

2021-01

APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA CONTINUA EN LABORATORIO DE MANUFACTURA AVANZADA

CAMILA ANDREA, ESTÉVEZ LENZ

<https://hdl.handle.net/11673/50041>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO - CHILE



APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA CONTINUA EN LABORATORIO DE MANUFACTURA AVANZADA

Camila Andrea Estévez Lenz

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

Profesor Guía: Dr. Ing. Sheila Lascano Farak

Profesor Co-referente: Ing. Nelson Álvarez Campillay

Enero 2021

*Gracias por seguir adelante y nunca rendirte,
aún cuando no veías salida.*

Agradecimientos

Mirando hacia atrás, me cuesta creer que la niña de 18 años que decidí entrar a la USM, impulsada por la fascinación que sentía por la física, haya logrado ser la persona que soy hoy. Soy plenamente consciente de que todo lo que he logrado ha sido también gracias al apoyo de todas las personas que me acompañaron en mayor y menor medida en este camino. Muchas gracias a la universidad y a mis profesores, en especial a mis guías Sheila y Nelson, por todo el conocimiento práctico y teórico que me entregaron. A los integrantes del MakerSpace, por tener siempre la mejor disposición para ayudarme en este trabajo. A los guardias y las tías del aseo del campus, especialmente a Teresa, Antonia, Mónica y Rosa, a quienes recuerdo con profundo cariño. A los integrantes del centro médico de la universidad, en especial a Ana y Mirza, quienes me recibían siempre que me pasaba algo o cuando simplemente quería hablar con una taza de té. A María Cristina, que me recibía siempre con tanto amor, me confiaba el cómo se sentía mientras tomábamos una taza de té y hacíamos lo imposible por avanzar con todas las tareas que le dejaban. A Paola, por confiar en mis capacidades y ser un gran ejemplo como persona. A Daniel y Rodrigo, por formar un gran equipo de trabajo, y al resto del Departamento de Física, el cual creo que me llegó a considerar como parte de ellos por estar permanentemente rondando por ahí. A mis amigos informáticos de la sala de magíster, LDS y primos, que me recibían como uno de ellos al punto de hacer pensar a todos que yo también era informática. A mis padres, que gracias a ellos tuve la tranquilidad de poder estudiar sin mayores preocupaciones. A mi familia, por apoyarme en todo momento, aguantando mi mal humor y los períodos en los que desaparecía por estar estudiando. A mi abuela Silvia, siento no haber podido terminar este trabajo antes de tu partida. A Siuling, todos los días me pregunto qué hice para merecer una amiga tan maravillosa como tú. A Alex Eduardo y Sebastián, quienes recorrieron este camino conmigo desde el primer día hasta el último. A Alex Gonzalo, por ser un ejemplo de fortaleza y un apoyo indispensable cuando sentía que todo estaba perdido. A Camilo, por apoyarme con el benchmarking. A Enrique, por apoyarme con feedback y motivándome a avanzar. A Jorge Andrés, quien fue y es un apoyo fundamental en todo lo que hago. A mis queridos grupos de amigos: las feas, las gays, los del apocalipsis, los dobidos, el team honor, las togas, las brunuwu y los mercurios. Estoy profundamente agradecida de todos.

Resumen

El Laboratorio de Manufactura Avanzada, perteneciente al Departamento de Ingeniería Mecánica, se ubica en el Campus San Joaquín de la Universidad Técnica Federico Santa María. Al tener un enfoque estilo MakerSpace tanto los alumnos como la comunidad pueden acceder a máquinas, herramientas, servicios y un espacio de aprendizaje para el desarrollo de actividades y prototipos con fines académicos, de investigación, personales o industriales a baja escala. Desde que se fundó el laboratorio se ha estado trabajando sin un funcionamiento estandarizado. Las personas cumplen sus funciones como les han enseñado de boca en boca. Por otra parte, la distribución espacial tampoco está definida de manera particular, el mobiliario y las máquinas están ubicadas de manera aleatoria.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de mejorar estas condiciones, acomodar el lugar para instalar una nueva máquina de sinterización y acondicionar para poder realizar clases prácticas de prototipado para las carreras de Ingeniería Civil Mecánica e Ingeniería en Diseño de Productos. Esto a través de la aplicación de herramientas de mejora continua, siguiendo los pasos de la metodología DMAIC.

Primeramente se realizó un levantamiento detallado de información para tener una visión clara del estado inicial del laboratorio y establecer una línea base fundada en datos, definiendo así factores clave en torno a la seguridad y el servicio. El apoyo de los ayudantes y profesores ligados al laboratorio fue clave para poder tener una visión real de lo que pasa diariamente en el MakerSpace. Ya que esta es la primera vez que se aplican métodos de mejora continua de manera efectiva en el laboratorio, las mediciones y análisis hechos estuvieron orientados fuertemente al pensamiento Lean, esto para reducir al máximo las actividades que no agregan valor antes de introducir cosas nuevas.

