previamente mencionados y se obtuvo la información presentada en la Fig. 23:

Numero de indicadores n	5
Promedio Vector consistencia $\lambda$	5,068
Indice de consistencia CI	0,017
Indice consistencia Aleatorio RI	1,188
Razon de consistencia CR	0,014
¿Es consistente?	VERDADERO

Fig. 23. Resumen de ponderación de criterios

Posteriormente, se evaluaron cada una de las alternativas para cada criterio establecido. De igual manera se resumió la información de cada criterio en una tabla individual similar a la mostrada en la fig.24. Estos datos se pueden consultar en detalle en el anexo 21.

Numero de indicadores n	4
Promedio Vector consistencia $\lambda$	4,024
Indice de consistencia CI	0,008
Indice consistencia Aleatorio RI	0,99
Razon de consistencia CR	0,008
¿Es consistente?	VERDADERO

Fig. 24. Resultados del criterio de tiempo

Para finalizar, a través de un análisis jerárquico total se determinó la mejor alternativa para el presente proyecto. En la Fig. 25 se muestra que el método de diseño más apropiado para implementar en el CAP es el Diseño para Seis Sigma (DFFS), pues cumple con los criterios previamente establecidos.

TABLA XLII																
Evaluación Final																
Alternativa	Tiempo			Robutez			Facilidad			Calidad			Adaptabilidad	Valor Alternativa	Total	Gran Total
	Valor Criterio	Valor Alternativa	Total	Valor Criterio	Valor Alternativa	Total	Valor Criterio	Valor Alternativa	Total	Valor Criterio	Valor Alternativa	Total				
Diseño sistemático	0.062	0.466	0.029	0.161	0.161	0.026	0.262	0.096	0.025	0.099	0.466	0.046	0.416	0.161	0.067	19,308%
<b>DFFS</b>	<b>0.062</b>	<b>0.161</b>	<b>0.010</b>	<b>0.161</b>	<b>0.466</b>	<b>0.075</b>	<b>0.262</b>	<b>0.466</b>	<b>0.122</b>	<b>0.099</b>	<b>0.161</b>	<b>0.016</b>	<b>0.416</b>	0.466	0.194	<b>33,824%</b>
inversa	0.062	0.096	0.006	0.161	0.277	0.045	0.262	0.277	0.073	0.099	0.096	0.009	0.416	0.096	0.040	14,217%
2221	0.062	0.277	0.017	0.161	0.096	0.015	0.262	0.161	0.042	0.099	0.277	0.027	0.416	1		100%

Fig. 25. Análisis jerárquico total

#### D. Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales resumen los propósitos fundamentales del presente proyecto y los resultados que se esperan obtener a partir del desarrollo de este.

**Objetivo general:** Proponer un proceso para el diseño y fabricación de productos genéricos en el CAP para incrementar el uso de la infraestructura mediante un método de diseño de producto.

#### Objetivos específicos:

1. Analizar métodos de diseño de producto para establecer el más apropiado a las necesidades del Centro de Automatización de Procesos-CAP.
2. Adaptar el método elegido de acuerdo con las necesidades y requerimientos del CAP.
3. Diseñar los procedimientos que permitan desarrollar y fabricar los productos diseñados.
4. Validar la propuesta del proceso a través de una prueba piloto.
5. Evaluar la relación beneficio-costos del proceso propuesto.

#### E. Plan de trabajo (PdT)

De acuerdo con los objetivos específicos presentados previamente, se establecen las actividades que permitirán el cumplimiento de cada uno de estos y que conllevarán a la ejecución del objetivo general. En la *TABLA VIII* se presentan las áreas de conocimiento de Ingeniería Industrial relacionadas con la actividad a ejecutar, las herramientas seleccionadas, los entregables y las fechas de entrega de estos. En el Anexo 22 se presenta el cronograma de trabajo en el cual se observan las metas a cumplir y las fechas establecidas para la realización del presente proyecto.

*TABLA VIII*  
*PLAN DE TRABAJO*

Objetivo	Actividad	Área de IISE	Herramientas de la ingeniería industrial	#	Entregable (alcance)	Fecha entrega
Analizar métodos de diseño de producto para establecer el más apropiado a las necesidades del Centro de Automatización de Procesos-CAP.	Recopilación de datos e información actual a través de encuesta.	1. Work design and measurement	Herramientas de análisis	K	Resultados de la encuesta	20/02/2021
	Consolidación de la información y los datos.				Análisis estadístico de la encuesta	25/02/2021
	Análisis de la información				Necesidad del usuario	05/03/2021
Adaptar el método elegido de acuerdo con las necesidades y requerimientos del CAP.	Realizar una lluvia de ideas para el diseño	12. Product Design & Development	Proceso de diseño	A	Resultados de la actividad de <i>brainwriting</i>	09/03/2021
	Consolidar las propuestas de diseño.		Conceptualización		Posibles ideas de diseño	18/03/2021
	Evaluar las propuestas de diseño.		Pasos del proceso de diseño.	B	Propuesta de diseño	20/03/2021
Diseñar los procedimientos que permitan desarrollar y fabricar los productos diseñados.	Establecer el procedimiento para solicitar los servicios del CAP.	7. Operations Engineering & Management	Planeación de operaciones.	A	Instructivo para solicitar los servicios del CAP	29/03/2021
	Identificar los equipos a usar.		Planificación y control de sistemas / proyectos de fabricación	C	Lista y orden de las máquinas a utilizar	01/04/2021
	Determinar el proceso para el uso de cada una de las máquinas.		programación de producción	D	Tutoriales en video para el uso de cada uno de los equipos del CAP	05/04/2021
Validar la propuesta del proceso a través	Realizar pruebas para probar la funcionalidad del producto.	4. Facilities Engineering and Energy Management	Manejo de materiales	D	Validación y aprobación del producto	15/04/2021

Objetivo	Actividad	Área de IISE	Herramientas de la ingeniería industrial	#	Entregable (alcance)	Fecha entrega
de una prueba piloto.		5. Quality & Reliability Engineering	Mantenimiento	N		
	Documentar el diseño y el proceso de fabricación.	11. Information Engineering	Conceptos de base de datos	F	Registro del producto en la base de datos del CAP.	28/04/2021
Evaluar la relación costo-beneficio del proceso propuesto.	Realizar un análisis costo/beneficio.	3 Engineering economic analysis	Estimaciones y toma de decisiones	M	Documento con análisis de datos.	15/05/2021
	Reportar resultados del proceso propuesto.	11. Information Engineering	Requisitos de información para organizaciones	C	Informe de resultados para el CAP.	28/05/2021

## VI. DISEÑAR

### A. Desarrollo del diseño de la solución

En esta etapa se implementó el plan de trabajo previamente establecido y se hizo uso del diseño para Seis Sigma (DFFS) como método de diseño para esquematizar el proceso que permitirá a los usuarios del CAP diseñar y fabricar productos genéricos en la entidad. Para ello, se ejecutó el ciclo *ICOV* compuesto por las fases identificar, caracterizar, optimizar y validar, las cuales se constituyen de actividades específicas cuyo cumplimiento está orientado a resultados concretos. La descripción de cada una de estas fases y sus etapas correspondientes se describe con exactitud en el anexo 23.

En primera instancia, la fase identificar se centró en definir las respectivas funciones y roles en el equipo de trabajo para establecer tareas particulares. Partiendo de las aptitudes y habilidades de cada uno de los miembros se dividieron las labores con el objeto de determinar de manera conjunta los requerimientos y necesidades del cliente. Por tal motivo, se construyó el acta de constitución del proyecto, tomando como referencia el Project Charter del presente documento y haciendo modificaciones con respecto a las limitaciones, posibles restricciones y el plan de trabajo; dicho formato puede consultarse en el anexo 24.

Continuando con desarrollo de esta fase, se identificaron los clientes, siendo estos los potenciales usuarios del proceso diseñado. Para esto, se seleccionaron los grupos de interés más relevantes del presente proyecto, mostrados en la *TABLA IX*, y a través de la encuesta de satisfacción previamente realizada [ver anexo 12 y 13] fue posible entender la Voz del Cliente (VoC) en términos de expectativas, deseos, opiniones y atributos. Dicha información en seguida se tradujo en requerimientos críticos para la satisfacción del cliente (CTS), en los cuales se reflejan las características específicas del proceso diseñado y las condiciones en las cuales se debe llevar a cabo. Partiendo de esto, se determinaron múltiples restricciones que limitan de manera objetiva el diseño y en este caso muestran factores para tener en cuenta como lo son el tiempo, el material, los recursos y otros elementos del entorno. Los resultados de esta primera etapa y sus pasos correspondientes se pueden observar con detalle en el anexo 24.

*TABLA IX*  
*POTENCIALES USUARIOS*

	Grupo de interés	Descripción
1	Estudiantes de la facultad de ingeniería y ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana	Estudiantes de los programas de ingeniería industrial, mecánica y electrónica que requieran hacer uso del CAP para desarrollar un producto.
2	Profesores y colaboradores	Profesores y colaboradores de la facultad de ingeniería y ciencias y facultades afines de la Pontificia Universidad Javeriana.
3	Empresas	Empresas cuya infraestructura carece de equipos de tecnología de punta y requieren de los servicios ofrecidos por el CAP para el desarrollo de productos
4	Otras facultades de ingeniería y ciencias	Facultades de ingeniería y ciencias de otras instituciones educativas que requieran de los servicios del CAP para el desarrollo de productos. De igual manera para la elaboración de material didáctico.

En la segunda fase del ciclo *ICOV*, siendo esta la caracterización del diseño, se llevaron a cabo tres pasos que condujeron a la propuesta del diseño. Así pues, en primer lugar, fue necesario traducir aquellos requerimientos de los clientes ya previamente identificados en parámetros y en requisitos funcionales del proceso. Para completar dicha traducción se hizo uso del despliegue de la función de calidad (QFD) en el cual fue posible transformar los ya mencionados CTS en requerimientos funcionales [ver

anexo 25 en la pestaña “QFD”]. Sin embargo, para aprovechar dicha herramienta y tener una mayor precisión con relación a lo exigido por el cliente, se realizó un sondeo con estudiantes y docentes de la facultad de ingeniería y ciencias [ver anexo 25 en la pestaña “Encuesta”] con el propósito de determinar su perspectiva con respecto a los aspectos principales de un proceso. De acuerdo con los resultados, se pudo establecer que las características y/o requisitos que los usuarios exigían para este eran la adaptabilidad, flexibilidad, tiempo, robustez, uso de recursos y facilidad de comprensión. En la Fig.26. se pueden apreciar los datos de la encuesta y en la TABLA X la interpretación de los respectivos requerimientos.

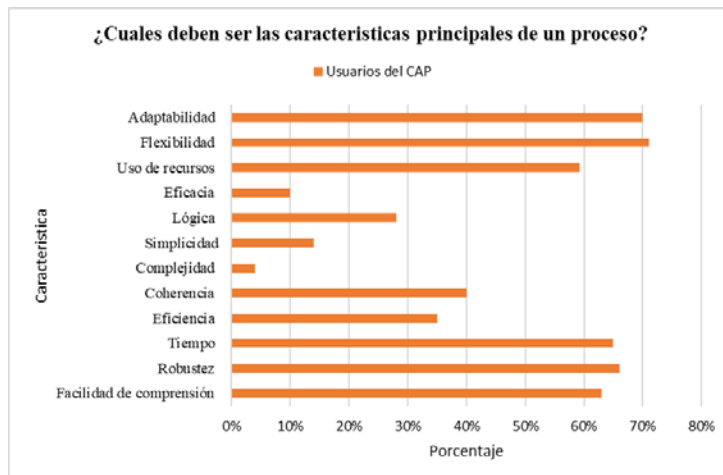


Fig. 26. Características de un proceso

TABLA X  
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Requerimiento	Definición
Adaptabilidad	Hace referencia a que el proceso se pueda adaptar a cualquier tipo de producto que se desee desarrollar.
Flexibilidad	Hace referencia a un proceso que abarca múltiples variantes.
Uso de recursos	Hace referencia a que todos los recursos del CAP sean tenidos en cuenta.
Tiempo	Hace referencia a que el proceso sea simple y no demande mucho tiempo para su comprensión.
Robustez	Hace referencia a la sostenibilidad y a la viabilidad que tiene el método propuesto a lo largo del tiempo.
Facilidad de comprensión	Hace referencia a la facilidad de comprensión y entendimiento del proceso.

Una vez definidos los requerimientos funcionales se ejecutó el segundo paso de esta fase, en el cual se desarrollaron múltiples alternativas de diseño que cumplieran con los requisitos mencionados anteriormente. Así pues, se estableció que el diseño del proceso se realizaría a través de un diagrama de flujo que representara de manera gráfica la secuencia de actividades para diseñar y fabricar productos en el CAP. Para la construcción del proceso se tuvieron en cuenta los dos tipos de actores involucrados como los son los usuarios y el personal del CAP, cuya jerarquía se presenta en la Fig.27. y sus respectivas definiciones en el anexo 26. Cabe mencionar, que, en la definición de actores, se propuso el cargo de auxiliar técnico, con el fin de lograr un proceso más eficiente y una mejora en el sistema. Por consiguiente, para justificar esta propuesta se elaboró un Manual de Funciones y Organización (MOF) [ver anexo 27], donde se describen las funciones básicas y específicas, relaciones y requisitos del cargo. Por otra parte, para complementar la justificación se elaboró un formato de capacitación con base a la información requerida por el Centro de Educación Continua [ver anexo 28], donde se describe la formación que el auxiliar debe recibir para ejercer el puesto. Este formato a su vez es una guía para la instrucción en manejo de equipos que se le ofrece a los usuarios del CAP al fabricar un producto en el CAP.

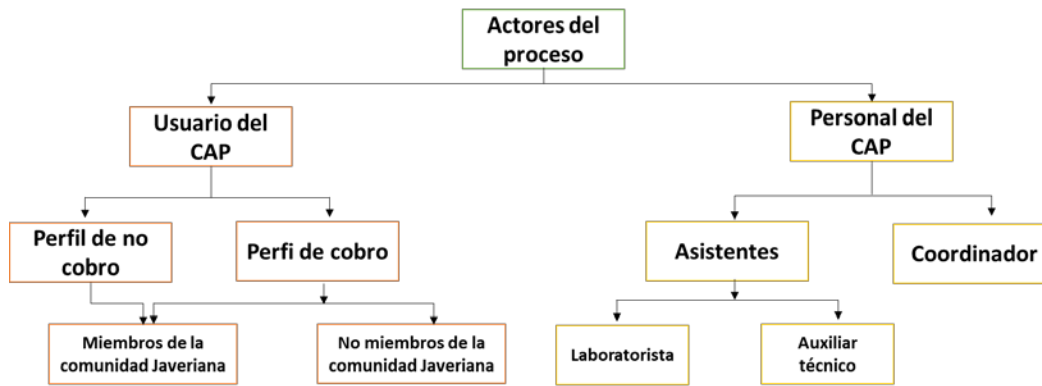


Fig. 27. Actores del proceso

A partir de la definición de roles, la información previamente suministrada por el CAP y los requisitos funcionales ya definidos, se hizo una descripción clara de las actividades, formatos importantes y decisiones clave que debían tenerse en cuenta en el diseño del proceso. Por otro lado, se elaboraron reseñas de subprocesos a través de las operaciones de cada rol, que posteriormente conformaron un macroproceso [ver anexo 26, paso 2 “Generación de alternativas”]. De esta manera, surgieron cuatro diagramas de flujo, presentados en el anexo 26, que se consideraron como las cuatro opciones de diseño a evaluar; dichos diagramas se construyeron bajo la misma estructura y simbología, de acuerdo con lo establecido por la Norma ISO 9000[27] para la elaboración de flujogramas, como se muestra en la Fig.28.

Símbolo	Descripción
	<b>Operaciones.</b> Fases del proceso, método o procedimiento.
	<b>Demora.</b> Indica retraso en el desarrollo del proceso, método o procedimiento.
	<b>Inspección.</b> Representa el hecho de verificar la naturaleza, calidad y cantidad de insumos y productos.
	<b>Actividad combinada. Operación e inspección.</b> Indica la verificación o supervisión durante las fases del proceso, método o procedimiento de sus componentes.
	<b>Decisión.</b> Representa el hecho de efectuar una selección o decidir una alternativa específica de acción.
	<b>Almacenamiento.</b> Deposito y/o resguardo de información o productos.