Finalmente, se logró identificar una gran cantidad de oportunidades de mejora y elementos que no agregan valor, proponiendo así un plan para mejorar y controlar el estado del laboratorio. Una parte importante de estas propuestas fueron implementadas, sin embargo, debido a fuertes factores externos imposibles de predecir, aún quedan mejoras pendientes para poner en marcha.

Palabras clave: Mejora continua, DMAIC, Lean, MakerSpace, Manufactura avanzada.

Abstract

The Advanced Manufacturing Laboratory, belonging to the Mechanical Engineering Department, is located on the San Joaquín Campus of the Federico Santa María Technical University. By having a MakerSpace-style approach, students and the community can access a learning space with machines, tools, services for the development of activities and prototypes for academic, research, personal or small scale industrial purposes.

Since its founding, the lab has been functioning without a standardized operation, resulting in people carrying out their functions as they have been taught by word of mouth. Furthermore, the spatial distribution is not defined in a particular way either, the furniture and machines are randomly located.

The present work aims to improve these conditions, accommodating the workplace to install a new sintering machine and allowing the appropriate conditions to carry out the Mechanical Engineering and Product Design Engineering career's practical prototyping classes. All of this, through the application of continuous improvement tools, following the DMAIC methodology steps.

First, a detailed information survey was carried out to have a clear vision of the initial state of the laboratory and to establish a baseline founded on data, thus defining key factors around safety and service. Support from assistants and teachers linked to the laboratory was key to have a vision of the daily functioning of the MakerSpace.

Since this is the first time that continuous improvement methods have been applied effectively in the laboratory, the measurements and analyzes were strongly oriented to Lean standard, to minimizing activities that do not add value, before introducing new improvements.

Finally, several improvement opportunities, as well as elements that do not add value, were identified, culminating in a plan to improve and control the laboratory's workspace. It must be mentioned that an important part of these proposals has been implemented successfully, however, due to external factors that were impossible to predict, there are still unsettled improvements to run.

Keywords: Continuous improvement, DMAIC, Lean, MakerSpace, Advanced manufacturing.

Glosario

3D: Tres dimensiones o Tridimensional.

5S: Seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke.

6 σ : Seis Sigma.

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene.

ACHS: Asociación Chilena de Seguridad.

ASEM: Administración de salas y equipos multimedia.

BB: Black belt.

CAD: Diseño asistido por computadora.

CCR: Requerimientos críticos del cliente.

CNC: Computer Numerical Control.

DMAIC: Define, measure, analyze, improve, control.

DMEDI: Define, measure, explore, develop, implement.

EPP: Elementos de protección personal.

FabLab: Laboratorio de fabricación.

FMEA: Análisis de modos de fallas y sus efectos.

FODA: Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

GB: Green belt.

IDP: Ingeniería en diseño de productos.

ISO: International Organization for Standardization.

JIT: Just in time.

MBB: Master black belt.

ORP: Occupational Risk Prevention.

PDCA: Plan, do, check ,act.

PHVA: Planear, hacer, verificar, actuar.

PLA: Polylactic Acid.

SIPOC: Proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes.

TPS: Toyota Production System.

VOC: Voz del cliente.

Índice

1. Introducción	XVIII
1.1. Definición del problema	XVIII
1.2. Objetivos	XIX
1.2.1. Objetivo general	XIX
1.2.2. Objetivos específicos	XIX
2. Marco Teórico	1
2.1. Calidad	1
2.2. Mejora continua	2
2.2.1. Ciclo Deming	2
2.3. Gestión del cambio	5
2.3.1. Tipos de cambio	6
2.3.2. Triple coherencia	6
2.3.3. Reacciones frente al cambio	7
2.3.4. Resistencia al cambio	8
2.3.5. Fases de la transición personal: <i>Paseo en montaña rusa</i>	8
2.3.6. El proceso del cambio: <i>El valle de la muerte</i>	9
2.3.7. 8 pasos del cambio efectivo organizacional de John Kotter	11
2.4. Lean	13
2.4.1. Mudas	14
2.4.2. Kanban	16
2.4.3. 5S	16
2.5. Seis Sigma	17
2.5.1. Aplicación de Seis Sigma	17
2.5.2. Principios de un proyecto	18
2.6. Metodología DMAIC	21
2.6.1. D - Definir	21
2.6.2. M - Medir	23
2.6.3. A - Analizar	24
2.6.4. I - Mejorar	25
2.6.5. C - Controlar	26
2.7. Gestión de la seguridad basada en el comportamiento	28