Fig. 28. Simbología de la norma ISO 9000 para elaboración de diagramas de flujo. Modificado de [27]

Para culminar la fase dos, se completó el último paso, el cual hacía referencia a la selección de la alternativa que mejor se ajustara a los requerimientos previamente establecidos. En esta etapa se hizo uso de la Matriz de Pugh[20] como la herramienta cuantitativa para comparar las opciones de diseño previamente planteadas en el paso dos; esta matriz y sus respectivos cálculos se pueden consultar en el anexo 29. Los requisitos funcionales mostrados en la TABLA X se tomaron como criterios de evaluación, y su prioridad estuvo asociada a los resultados del QFD. De esta manera, se realizó una comparación con el diseño del proceso actual, el cual fue presentado anteriormente en la Fig.13, se ponderaron las calificaciones, y finalmente se selección la alternativa 1 [ver anexo 26], como se muestra en la Fig.29.

		Peso	Conceptos (Alternativas de diseño)				
			Referencia	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Criterios	Flexibilidad	43,1%		1	0	-1	0
	Recursos	5,6%		1	1	0	1
	Adaptabilidad	26,5%		1	1	1	1
	Facilidad	3,8%		1	1	1	0
	Robustez	12,2%		0	-1	0	-1
	Tiempo	8,7%		1	1	1	1
		<b>Suma</b>		5	3	2	2
		Peso	Conceptos (Alternativas de diseño)				
			Referencia	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Criterios	Flexibilidad	43,1%		0,431	0,000	-0,431	0,000
	Recursos	5,6%		0,056	0,056	0,000	0,056
	Adaptabilidad	26,5%		0,265	0,265	0,265	0,265
	Facilidad	3,8%		0,038	0,038	0,038	0,000
	Robustez	12,2%		0,000	-0,122	0,000	-0,122
	Tiempo	8,7%		0,087	0,087	0,087	0,087
		<b>Suma ponderada</b>		0,878	0,324	-0,041	0,286
				0,878	0,324	0,286	-0,041
		<b>Ranking de alternativas de diseño</b>		1	2	3	4
				Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 4	Alternativa 3
La alternativa a escoger es la Alternativa 1							

Fig. 29. Matriz de selección de Pugh

Es claro que múltiples debilidades y puntos de mejora resultaron del diseño seleccionado, es por esto por lo que la tercera fase del ciclo ICOV se centró en mejorar dicho diseño. Se realizó un análisis del proceso propuesto en conjunto con su representación gráfica, y se determinó que la herramienta más viable para perfeccionarlo era la técnica a prueba de errores, también conocida como Poka Yoke. En este caso, se identificaron las actividades y elementos del proceso que conllevaban a la ocurrencia de errores, que fuesen una fuente de variación y que pudiesen afectar el normal desempeño del CAP. De esta manera, se hizo un reconocimiento de aquellos errores y fallas evidentes en el flujograma seleccionado, a partir de las cuales se establecieron propuestas de mejora [Ver anexo 30]. Como resultado, se estableció un diagrama funcional en el cual se especificaron las operaciones que hacía cada actor del proceso. Por otro lado, se aumentaron actividades y se enfatizó en el uso de la inspección con el propósito de evitar errores comunes; siempre velando por una estructura y una lógica.

Se decidió que el Poka Yoke cumpliría la función de prevenir los posibles errores en el proceso, a través del control y seguimiento; por ende, se utilizó uno de tipo secuencial que preservara un orden en particular [28]. Se optó por diseñar formatos y formularios asociados a varias operaciones para evitar la omisión de pasos esenciales y llevar un registro de la secuencia lógica de proceso; similar a una lista de chequeo. Por consiguiente, para diferenciar las operaciones y demoras que incluían documentos, se incorporó en el diagrama el uso de colores y códigos, como lo muestra la Fig.30.



Símbolo	Descripción
	<b>Operaciones con formato.</b> Fases del proceso, método o procedimiento cuyo cumplimiento requiere de un formato en particular identificado con un código (XXX)
	<b>Demora con formato.</b> Indica retraso en el desarrollo del proceso, método o procedimiento en el cual se debe consultar un formato identificado con un código (XXX)

Fig. 30. Operaciones y demoras con formato

Una vez completados los cambios y mejoras, se estructuró un documento en el cual se presenta el diseño final del proceso con su respectiva representación gráfica y los formatos correspondientes a cada una de las operaciones, todos identificados con

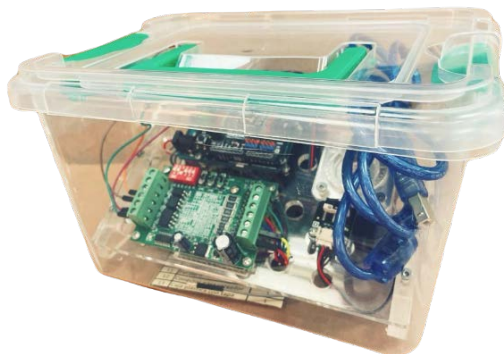
un código. Cabe aclarar que algunos formatos fueron suministrados por el CAP y otros diseñados por el equipo de trabajo. Dicho documento puede consultarse en el anexo 31.

#### *B. Validación del diseño propuesto*

En esta etapa del proyecto se validó el diseño propuesto y de esta manera finalizó la cuarta etapa del ciclo ICOV compuesta por dos pasos. Para garantizar que el diseño cumpliera con los requerimientos definidos previamente, se hizo uso de herramientas de ingeniería como una prueba piloto, sondeos de opinión de expertos y encuestas a la población objetivo. Por otro lado, se hizo una comparación de los KPI establecidos con los datos resultantes de la evaluación y la información recolectada.

En primera instancia, para validar la propuesta del proceso presentado anteriormente [ver anexo 31] y comprobar su desempeño en condiciones reales en el CAP, se llevó a cabo una prueba piloto. Por consiguiente, se realizó la búsqueda de un producto que resolviera una necesidad actual en la comunidad Javeriana y que resultara útil para ejecutar las actividades del proceso; esto con el fin de dar un diagnóstico de su funcionamiento y detectar posibles fallas. Se hizo una consulta con el CAP, en la cual se propusieron múltiples productos, cuyo diseño y fabricación se pudiesen completar a través del proceso diseñado, y así corroborar su funcionamiento.

Una vez se hizo la evaluación, se seleccionó una estación de control de temperatura como producto a desarrollar. El concepto surgió a partir de la propuesta de elaborar material didáctico para los estudiantes de la asignatura Sistemas Realimentados (300IGE015), en el programa de ingeniería electrónica. Siendo así, se quiso desarrollar un kit de estudio como el que se muestra en la Fig.31. para que los estudiantes pudieran realizar las prácticas de laboratorio fuera del aula de clase. El equipo permitía simular una práctica de control PID, y en este caso, mostrar en detalle cómo un sistema puede regular la temperatura con un rango mínimo de error.



*Fig. 31. Kit de estudio, Sistemas Realimentados*

El producto desarrollado constaba de una estructura en acrílico, un sujetador y la configuración electrónica, los cuales son evidentes en la Fig.32. No obstante, en el presente proyecto se desarrollaron las piezas que podían construirse haciendo uso de los equipos del CAP, teniendo en cuenta que algunas podían adquirirse en el mercado. Por ende, se fabricó en su totalidad la estructura en acrílico de la estación y el sujetador, utilizando la cortadora laser y el torno respectivamente. Para esto, se definió el equipo de trabajo como un usuario con perfil de cobre (consultar Fig.27.) y de acuerdo con esto, cada actor ejecutó las actividades correspondientes del proceso.