3. Estado inicial del laboratorio	32
3.1. Funcionamiento administrativo	32
3.2. Distribución espacial	32
3.3. Equipos y mobiliario	33
3.3.1. Máquinas	33
3.3.2. Mobiliario	35
3.3.3. Materiales	36
3.3.4. Otros	36
3.4. Modo de trabajo	36
3.4.1. Alumnos con proyectos personales o académicos	37
3.4.2. Alumnos memoristas	39
3.4.3. Alumnos de IDP	39
3.4.4. Departamento de Ingeniería Mecánica	40
3.4.5. Otros clientes	41
3.5. Documentos físicos existentes	42
3.6. Focus Group	51
4. Aplicación de la metodología DMAIC	52
4.1. Definir	53
4.1.1. Project charter	53
4.1.2. Plataforma en llamas	56
4.1.3. FODA	56
4.1.4. SIPOC	58
4.1.5. Proceso As is	61
4.1.6. VOC	64
4.1.7. Análisis VOC/CCR	67
4.1.8. Análisis de interesados	67
4.1.9. Plan de comunicación	69
4.2. Medir	71
4.2.1. Listado de desperdicios priorizados	71
4.2.2. Listado de métricas	75
4.2.3. Plan de medición	77
4.2.4. Línea base	82
4.2.5. Diagrama de spaghetti	87
4.3. Analizar	89
4.3.1. Oportunidades de mejora encontradas y análisis preli- minares	89
4.3.2. Ishikawa	91

4.3.3.	Pareto	95
4.3.4.	Ishikawa post Pareto	99
4.3.5.	5 porqués	101
4.3.6.	Análisis adicionales	104
4.3.7.	Redefinición de las métricas de seguridad	109
4.3.8.	Redefinición de las métricas de servicio	110
4.4.	Mejorar	112
4.4.1.	Ideas de mejora	112
4.4.2.	Matriz de priorización	114
4.4.3.	Propuestas de solución principales	118
4.4.4.	Propuestas de solución secundarias	122
4.4.5.	Ideas no consideradas	124
4.5.	Controlar	125
4.5.1.	Plan de Implementación	125
4.5.2.	Plan de Control	131
4.5.3.	Medidas y comentarios generales	131
5.	Estado final del laboratorio	133
5.1.	Préstamo de herramientas	133
5.2.	Inventario digital	135
5.3.	Nuevos bancos de trabajo y muebles adaptados	136
5.4.	Apoyo académico	143
5.5.	Distribución espacial final e impactos del reacondicionamiento	144
5.6.	Situación 2020 - Propuestas pendientes de aplicación	147
5.7.	Proyecciones futuras	148
5.8.	Focus Group	151
5.8.1.	Diferencias entre el <i>FabLab</i> y el <i>MakerSpace</i>	155
6.	Conclusiones	157
7.	Recomendaciones	160
8.	Anexos	162
8.1.	Registro visual del MakerSpace	162
8.2.	Cálculo de los precios por el uso de las máquinas complejas	182
8.3.	Detalles sobre la estimación de la distribución espacial del laboratorio	185
8.4.	Datos tabulados disponibilidad de ayudantes	188

8.5. Datos y estimaciones para el cálculo de la disponibilidad de las máquinas	191
8.6. Resultados encuesta del nivel de manejo de las máquinas por parte de los ayudantes	193
8.7. Señales de seguridad encontradas en el laboratorio	199
8.8. Resultados encuesta del nivel de servicio	201
8.9. Datos utilizados para los diagramas de Pareto	205

Índice de tablas

2.1.	Ciclo PHVA y 8 pasos en la solución de un problema	3
2.2.	Capacitación y acreditación de los participantes del equipo de trabajo Seis Sigma	20
2.3.	Opción de formato para el desarrollo de un Plan de Control	27
3.1.	Valor del uso por hora de cada máquina considerando un tiempo de trabajo menor o igual a 10 horas	37
3.2.	Valor del uso por hora de cada máquina considerando un tiempo de trabajo mayor o igual a 15 horas	38
4.1.	Tabla resumen del análisis FODA del laboratorio	58
4.2.	Análisis en conjunto de la voz del cliente, su asunto clave y su requerimiento crítico respectivo.	67
4.3.	Análisis de interesados directos.	69
4.4.	Plan de comunicación	70
4.5.	Listado de desperdicios, descripción y efectos.	71
4.6.	Desperdicios puntuados bajo distintos parámetros.	74
4.7.	Listado de desperdicios priorizados.	74
4.8.	Datos sobre el uso y las fallas registradas en cada máquina entre mayo y octubre del 2019.	84
4.9.	Plan de Control para las mejoras y variables importantes del proceso.	132
8.1.	Valores de monedas al día 14 de octubre del 2019	182
8.2.	Tabla de valores fijos para cada máquina.	183
8.3.	Tabla de valores variables utilizados para calcular los costos de la tabla 3.1.	184
8.4.	Tabla de valores variables utilizados para calcular los costos de la tabla 3.2.	184
8.5.	Cantidad de ayudantes por intervalo de tiempo a la semana para el primer semestre del 2019	188
8.6.	Cantidad de ayudantes por intervalo de tiempo a la semana para el segundo semestre del 2019	189
8.7.	Horas diarias en las que existe al menos un ayudante disponible en el laboratorio. La primera columna corresponde a la programación del primer semestre del año 2019 y la segunda columna al segundo semestre de este mismo año	190