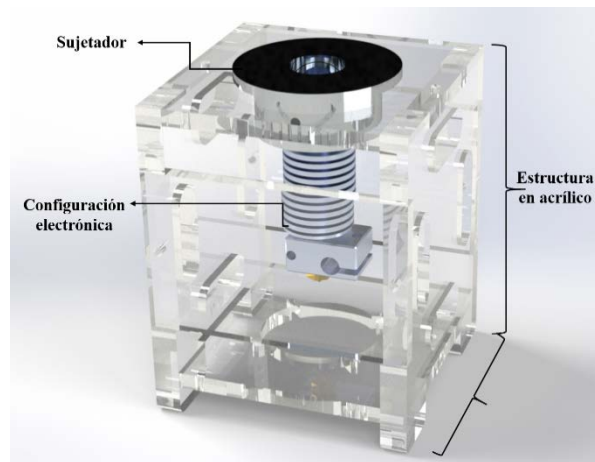


Fig. 32. Estación de control de temperatura

En la fase diseñar, se trabajó en conjunto con el CAP, ya que este suministró el diseño de las piezas y los respectivos planos [ver anexo 32]. Sin embargo, para la fabricación del producto, se realizaron cada una de las operaciones correspondientes al proceso diseñado, y de esta manera se llevó un registro de los formatos, solicitudes y acuerdos, que se pueden observar con detalle en el anexo 32. Por otro lado, siguiendo lo establecido por el ciclo *ICOV* del Diseño para Seis Sigma, se hizo uso de los registros y la construcción del producto para detectar los posibles errores e incoherencias en el diseño del proceso, y hacer las respectivas modificaciones.

En la prueba piloto se evaluó que el diseño cumplía con los requerimientos funcionales establecidos en la *TABLA X*; en seguida se hizo una revisión del proceso con el CAP con el fin de compartir los resultados y recibir retroalimentación. Posteriormente, se estableció una comparación entre la información recolectada en la etapa medir del presente proyecto y los resultados que se esperaban obtener a mediano y largo plazo, tras la implementación del proceso. De este modo, se determinó el cumplimiento de los indicadores de desempeño (KPI's), registrados en la *TABLA V*.

En primer lugar, para conocer el crecimiento del número de proyectos en el CAP al semestre, se aplicó una encuesta a los docentes de las asignaturas de los programas de ingeniería mecánica, industrial, electrónica, y se incluyó ingeniería biomédica, teniendo en cuenta su apertura en la universidad durante el 2020. En este cuestionario, se presentó un portafolio de los servicios del CAP, el proceso a seguir para diseñar y fabricar productos, y se evaluó el interés de los docentes de incluir en las asignaturas actividades para llevar a cabo en la entidad. Dichas actividades incluían prácticas de laboratorio, visitas o talleres en las cuales era posible desarrollar proyectos de tipo académico. Para aplicar la encuesta, se estableció un mínimo de entrevistados, haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2) mostradas en secciones anteriores.

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció el interés de los docentes en usar el CAP y sus respectivos equipos. Dando a conocer sus servicios y la manera de acceder a este, se estimó que el número de proyectos en el CAP por semestre crecería gradualmente. En la Fig.33. se puede observar la comparación de los proyectos realizados en el segundo periodo de 2019 y la proyección que se hace para el segundo periodo de 2021, la cual involucra los cuatro programas ya mencionados. Los resultados de esta encuesta se pueden consultar en el anexo 33 en la pestaña "Proyectos al semestre".

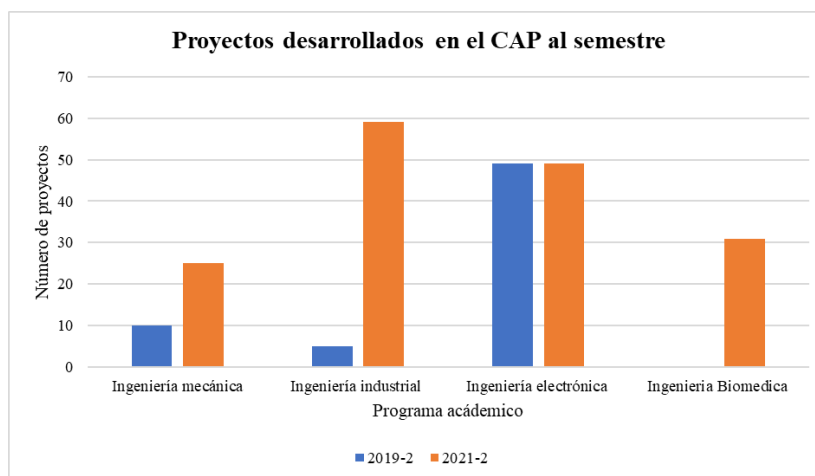


Fig. 33. Comparación número de proyectos el CAP al semestre

De igual manera, para conocer el impacto en la utilización de los equipos del CAP, se tomó la información resultante de la encuesta previamente realizada referente a los cursos y los datos que se extrajeron de dos cuestionarios similares. Estos cuestionarios, se aplicaron a los usuarios internos del CAP, como los estudiantes de la facultad de ingeniería y ciencias, y a los usuarios externos, que involucraban otras instituciones educativas y empresas [ver anexo 33 en las pestañas “internos, externos e investigación empresas”]. Lo anterior se hizo con el fin de medir las intenciones de uso para cada uno de los equipos y hacer un diagnóstico considerando los diferentes tipos de clientes, y los proyectos a desarrollar utilizando las máquinas.

Para estimar de manera precisa la utilización, se hizo una consulta con el CAP, en la cual se clasificaron los trabajos de acuerdo con su grado de dificultad conforme a una variable y su tiempo de ejecución. A partir de esto, se construyó una matriz de información que posteriormente se usó para determinar el uso que se les daría a los equipos, teniendo en cuenta los resultados de las encuestas realizadas. A continuación, en la Fig. 34. se presenta dicha matriz.

Equipo	Variable	Clasificación	Tiempo			
Termoformadora	Calibre de material	Delgado	30	Seg		
		Estandar	45			
		Grueso	1			
Cortadora laser	Corte	Numero de lineas	Pocas	Min		
		Estandar	5			
		Muchas	10			
	Grabado	Complejidad	Baja		5	
		Media	10			
Torno	Complejidad	Alta	2	Hr		
		Baja	40	Min		
		Media	2			
Impresora 3D	Tamaño	Alta	8	Hr		
		Pequeño	30	Min		
		Mediano	4			
Centro de mecanizado	Tamaño/ forma	Curvo	Grande	24	Hr	
			Mediano	4		
			Pequeño	1.5		
		Recto	Grande	12	1	Hr
			Mediano	4	10	Min
			Pequeño	1.5	1	

Fig. 34. Matriz de tiempo

Partiendo de los datos calculados y la información recolectada, se hizo una síntesis y se elaboró una gráfica, presentada en la Fig.35, donde se compara la utilización de los equipos del CAP en dos periodos diferentes. Se observa que hubo un crecimiento en el uso de cada uno de los equipos. Por ejemplo, la utilización del Centro de mecanizado CNC pasó de ser 16% a 46,4% y la impresora 3D tuvo un incremento del 16,8% al 59%. De igual forma, aumentó el uso del robot, ya que de un 13,6% su utilización pasó a ser 16,2%. Asimismo, se logró un porcentaje del 27,6% en el torno y en la cortadora laser la utilización creció 6% hasta alcanzar el 29,1%. Por último, la termo formadora se puso en marcha, alcanzado una utilización del 28,7%. Estos cálculos se presentan en el anexo 33 en la pestaña “Total”.

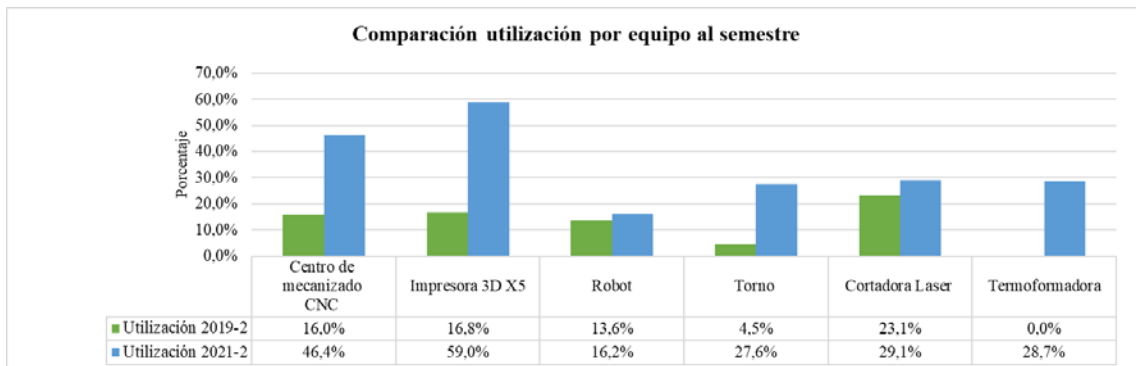


Fig. 35. Utilización de equipos 2019-2 vs 2021-2

Por otro lado, para medir el grado de satisfacción de los usuarios del CAP, se hizo un grupo de enfoque con una muestra de clientes potenciales, donde se incluyeron docentes de la facultad de ingeniería y ciencias, estudiantes de ingeniería electrónica, industrial y mecánica y colaboradores de empresas [ver anexo 34]. En este grupo, llevado a cabo de manera remota, se dirigió una conversación con respecto al proceso diseñado con el objetivo de obtener información y opiniones con respecto a este. Se midió el nivel de satisfacción de cada uno de los participantes y se determinó que el 85% de estos estaban a gusto con el proceso, como lo muestra la Fig.36.