8.8. Usos y fallas registradas entre mayo y octubre del 2019 con pesos asignados.	191
8.9. Datos para el cálculo del promedio ponderado del nivel de uso de las máquinas principales.	197
8.10. Tabla de datos con pesos asignados a cada hipótesis del análisis general.	205
8.11. Tabla de datos con pesos asignados a cada hipótesis del análisis del nivel de seguridad.	206
8.12. Tabla de datos con pesos asignados a cada hipótesis del análisis del nivel de servicio.	206

Índice de figuras

2.1.	Respuesta emocional frente a un cambio	9
2.2.	Representación gráfica del valle de la muerte.	10
2.3.	Matriz de priorización costo-beneficio y sus cuadrantes.	25
2.4.	La prevención como un ciclo continuo de diagnóstico, inter- vención y valoración	29
2.5.	La teoría tricondicional como una aproximación jerárquica a la prevención	30
2.6.	Teoría tricondicional: Las tres condiciones para el trabajo se- guro, factores de los que depende y grupos de medidas de acción preventiva implicadas	31
3.1.	Layout del espacio, septiembre del 2019	34
3.2.	Registro de inventario bodega.	42
3.3.	Registro de inventario Mueble 1 (012).	43
3.4.	Registro de inventario Mueble 2 (134).	43
3.5.	Registro de inventario Mueble 3 (115).	44
3.6.	Distribución de horarios de los ayudantes en un período des- conocido.	44
3.7.	Ficha de uso y mantención de cortadora láser, parte superior. Año 2017.	45
3.8.	Ficha de uso y mantención de cortadora láser, parte inferior. Año 2017.	45
3.9.	Formulario de baja o traslado de activo fijo.	46
3.10.	Normas básicas para la utilización del laboratorio de manu- factura avanzada y de investigación, página 1. 06-12-2017.	47
3.11.	Normas básicas para la utilización del laboratorio de manu- factura avanzada y de investigación, página 2. 06-12-2017.	48
3.12.	Normas básicas para la utilización del laboratorio de manu- factura avanzada y de investigación, página 3. 06-12-2017.	49
3.13.	Formulario de préstamo.	50
4.1.	Las cinco etapas en la realización de un proyecto 6σ	52
4.2.	Diagrama simplificado de las entradas y salidas del proceso.	58
4.3.	Esquema SIPOC del proceso del laboratorio.	59
4.4.	Diagrama de flujo "As is" para el corte y/o formado de material.	61
4.5.	Matriz de poder e interés de los involucrados en el laboratorio.	68
4.6.	Árbol de métricas para el Nivel de seguridad.	75

4.7. Árbol de métricas para el Nivel de servicio.	76
4.8. Distribución espacial dentro del laboratorio. Los datos se muestran en metros cuadrados y porcentajes.	82
4.9. Porcentaje histórico de disponibilidad de los ayudantes en el laboratorio. Creado con los datos de la tabla 8.7.	83
4.10. Nivel promedio de manejo en cada máquina. Creado con datos de la tabla 8.9.	85
4.11. Diagrama de spaghetti de la cortadora láser, septiembre del 2019.	87
4.12. Diagrama de spaghetti de la máquina ShopBot, septiembre del 2019.	88
4.13. Diagrama de Ishikawa para el análisis global de posibles problemas.	92
4.14. Diagrama de Ishikawa para analizar los factores que influyen en el Nivel de seguridad.	93
4.15. Diagrama de Ishikawa para analizar los factores que influyen en el Nivel de servicio.	94
4.16. Gráfico de Pareto obtenido a partir de los datos de la tabla 8.10.	96
4.17. Gráfico de Pareto obtenido a partir de los datos de la tabla 8.11.	97
4.18. Gráfico de Pareto obtenido a partir de los datos de la tabla 8.12.	98
4.19. Diagrama de Ishikawa general tras la aplicación del análisis de Pareto.	99
4.20. Diagrama de Ishikawa "Y ₁ " tras la aplicación del análisis de Pareto.	100
4.21. Diagrama de Ishikawa "Y ₂ " tras la aplicación del análisis de Pareto.	100
4.22. Diagrama "5 porqués" para el análisis de la ausencia de charla de seguridad.	101
4.23. Diagrama "5 porqués" para el análisis de la falta de encargado administrativo.	102
4.24. Diagrama "5 porqués" para el análisis de la falta de registro sobre el préstamo de herramientas.	102
4.25. Diagrama "5 porqués" para el análisis de la falta de registro de inventario.	103
4.26. Señales de seguridad que faltan en el laboratorio	108
4.27. Matriz costo-beneficio para la clasificación de las ideas de mejora.	114
5.1. Formato de ficha para solicitar el préstamo de herramientas . .	134
5.2. Registro digital de préstamo de herramientas	135