De igual manera, el tiempo de entrega se tomó como una variable cuya mejora se alcanzaría progresivamente. Se estableció que el tiempo a reducir serían las tres semanas que involucraban el procesamiento de la orden, considerando que los tres días restantes dependían directamente de los proveedores. En la prueba piloto, el diseño propuesto estableció un orden en los procedimientos a realizar y permitió el fácil acceso a los diferentes formatos y documentos. Por consiguiente, después de la prueba se concluyó que estructurar el proceso de tal manera, redujo en un día el procesamiento de las ordenes, resultando en un tiempo de entrega total de 3 semanas y 2 días.

Finalmente, en la Tabla XI se realizó una comparación entre los KPI establecidos. Para cada variable se presenta el estado antes y del diseño propuesto. Asimismo, se muestra la meta que se estableció al inicio del proyecto con el fin de evaluar si se cumplió con los parámetros establecidos.

TABLA XI  
RESUMEN DE RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Variable	Actualidad	Meta	Después*	Cumplimiento
Número de proyectos de la facultad en el CAP por semestre.	64	>64	164	100%
Utilización de los equipos en el CAP al semestre	Impresora 3D	16,84%	Impresora 3D	59%
	Cortadora láser	23,08%	Cortadora láser	29,1%
	Termo formadora	0%	Termo formadora	28,7%
	Centro de mecanizado CNC	16%	Centro de mecanizado CNC	46,4%
	Torno	4,55%	Torno	29,1%
	Robot	13,64%	Robot	16,2%
Tiempo de entrega	3 semanas y 3 días	< 3 semanas y 3 días	3 semanas y 2 días	El lead time mejoró en un 33%
Satisfacción de los usuarios del CAP	70%	80%	85%	100%

\* Los valores de los KPI después del proyecto son una proyección, y varían de acuerdo la población estudiada y sus condiciones. Por ejemplo: El número de proyectos en un curso cambia conforme a la cantidad de estudiantes matriculados.

## VII. VERIFICAR

### A. Medición de los impactos

De acuerdo con los resultados obtenidos se hizo un análisis del impacto del diseño presentado previamente y se evaluaron los efectos desde una perspectiva económica y social. Dentro del contexto del proyecto se estableció de manera detallada su influencia en la comunidad Javeriana, en la población a nivel local y en el CAP como entidad.

#### Impacto financiero:

Una vez realizada la comparación de los indicadores de desempeño, se hizo un análisis financiero con el fin de evaluar el impacto económico que tendría la propuesta de diseño seleccionada y validarla a través de una relación beneficio/costo. Con el propósito de determinar los beneficios que resultarían del proyecto, se tuvo en cuenta el precio/hora de cada equipo y el total de horas asignadas a los usuarios con perfil de cobro. Cabe aclarar que estos usuarios abarcaban personas naturales o jurídicas cuyo uso del CAP estaba fuera de la institucionalidad [ver anexo 26]. Por otro lado, las horas correspondientes a estos fueron calculadas a partir de la información consolidada en el anexo 33, donde se estableció la utilización de acuerdo con el perfil.

Teniendo en cuenta lo anterior, se planteó un horizonte de cinco años y se cuantificó el ingreso que se obtendría por máquina. Asimismo, se calcularon los costos del uso de los equipos, que abarcaban el consumo de energía total expresado en kWh/año y la cantidad de materia prima usada anualmente; estos valores se extrajeron del presupuesto del CAP, el cual se puede consultar detalladamente en el anexo 35, en la pestaña “presupuesto”. Por otra parte, se consideraron los gastos de operación de la entidad, que involucraban un cuarenta por ciento de los salarios de planta junto con las prestaciones sociales, las reparaciones y el salario adicional destinado al auxiliar técnico cuya contratación se mencionó anteriormente. Además, se asumió una inflación del 3% [29] y un crecimiento anual del 5%, pues se espera un incremento gradual en la cantidad de usuarios en el CAP. Partiendo de esta información fue posible calcular el flujo de cada uno de los periodos a partir de la ecuación (3), como se puede observar en la Fig.36.

$$\text{Flujo del periodo} = \text{Ingresos} - (\text{Costos} + \text{Gastos}) \quad (3)$$

Análisis Beneficio-costo						
	Periodos anuales					
	0	1	2	3	4	5
Inflación		3%	3%	3%	3%	3%
Crecimiento anual			5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
<b>Ingresos</b>						
Torno	18.450.043	19.965.701	21.543.942	23.324.990	25.193.511	
Cortadora Laser	7.636.104	8.250.300	8.879.733	9.539.507	10.332.171	
CNC	35.841.655	38.699.951	41.798.635	45.048.409	48.749.222	
Impresora 3D	11.595.000	12.545.400	13.558.302	14.669.860	15.869.674	
Robot	7.600.000	8.240.000	8.911.560	9.615.998	10.354.681	
Termoformadora	30.364.265	32.659.948	35.560.436	38.606.130	41.803.178	
<b>Total Ingresos</b>	<b>111.487.067</b>	<b>120.361.300</b>	<b>130.252.608</b>	<b>140.804.894</b>	<b>152.302.436</b>	
<b>Costos</b>						
Energía	2.133.163	2.305.470	2.492.486	2.695.044	2.913.853	
Materia Prima	44.686.739	48.331.370	52.265.645	56.526.514	61.121.503	
<b>Total Costos</b>	<b>46.819.901</b>	<b>50.636.840</b>	<b>54.758.131</b>	<b>59.221.558</b>	<b>64.035.356</b>	
<b>Gastos</b>						
Salarios Actuales	42.800.000	42.800.000	44.084.000	45.406.520	46.768.716	
Salario Adicional Externo	18.240.220	18.240.220	18.787.427	19.351.050	19.931.581	
Reparaciones	15.000.000	15.000.000	15.450.000	15.913.500	16.390.905	
<b>Total Gastos</b>	<b>76.040.220</b>	<b>78.321.427</b>	<b>80.671.070</b>	<b>83.091.202</b>	<b>85.583.938</b>	
<b>Flujo del Periodo</b>	<b>- 11.373.054</b>	<b>- 8.596.966</b>	<b>- 5.176.592</b>	<b>- 1.507.866</b>	<b>2.683.142</b>	

Fig. 36. Resumen de ingresos, costos y gastos de la propuesta de diseño

A partir de lo datos presentados, se construyó la razón beneficio/costo con el fin de agregar mayor objetividad al análisis financiero. Se tuvieron en cuenta los costos, los beneficios y los contra beneficios, los cuales son definidos a continuación:

**Costos:** estimación de gastos para la entidad para la construcción, operación y mantenimiento del proyecto, menos cualquier valor de salvamento[30].

**Beneficios:** Ventajas que experimentará la entidad o el público [30].

**Contra beneficios:** Desventajas para la entidad cuando se lleva a cabo el proyecto. Los contra beneficios pueden consistir en desventajas económicas indirectas del proyecto[30].

De acuerdo con las definiciones, se hizo uso de la razón B/C convencional y las más utilizada, cuya expresión se presenta en la ecuación (4). En este caso, los beneficios del numerador son equivalentes a los ingresos presentados anteriormente en la Fig.36, no obstante, los contrabeneficios implican las desventajas económicas relacionadas directamente al uso de los equipos para fines no académicos. Por consiguiente, los costos del denominador están asociados a la utilización por parte de los usuarios con perfil de no cobro y a los gastos operacionales del CAP. Tras realizar los cálculos correspondientes, se obtuvo la razón B/C como se puede apreciar en la Fig.37 [ver anexo 35 en la pestaña “análisis”].

$$B/C = \frac{\text{Beneficios} - \text{contrabeneficios}}{\text{costos}} \quad (4)$$

Análisis Beneficio/Costo					
<b>Beneficios</b>	<b>111.487.067</b>	<b>120.361.300</b>	<b>130.252.608</b>	<b>140.804.894</b>	<b>152.302.436</b>
Energía/año	651.467	204.842	220.776	237.628	256.432
Horas/año	1.298,59	1.363,46	1.430,49	1.501,51	1.576,54
Materia Prima	14.479.072	15.658.462	16.921.024	18.293.995	19.784.329
Salario Adicional	18.240.220	18.787.427	19.351.050	19.931.581	20.529.529
<b>Contrabeneficios</b>	<b>33.372.058</b>	<b>34.652.095</b>	<b>36.494.280</b>	<b>38.464.706</b>	<b>40.571.866</b>
Energía/año	1.481.696	1.601.654	1.731.813	1.873.341	2.025.119
Horas/año	2.709,25	2.845,00	2.988,00	3.138,00	3.294,00
Materia Prima	30.207.667	32.672.908	35.344.621	38.232.518	41.337.174
Salarios Actuales	42.800.000	44.084.000	45.406.520	46.768.716	48.171.777
Reparaciones	15.000.000	15.450.000	15.913.500	16.390.905	16.882.632
<b>Costos</b>	<b>89.492.072</b>	<b>93.811.407</b>	<b>98.399.443</b>	<b>103.268.618</b>	<b>108.419.996</b>
<b>Relación Beneficio Costo</b>	<b>0,87</b>	<b>0,91</b>	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	<b>1,03</b>

Fig. 37. Análisis Beneficio/Costo

Vale la pena mencionar que un proyecto es económicamente aceptable cuando su razón beneficio/costo es igual o superior a uno ( $B/C \geq 1$ )[30]; no obstante, en el presente proyecto, los beneficios netos exceden a los costos asociados solo en el quinto año. Por consiguiente, tras una investigación se determinó que el CAP es una dependencia de la Pontificia Universidad, cuyo fin es ofrecer servicios a la comunidad para la realización de actividades de tipo académicas, razón por la cual es una entidad no lucrativa. Lo anterior significa que no hay una consecución de una ganancia económica y, por ende, se dedica netamente a apoyar y promover el uso de recursos tecnológicos en la institución.

A pesar de que la relación Beneficio/costo resultó ser no viable en los cuatro primeros años, se proyecta que a través del presente proyecto surjan beneficios económicos a corto plazo, que en la actualidad no se generan debido a que no se han llevado a cabo propuestas de este estilo. Es evidente que después del proyecto hay una ventaja, ya que la razón B/C que anteriormente era nula, ahora tiene un valor debido a los nuevos ingresos. Conforme a esto, el CAP puede utilizar dicho rendimiento para mantener un entorno tecnológico actualizado, mejorar la calidad de los servicios prestados e incluso cubrir los gastos del auxiliar técnico sugerido anteriormente.

#### Impacto social:

Además de los beneficios cuantitativos presentados en el apartado anterior, el presente proyecto tiene un impacto social que a su vez se considera como un beneficio cualitativo. En primera instancia, se brinda un apoyo al CAP para que este como entidad contribuya al cumplimiento de la misión de la Universidad Javeriana. A través de la utilización de los equipos y el desarrollo de proyectos multidisciplinarios se promueve la creación, el aprendizaje y una cultura de innovación y emprendimiento.

Por otro lado, esta propuesta impulsa un ambiente educativo y de aprendizaje en el cual la comunidad puede acceder a servicios tecnológicos para materializar ideas en el área de la automatización de procesos.

También hay un impacto en la percepción que tiene la comunidad Javeriana del CAP y de sus servicios. Mediante el proceso para el diseño y fabricación de productos, los usuarios tienen un mayor acceso a los equipos, a los formatos, formularios e información relevante para el uso de las máquinas; lo que incrementa directamente el nivel de servicio de la entidad y la satisfacción. Por otro lado, con la actual propuesta se genera un mayor acompañamiento a los usuarios y un apoyo constante en la creación y ejecución de proyectos, que anteriormente no se brindaba. Además, hay una mayor organización con respecto a los diferentes procedimientos que afectan los plazos de entrega.

Del mismo modo, el proyecto está orientado a mejorar continuamente la calidad de los servicios y a apoyar al CAP en la “formación de profesionales a través del liderazgo tecnológico”[9]. Así, este brinda la oportunidad no solo a estudiantes, sino a colaboradores y grupos de investigación a hacer uso de las instalaciones del CAP para su producción científica e intelectual. Igualmente, incentiva a los programas académicos a incorporar prácticas de laboratorio para reforzar el componente práctico en las asignaturas y aportar a la generación de conocimiento.

La propuesta también permite que los servicios y productos del CAP sean visibles a nivel institucional, regional y nacional. Por esta razón, incluir usuarios con perfil de cobro favorece a la entidad, ya que expande su reconocimiento y prestigio, y permite que esta se convierta gradualmente en un referente para la comunidad tanto académica como empresarial. Por otro lado, a través del uso de la tecnología se pueden surgir proyectos con un alto impacto en la comunidad.

Finalmente, la estructura y organización que otorga el diseño propuesto aliviana la carga laboral que el personal del CAP ha presentado recientemente. La apertura de los programas de ingeniería mecánica y biomédica ha incrementado notablemente la carga de trabajo, puesto que los laboratorios de dichos programas aún están en construcción; por ende, el proceso diseñado reduce el urgentísimo para los usuarios y consecuentemente el estrés laboral para el personal del CAP. Del mismo modo, la contratación de un auxiliar permite que la carga de trabajo se divida y que se brinde un mayor apoyo y soporte a los proyectos.

#### **Impacto ambiental:**

El principal objetivo de la actual propuesta es aumentar la utilización de las instalaciones del CAP e incrementar el número de proyectos desarrollados en la entidad. De acuerdo con los resultados de la *TABLA XI*, se proyectó que, para el segundo semestre del 2021, el uso de los equipos aumentará, lo que influirá en la adquisición de materia prima y por ende en la generación de residuos. Pese a que anteriormente el aporte del CAP en cuanto a residuos era mínimo, es importante que después de implementar el diseño propuesto se reevalúe el sistema de recolección y tratamiento de estos, y se incorpore al CAP en el *Plan de Gestión Integral de Residuos (PGIR)*. Por otro lado, se debe realizar una estimación de la cantidad generada por cada tipo de material y trabajar en conjunto con la oficina de gestión de recursos físicos y ambientales para determinar su clasificación y disposición. Finalmente, se espera que, a partir de la propuesta, se desarrollen proyectos en el CAP que involucren el tratamiento de residuos y que estos se empleen para otros fines académicos.

#### *B. Estandarización de la solución – POE’S (plan de control)*

Para asegurar que la propuesta se implemente adecuadamente, se hizo una estandarización a través de un procedimiento para diseñar y fabricar productos en el CAP. Dicho procedimiento estructuralmente se compone de siete partes, el objetivo principal, donde se describe su finalidad, el alcance y campo de aplicación, y las definiciones que se consideran necesarias para su comprensión. Además, este se constituye de un diagrama de flujo, en el cual se percibe de manera gráfica las actividades con su descripción y los responsables. Igualmente, incluye los formatos que deben completarse, los documentos que se deben considerar y los anexos que son relevantes para su fácil entendimiento. El procedimiento completo y detallado se puede consultar en el anexo 36.

#### *C. Conclusiones*

- Se propuso un proceso de diseño y fabricación de productos que de acuerdo con la proyección realizada incrementará el uso de la infraestructura del CAP. De acuerdo con el estudio realizado, para el segundo semestre del 2021 habrá un crecimiento en la utilización de los equipos, en comparación a la actual. Se proyecta que el centro de mecanizado CNC, la impresora 3D,

el torno y la termoformadora tengan un incremento en su uso superior al 100%, y, por otro lado, la cortadora laser y el robot un aumento del 26% y 29% respectivamente.