5.3.	Sistema de registro de inventario.	136
5.4.	Vista isométrica con medidas en centímetros de porta planchas móvil	137
5.5.	Banco de trabajo estándar (a) Vista frontal con medidas en centímetros (b) Vista lateral con medidas en centímetros . . .	138
5.6.	Vista isométrica con medidas en centímetros de (a)banco de trabajo estándar (b)banco de trabajo con gabinetes posteriores adicionales	139
5.7.	Banco de trabajo con gabinetes adicionales (a) Vista frontal con medidas en centímetros (b) Vista lateral con medidas en centímetros	139
5.8.	Vista isométrica (a) Conjunto banco de trabajo con gabinetes posteriores adicionales y mesa de altura regulable (b) Mesa de altura regulable con medidas en centímetros	140
5.9.	Vista isométrica con medidas de las cajoneras	141
5.10.	Rack para impresoras 3D con bandejas móviles (a) Vista frontal con medidas en centímetros (b) Vista isométrica del rack completo sin medidas	142
5.11.	Rack para impresoras 3D con bandejas móviles (a) Vista isométrica con medidas en centímetros de la estructura de madera (b) Vista isométrica con medidas en centímetros de la estructura metálica	142
5.12.	Vistas isométricas con medidas de (a)escritorio línea corchete para máquinas (b)escritorio línea corchete para computadores	143
5.13.	Layout del espacio, febrero del 2019	145
5.14.	Propuesta de cambios en el layout para incluir una nueva oficina en el segundo piso	150
8.1.	Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.	162
8.2.	Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.	163
8.3.	Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.	163
8.4.	Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.	164
8.5.	Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.	164
8.6.	Registro del espacio al día 24 de junio del 2019.	165
8.7.	Registro del espacio al día 24 de junio del 2019.	165

8.8.	Registro de la extracción de la cortadora láser vista por fuera del laboratorio, 10 de septiembre del 2019 (a) Salida directa del tubo de extracción por una perforación en la ventana (b) Continuación del tubo por el costado exterior oriente del laboratorio (c) Final del tubo por la parte superior del edificio.	166
8.9.	Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.	167
8.10.	Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.	167
8.11.	Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.	168
8.12.	Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.	168
8.13.	Registro del espacio al día 11 de octubre del 2019.	169
8.14.	Registro del espacio al día 11 de octubre del 2019.	169
8.15.	Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.	170
8.16.	Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.	170
8.17.	Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.	171
8.18.	Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.	171
8.19.	Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.	172
8.20.	Registro del espacio al día 11 de noviembre del 2019.	172
8.21.	Registro del espacio al día 11 de noviembre del 2019.	173
8.22.	Registro del espacio al día 11 de noviembre del 2019.	173
8.23.	Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.	174
8.24.	Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.	174
8.25.	Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.	175
8.26.	Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.	175
8.27.	Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.	176
8.28.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	176
8.29.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	177
8.30.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	178
8.31.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	178
8.32.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	179
8.33.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	179
8.34.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	180
8.35.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.	180
8.36.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020, fracturas en el piso.	181
8.37.	Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020, fracturas en el piso bajo la caja de la máquina sinterizadora.	181
8.38.	Espacio total disponible en el laboratorio, identificado como una zona morada. Septiembre 2019.	185

8.39. Espacio funcional instalado para realizar parte de los procesos que se desarrollan en el laboratorio, identificado como las zonas celestes. Septiembre 2019.	186
8.40. Espacio mal utilizado o desperdiciado, identificado como las zonas de color verde. Septiembre 2019.	186
8.41. Porcentaje de ayudantes que ingresaron a la universidad cada año	193
8.42. Continuidad de los ayudantes en el laboratorio	194
8.43. Nivel de manejo de la máquina cortadora láser	194
8.44. Nivel de manejo de la máquina ShopBot	195
8.45. Nivel de manejo de la impresora Ultimaker	195
8.46. Nivel de manejo de la impresora MakerBot	196
8.47. Nivel de manejo de la máquina Compact Router	196
8.48. Ubicación de la señal "DEPOSITAR SÓLO AQUÍ LA BASURA".	199
8.49. Ubicación de la señal "MANTENGA LIMPIO Y ORDENADO".	200
8.50. Porcentaje de clientes que ingresaron a la universidad cada año	201
8.51. Carrera a la cual pertenecen los clientes expresado en porcentaje	202
8.52. Trato que perciben los clientes de parte de las personas del laboratorio, donde 1 es deficiente y 5 es excelente	203
8.53. Nivel de servicio general percibido por los clientes, donde 1 es una mala experiencia y 5 es una excelente experiencia	203

1. Introducción

Un MakerSpace se conoce como un centro con herramientas y materiales puestos a disposición de la comunidad, para que los participantes puedan diseñar y construir los proyectos que deseen. Estos laboratorios además combinan el trabajo en equipo y la educación para ponerla al servicio de la comunidad [5].

En este caso, el laboratorio de manufactura avanzada también tiene carácter de MakerSpace. En este espacio brindado por la universidad y administrado por el Departamento de Ingeniería Mecánica, tanto profesores como alumnos pueden hacer uso de los equipos para desarrollar proyectos académicos y personales.

El laboratorio cuenta con alumnos ayudantes, los que se encargan de manejar los equipos, administrar su uso y guiar a las personas que quieran desarrollar alguno de sus proyectos en caso de ser necesario. Ellos son los que pasan más tiempo dentro de este espacio.

1.1. Definición del problema

Actualmente este espacio no cuenta con una organización espacial definida. Los equipos, materiales, prototipos, muebles y herramientas que se encuentran en él están distribuidos “donde quepan” y es incómodo para la gente que trabaja habitualmente en él cumplir con sus labores y encontrar las cosas que necesita.

Junto con la situación actual, se necesita hacer una serie de modificaciones con urgencia para poder instalar máquinas y equipos nuevos que fueron comprados por el Departamento de Ingeniería Mecánica. La incorporación de estos elementos alterará todo el laboratorio y reducirá de manera considerable el espacio para transitar.

Además, el Departamento de Ingeniería en Diseño de Productos solicitó usar el laboratorio para realizar algunas clases prácticas de prototipado, por lo que también se necesitará incorporar muebles de trabajo adecuados.

La idea principal de este trabajo es introducir la cultura de la mejora continua en el laboratorio, partiendo con una adecuada distribución del espacio y atacando temas que necesiten mejorar de manera urgente. Así también se podrá mejorar la efectividad de los procesos que actualmente se realizan.

1.2. Objetivos

A continuación, se detallan los objetivos que se buscan lograr con este trabajo:

1.2.1. Objetivo general

Implementar estrategias de mejora acorde a los requerimientos y necesidades del laboratorio de manufactura avanzada.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de las condiciones actuales del espacio, materiales y maquinarias.
- Organizar el espacio en función de las necesidades.
- Proponer un plan para mantener y/o mejorar las nuevas condiciones de trabajo.
- Evaluar los impactos del reacondicionamiento del espacio.

2. Marco Teórico

La situación que se trata en este trabajo de memoria es abordado desde una metodología llamada DMAIC, pero, para llegar a comprenderla, primero es necesario definir algunos conceptos del área de calidad y mejora continua.

2.1. Calidad

Muchos autores han aportado con sus definiciones de calidad, ya que es un concepto que se puede ver desde distintas áreas. Una definición general, establece que la calidad son las características propias de un producto o servicio que le permiten a este satisfacer las necesidades, explícitas o implícitas, del cliente [8].

Desde el punto de vista de los procesos productivos, la calidad ha tenido una evolución natural a lo largo de la historia:

- **Inspección:** El concepto de calidad se basa en si el producto cumple o no las especificaciones. Para verificar este cumplimiento, se utiliza el método de inspección “pasa no pasa”, que refleja si el producto cumple (pasa) o no (no pasa). Los productos que cumplen son aceptados y los que no cumplen son rechazados o reprocesados.
- **Control estadístico:** El enfoque del concepto de calidad cambia del producto al proceso, pero también preocupándose de cumplir con las especificaciones. Se usan técnicas de control estadístico a los procesos para verificar que estén funcionando de manera correcta. Se hacen controles por lotes de productos, no a todos, para verificar que cumplan con los requerimientos.
- **Aseguramiento de la calidad:** Un grupo de expertos en calidad demostró que las fallas producidas por la mala calidad tienen un costo muy alto y que al mejorar se pueden reducir estos costos [7]. Así nace la necesidad de mejorar la calidad de los productos y procesos en cada área de la producción con la filosofía de “hacer las cosas bien a la primera”.
- **Calidad total:** Se busca estandarizar los procesos para disminuir la variabilidad, tanto del proceso como del producto. El grupo de normas ISO 9000 dan una pauta de cómo las empresas pueden gestionar

y controlar la calidad de sus procesos. También orienta el cómo hacer auditorías en estas mismas áreas [10]. El enfoque de la calidad va avanzando cada vez más a satisfacer las necesidades de los clientes.