- Dentro de la gama de posibilidades que existen para diseñar productos, se analizaron y evaluaron cuatro métodos, considerados como los más pertinentes. A través de herramientas de ingeniería, se seleccionó el Diseño para Seis Sigma (DFFS) como el más apropiado para desarrollar un proceso que se ajustara a las necesidades del Centro de Automatización de Procesos-CAP. Criterios como el tiempo de ejecución, la robustez, la facilidad de comprensión, la calidad del diseño final y la adaptabilidad del método fueron considerados para la selección.
- Se diseñó el procedimiento para el desarrollo y fabricación de productos, el cual queda documentado en el presente proyecto. Dicho procedimiento establece las actividades que se deben llevar a cabo, los responsables y los pasos más relevantes. Mediante el cien por ciento de su ejecución, se proyecta a corto plazo un incremento en la utilización de la infraestructura del CAP.
- Se validó la propuesta por medio de una prueba piloto, fabricando una estación de control de temperatura, acorde a los pasos del proceso propuesto. Este producto respondía a una necesidad en la clase de sistemas realimentados en el programa de ingeniería electrónica. A partir de su elaboración se completaron los formatos, solicitudes y formularios, comprobando la importancia de un proceso estructurado.
- El análisis beneficio/costo mostró un impacto financiero positivo. Se conoce que el CAP no es una unidad que genera ingresos, sin embargo, con la actual propuesta hay una entrada monetaria que no se presentaba anteriormente. Aunque en los cuatro primeros años la razón B/C es menor que uno, es preciso señalar que los beneficios, que en el primer periodo tienen una proyección de \$111.487.067 y en años posteriores un crecimiento gradual del cinco por ciento, pueden ser parcialmente invertidos en mantener un entorno tecnológico actualizado y mejorar la calidad de los servicios prestados.
- El CAP es una dependencia de la Pontificia Universidad Javeriana que tiene el objetivo de prestar sus servicios tecnológicos a la comunidad, y cuyo fin último no es generar ingresos, sino brindar servicios. El proyecto desarrollado, desde una perspectiva económica pareciera no viable, teniendo en cuenta que los costos exceden los beneficios netos asociados; sin embargo, la propuesta tiene un impacto positivo en el ámbito académico de los grupos de interés. A partir de lo anterior se colige que las ventajas cualitativas del proyecto se priorizan sobre las cuantitativas, razón por la cual el proyecto es favorable.

#### *D. Recomendaciones*

A continuación, se hacen una serie de recomendaciones para el CAP, a partir de las cuales pueden surgir futuros proyectos:

- Si bien la propuesta logró una mejora del 33% en el tiempo de entrega previamente establecido, se recomienda evaluar a profundidad el proceso de compra de materiales y establecer plazos con la oficina de suministros de la Pontificia Universidad Javeriana para reducir el tiempo de entrega. Se sugiere, además, que el CAP implemente y actualice los formatos y formularios suministrados en el presente proyecto para agilizar el procesamiento de las órdenes cuando un material es solicitado por un usuario.
- Para futuros incrementos en la utilización de los equipos, existe la posibilidad de diseñar un sistema de asignación de tareas con el fin de hacer uso eficiente de los recursos. De igual manera, se propone que el sistema se fundamente en priorización de tareas, siempre velando por el cumplimiento del objetivo principal del CAP, el servicio a la comunidad.
- Durante el desarrollo del proyecto se encontró la necesidad de digitalizar el diagrama que representa el proceso para diseñar productos en el CAP y los documentos que se requieren en su desarrollo. Se recomienda hacer uso de una plataforma en línea que le permita a los usuarios y al personal del CAP, tener acceso para consultar información relevante y/o actualizarla. Por otro lado, es importante continuar con la construcción de un sitio virtual de trabajo a través de la herramienta Microsoft SharePoint y con la colaboración del programa de ingeniería electrónica.

- Es evidente el incremento en la cantidad de residuos generados por el CAP, por ende, se sugiere evaluar y diseñar un sistema de recolección y tratamiento de residuos en conjunto con la oficina de gestión de recursos físicos y ambientales. Además, se recomienda incorporar al CAP en el *Plan de Gestión Integral de Residuos (PGIR)* y establecer un sistema de clasificación de residuos.
- Para los equipos que no fueron evaluados en el presente proyecto, se hace necesario diseñar estrategias para incrementar su utilización. No obstante, se sugiere que la actual propuesta y el análisis del cual está surgió, se aplique a los demás equipos con el fin de obtener un diagnóstico global del CAP y de su infraestructura.
- Se parte de la necesidad de capacitar en el manejo de los equipos en el CAP a los usuarios del mismo y, en ese propósito, se recomienda trabajar en la coordinación de las jornadas de instrucción, en su estructura y en las temáticas a tratar. De otra parte, se recomienda hacer uso de herramientas para virtualizar dichas capacitaciones a través de los diferentes medios audiovisuales con el fin de brindar un mayor acceso a los usuarios, más flexibilidad en horarios y evitar cruces con otras actividades programadas.
- A través del desarrollo del proyecto, se reconoció la importancia de promover los productos y servicios tecnológicos ofrecidos por el CAP. Por consiguiente, es necesario establecer estrategias de mercadeo para promocionar el CAP como entidad, los servicios que ofrece y posibles proyectos a desarrollar en él. Asimismo, se recomienda realizar un sondeo periódico para determinar las necesidades del mercado, y así, mantener un entorno actualizado para aprovechar oportunidades que el mercado ofrece.

## VIII. GLOSARIO

**PIB:** Representa el resultado final de la actividad productiva de las unidades de producción residentes. Se mide desde el punto de vista del valor agregado, de la demanda o las utilidades finales de los bienes y servicios y de los ingresos primarios distribuidos por las unidades de producción residentes.[31]

**Utilización:** El grado en el que el equipo, el espacio o la mano de obra se emplean. Se expresa como un porcentaje.

**Centro de mecanizado CNC:** Máquinas automatizada, capaces de realizar diferentes operaciones de mecanizado dentro de una sola instalación bajo CNC (Control Numérico Computarizado).

**Termo formadora:** Máquina diseñada para elaborar productos mediante un proceso de termo formado.

**Impresora 3D:** Máquina con la capacidad de realizar réplicas de diseños de manera volumétrica, a partir de un diseño digital.

**Cortadora laser:** Máquina con la cual es posible realizar corte, grabado o marcado en diferentes tipos de material, con una alta precisión.

**Torno:** Conjunto de máquinas que facilitan roscar, cortar, agujerear, cilindrar y desbastar piezas de forma geométrica por medio de revolución.

**Tamaño de muestra:** Porción significativa de la población que cumple con las características de la investigación.[32]

**Nivel de confianza:** Probabilidad de que el parámetro a estimar se encuentre en el intervalo de confianza.[33]

**Lead Time:** Tiempo que transcurre desde la petición de un producto hasta que está disponible en almacén o se detecta en el inventario. [34]

**Diagrama de flujo:** Manera de representar gráficamente un algoritmo o un proceso, a través de una serie de pasos estructurados y vinculados que permiten su revisión como un todo.[35]

**Indicadores de Desempeño:** Métricas de desempeño que identifican el rendimiento de una acción determinada o estrategia específica. [36]

**3D:** Significa tridimensional, hace alusión a un objeto o espacio que tiene ancho, altura y profundidad (longitud).

**Proceso:** Transformación de entradas (insumos) en salidas (bienes y servicios), gracias al aprovechamiento de recursos físicos, tecnológicos y humanos, entre otros

**Subproceso:** Es un Proceso por sí mismo, cuya finalidad hace parte de un Proceso más grande

**Macroproceso:** Proceso global, de gran alcance que normalmente suele atravesar las de limitaciones de una unidad o área de trabajo.

**Diagrama de flujo funcional:** También conocido como diagrama de bloques, es la representación gráfica de un proceso en el cual se muestra el movimiento entre las diferentes unidades de trabajo orientadas verticalmente.

**Control PID:** Mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general.

**Optimizar:** Buscar la mejor manera de realizar una actividad[37].

## IX. REFERENCIAS

- [1] OCDE, “Production Transformation Policy Review of Colombia,” Paris, 2019. doi: 10.1787/9789264312289-en.
- [2] C. Alberto and M. Corrales, “Colombia y su inserción a la economía mundial Colombia and its insertion to the global economy,” *Ecos Econ.*, no. 32, pp. 171–193, 2011.
- [3] C. Valle, U. Valle, V. Cauca, and V. De Campeones, “Enfoque-Competitivo-N124,” 2020.
- [4] DANE, “Boletín Técnico: Muestra trimestral manufacturera regional - MTMR IV trimestre 2018,” p. 24, 2019.
- [5] E. Para and S. D. E. Cali, “IMAE Cali,” *Http//Www.Banrep.Gov.- Co/Sites/Default/Les/Publicaciones/Archivos/Be\_900.Pdf 2*, pp. 2–3, 2019.
- [6] Consejo Directivo Universitario. Acuerdo No. 0066 del 22 de abril de 1992), “Proyecto Educativo de la Universidad Javeriana,” no. 0066, p. 8, 1992.
- [7] “Acerca del CAP | Pontificia Universidad Javeriana, Cali,” 2020. .
- [8] “PRODUCCIÓN REAL.” .
- [9] C. de automatizacion de Procesos, “Informe de Gestion,” pp. 85–90, 2019.
- [10] J. González Masip, “Los grupos de interés y su importancia en la propuesta de valor de las empresas,” *Boletín Económico ICE*, no. 3096, 2018, doi: 10.32796/bice.2018.3096.5693.
- [11] S. Clara, “de los grupos de interés Alignment of University Management Processes to Target Group,” vol. 13, no. 2, pp. 246–257, 2019.
- [12] G. E. Tovar and A. P. Bonilla, “PLAN ESTRATÉGICO DEL PROGRAMA NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, INDUSTRIAL Y CALIDAD,” 2005.
- [13] L. Felipe and G. Restrepo, “Plan de desarrollo institucional de la Pontificia Universidad Javeriana,” 2021.
- [14] Pontificia Universidad Javeriana, “Informe de gestión 2018 Pontificia Universidad Javeriana,” *Inf. sosenibilidad*, p. 88, 2018.
- [15] E. Rey, F. Muñoz, and D. Parra, “PROYECTO DE DISEÑO: UNA NUEVA MIRADA HACIA LOS TRABAJOS DE GRADO EN INGENIERÍA Estefany,” 2018.
- [16] MinAmbiente, “Resolucion 1407 De 2018,” *05/12/2014*. pp. 1–20, 2018, doi: F-A-DOC-03.
- [17] Pontificia, Universidad, and J. Cali, “Propuesta del Modelo de Procesos Pontificia Universidad Javeriana Cali,” *Diseño del Model. Procesos la Univ. con Ciclos Gestión*, p. 117, 2017.
- [18] P. Farias, J. Aca, A. Molina, H. Maury, and C. Riba, “Evolución de los modelos del proceso de diseño,” *Ing. Concurr. Una Metodol. Integr.*, pp. 21–36, 2006.
- [19] J. Jänsch and H. Birkhofer, “The development of the guideline VDI 2221 - The change of direction,” *9th Int. Des. Conf. Des. 2006*, pp. 45–52, 2006.
- [20] K. Yang and Basem El-Haik, *Design for Six Sigma : Roadmap to product development, 2nd Edition*, no. August. 2016.

- [21] K. L. wood Kevin N. Otto, "Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development." .
- [22] S. Pugh, *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering*. 1991.
- [23] N. E. Hernandez Rendon, "Caso de aplicación de la metodología Diseño Para Seis Sigma en un componente automotriz," *UNAM Fac. Ing.*, 2018.
- [24] L. A. Mendes, N. Back, and G. H. C. Oliveira, "Designing automated test systems: An adapted methodology inspired on Pahl and Beitz's systematic approach," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 25, no. 6, pp. 945–950, 2009, doi: 10.1016/j.rcim.2009.04.006.
- [25] K. h. G. G. Phl, W. Beitz, J. Feldhusen, *Engineering design*, 3rd ed. 2006.
- [26] A. F. Cabrera, "Cap 5 – Sistema de evaluación de alternativas de diseño multicriterio."
- [27] McGrawHill, Ed., *Organización de empresas*, Tercera ed. .
- [28] Nikkan Kogyo Shimbun, *Poka-Yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects*. Portland.
- [29] Banco de la República, "Boletín de indicadores económicos," *Bol. indicadores económicos*, pp. 1–23, 2020, [Online]. Available: <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/paginas/bie.pdf>.
- [30] L. A. T. Blank, "Ingeniería económica," *Mc Graw Hill*, vol. 6.
- [31] G. Báez Lander, "Producto Interno Bruto Real," *Rev. Venez. Análisis Coyunt.*, vol. 6, no. 1, pp. 275–281, 2016.
- [32] "tamaño-de-la-muestra @ www.questionpro.com." .
- [33] "nivel de confianza - Diccionario de Matemáticas | Superprof." .
- [34] "¿Qué es el lead time en logística? | Sertrans." .
- [35] "Diagrama de Flujo - Concepto, proceso, simbología y ejemplos." .
- [36] "Indicadores de gestion: ¿Que es un KPI? | Roberto Espinosa." .
- [37] Diccionario de la lengua española, "Real academia española," *Version 23.4 en linea*. <https://dle.rae.es/contenido/cita> (accessed Apr. 28, 2021).

## X. ANEXOS

TABLA XII  
TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)
1	2020203 - Anexo 1. Cuestionario coordinador CAP	Propio	Word
2	2020203 - Anexo 2. Justificación ponderación grupos de interés	Propio	Word
3	2020203-Anexo 3. Entrevista coordinador CAP: Requerimientos de diseño	Propio	Word
4	2020203-Anexo 4. Protocolo de bioseguridad CAP	CAP	PDF
5	2020203-Anexo 5. Código de conducta del CAP	CAP	Word
6	2020203-Anexo 6. Reglas de seguridad del CAP	CAP	Word
7	2020203-Anexo 7. Formulario CAP	Propio	Word
8	2020203-Anexo 8. Utilización de los equipos del CAP al semestre	Propio	Excel
9	2020203-Anexo 9. Utilización del CAP	Propio	Excel
10	2020203-Anexo 10. Información proveedores	Propio	Excel
11	2020203-Anexo 11. Resultados de cuestionario enviado a directores de la FIC	Propio	Excel
12	2020203-Anexo 12. Encuesta a estudiantes de la FIC	Propio	Excel
13	2020203-Anexo 13. Reporte de resultados de encuesta de satisfacción a estudiantes	Propio	Word
14	2020203-Anexo 14. Cálculo de tamaño de muestra	Propio	Excel
15	2020203-Anexo 15. Asesoría: coordinador de procesos y calidad de la Pontificia Universidad Javeriana	Propio	Word
16	2020203-Anexo 16. Plan de recolección de datos	Propio	Excel
17	2020203-Anexo 17. Análisis PESTEL	Propio	Excel
18	2020203-Anexo 18. Diagrama de afinidad	Propio	Word
19	2020203-Anexo 19. Resumen de revisión de literatura	Propio	Word
20	2020203-Anexo 20. Adaptación de métodos de diseño	Propio	Excel
21	2020203-Anexo 21. Matriz AHP	Propio	Word
22	2020203-Anexo 22. Cronograma del proyecto	Propio	Project
22.1	2020203-Anexo 22.1 Cronograma del proyecto	Propio	PDF
23	2020203-Anexo 23. ICOV	Propio	Word
24	2020203-Anexo 24. Fase 1 (I) Identificar requerimientos	Propio	Word
25	2020203-Anexo 25. Fase 2 (C) Caracterizar diseño. Paso 1	Propio	Excel
26	2020203-Anexo 26. Fase 2 (C) Caracterizar diseño. Paso 2	Propio	PDF
27	2020203-Anexo 27. Manual de funciones y organización	Propio	Word
28	2020203-Anexo 28. Formato de capacitación en el CAP	Propio	Word
29	2020203-Anexo 29. Fase 2 (C) Caracterizar diseño. Paso 3	Propio	Excel
30	2020203-Anexo 30. Fase 3 (O) Optimizar-Mejor diseño	Propio	Word

<b>No. Anexo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Desarrollo (propio o terceros)</b>	<b>Tipo de Archivo (PDF, HTLM, Excel, Word...)</b>
31	2020203-Anexo 31. Diagrama de flujo de proceso para diseñar y fabricar productos genéricos en el CAP	Propio	PDF
32	2020203-Anexo 32. Proceso de construcción de estación de control de temperatura	Propio	PDF
33	2020203-Anexo 33. Comparación KPI'S	Propio	Excel
34	2020203-Anexo 34. Grupo de enfoque	Propio	Word
35	2020203-Anexo 35. Análisis económico	Propio	Excel
36	2020203-Anexo 36. Estandarización de la solución	Propio	Word