- **Reestructuración y mejora continua:** Las organizaciones son conscientes de que la calidad es un asunto estratégico, una ventaja competitiva y una oportunidad de negocio [7]. Por esto se busca reinventar la visión y misión de las empresas, para enfrentarse a la era de la información y a un mercado globalizado

Esta evolución refleja cómo ha ido cambiando el enfoque de la calidad a través del tiempo. Buscando ser cada vez mejor para aumentar la competitividad, disminuir los costos de los procesos, disminuir las fallas y satisfacer las necesidades de los clientes. También refleja la fuerte influencia de la globalización y los avances tecnológicos en la manera en la que se mueve el mercado.

2.2. Mejora continua

Con esta ideología de apuntar a mejorar la calidad total para lograr ventajas competitivas dentro del mercado es que se buscan herramientas para conseguirlo. Así nace la idea de la *Mejora continua*, que en el fondo es una consecuencia natural de la evolución de la calidad. Esta filosofía tiene como base que *"Siempre se pueden hacer las cosas mejor"*.

La mejora continua, como se mencionó anteriormente, es una consecuencia de buscar hacer las cosas mejor de las que se hacen, estudiando atentamente los procesos para identificar desperdicios, problemas, causas o restricciones. Con esto se busca tener una línea base para empezar a buscar nuevas ideas de mejora e ir registrando todo el proceso para aprender de él.

2.2.1. Ciclo Deming

William Edwards Deming (1900-1993) fue un estadístico estadounidense al que se le conoce como *el padre de la calidad*, *el gurú de la calidad* o *el hombre que descubrió la calidad*. Este hombre tomó el poderoso concepto de calidad que tenían los japoneses por la década de los 50, el cual creyó mucho más sólido que lo que conocía en Estados Unidos, y lo complementó con su amplio conocimiento estadístico logrando grandes avances en la gestión de la

calidad de los procesos [15].

Uno de sus mayores aportes fue la creación del llamado *Ciclo Deming*, el cual es un método de trabajo para abordar un proyecto de mejora con pasos estructurados y objetivos. También se le llama *Ciclo PDCA*, por sus siglas en inglés *plan, do, check, act*, o *PHVA* por su traducción en español planear, hacer, verificar, actuar.

Como sus siglas lo indican, este ciclo tiene cuatro grandes etapas:

- **Planear:** Se elabora un plan de acción de manera objetiva y detallada.
- **Hacer:** Se pone en marcha el plan de la etapa anterior.
- **Verificar:** Se contrastan los resultados obtenidos con los esperados.
- **Actuar:** En base a los resultados, se busca mantener los cambios o se planean nuevas modificaciones.

Estas cuatro etapas también se subdividen en los denominados *ocho pasos para la solución de los problemas*. Estos se detallan a continuación:

Tabla 2.1: Ciclo PHVA y 8 pasos en la solución de un problema. [7]

Etapa del ciclo	n	Nombre del paso	Posibles técnicas a usar
Planear	1	Definir y analizar la magnitud del problema	Pareto, h. de verificación, histograma, c. de control
	2	Buscar todas las posibles causas	Observar el problema, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa
	3	Investigar cuál es la causa más importante	Pareto, estratificación, d. de dispersión, d. de Ishikawa
	4	Considerar las medidas remedio	Por qué ... necesidad Qué ... objetivo Dónde ... lugar Cuánto ... tiempo y costo Cómo ... plan
Hacer	5	Poner en práctica las medidas remedio	Seguir el plan elaborado en el paso anterior e involucrar a los afectados
Verificar	6	Revisar los resultados obtenidos	Histograma, Pareto, c. de control, h. de verificación
Actuar	7	Prevenir la recurrencia del problema	Estandarización, inspección, supervisión, h. de verificación, cartas de control
	8	Conclusión	Revisar y documentar el procedimiento seguido y planear el trabajo futuro

1. **Definir y analizar la magnitud del problema:** En este paso se detalla y delimita el problema de la manera más objetiva y clara posible. Por lo general se responden preguntas como ¿cuál es el problema?, ¿dónde y cómo se manifiesta?, ¿cómo afecta a la producción?, ¿cómo afecta al cliente?, ¿con qué frecuencia ocurre?, ¿cuántos gastos genera?. La idea de este paso es tener todo detallado por escrito para tener claro cómo era el proceso antes de la mejora.
2. **Buscar todas las posibles causas:** Los miembros del equipo de mejora deben cuestionarse el por qué ocurren los problemas para poder llegar a la causa raíz de cada uno y no quedarse solo en los síntomas que producen.
Las técnicas más comunes en este paso son la lluvia de ideas, los cinco porqués y el diagrama de Ishikawa.
3. **Investigar cuál es la causa más importante:** Una vez identificadas todas las posibles causas a los problemas, es necesario jerarquizarlas en base a criterios claramente definidos por los miembros del equipo de mejora. Estos criterios deben ir de la mano con los objetivos del proyecto.
4. **Considerar las medidas remedio:** Se buscan medidas que eliminen las causas de los problemas de manera total o parcial. Estas medidas deben estar enfocadas a evitar que se sigan presentando los problemas y no solo a eliminarlos de manera temporal.
Se debe tener especial cuidado en que las medidas remedio no generen otros problemas o, si es imposible eliminarlos, reducirlos al mínimo.
En este paso se debe establecer de manera clara el cómo se van a implementar estas medidas.
5. **Poner en práctica las medidas remedio:** Se ejecuta al pie de la letra el plan del paso anterior. También es importante involucrar a todas las personas afectadas por el cambio en el proceso de implementación. Así pueden conocer los objetivos del proyecto de mejora, aprenden a implementar los cambios y, lo más importante, se hacen parte del cambio.
6. **Revisar los resultados obtenidos:** Luego de un tiempo considerable después de la implementación de las medidas remedio, se contrastan los

resultados obtenidos con los esperados.

Para esto se suelen usar distintas técnicas estadísticas.

7. **Prevenir la recurrencia del problema:** Si se obtuvo un buen resultado se estandarizan las mejoras como la nueva forma de hacer las cosas y se implementan medidas para mantener estos cambios. Si no se obtuvo un buen resultado es necesario analizar todo lo hecho durante el proceso, aprender de él, documentarlo y volver al primer paso.
8. **Conclusión:** En este último paso se debe documentar de manera detallada lo que se hizo y se logró durante el proyecto. Si quedaron problemas pendientes por solucionar, o se descubrieron nuevos en el camino, se pueden enlistar y agregar algunos comentarios para abordarlos a futuro. Algunos de estos problemas también se pueden considerar para reiniciar el ciclo.

2.3. Gestión del cambio

Un factor muy importante cuando se hace un cambio en un proceso, factor al cual no se le suele dar la importancia debida, es el cómo los cambios afectan a las personas involucradas. Si las personas que participan del proceso no están informadas del cambio o de acuerdo con él, se dificulta con creces la tarea de la implementación.

No existe una receta única para tratar la gestión del cambio, pero a lo largo de los años se han encontrado patrones de comportamiento comunes entre las personas que se enfrentan a un cambio que han permitido definir algunas pautas y definiciones útiles para abordar esta situación.

Cabe destacar que la gestión del cambio tiene mucha influencia en el ámbito psicológico y conductual de las personas, por lo que es un tema complejo de tratar, ya que tiene muchos factores subjetivos que influyen en él.

A continuación se detallan distintos factores que influyen en la gestión del cambio.

2.3.1. Tipos de cambio

Las características propias de un cambio también influyen en la manera en la que se pueden comunicar a los participantes de un proceso.

- **Cambios adaptativos:** Son cambios en la relación que tiene una organización con su entorno. Suelen ser causados por fuerzas externas más que internas [12]. Existen distintos factores que obligan a las organizaciones a cambiar para adaptarse o, de lo contrario, pueden terminar desapareciendo. La globalización es un claro ejemplo de este tipo de cambios.
- **Cambios evolutivos:** Son cambios pequeños y graduales en la manera de hacer las cosas dentro de una organización. Por lo general estos cambios se hacen para adaptar la producción a una mejor manera de hacer las cosas sin afectar considerablemente el producto en si.
- **Cambios revolucionarios:** Estos cambios se caracterizan por ser rápidos y dramáticos. Son cambios que modifican las bases de una organización para reestructurarla.

El no cambiar también es una posibilidad dentro de una organización. Cuando una empresa no hace ningún cambio a lo largo del tiempo esta tiende a desaparecer, ya que, al ser parte de un mercado dinámico, es ahogada por la competencia.

2.3.2. Triple coherencia

Los humanos son seres sumamente complejos, no se pueden encasillar a todos de la misma manera porque cada uno es un mundo. Dentro de este contexto, existen modelos de formación que postulan que los humanos son un conjunto de aspectos lingüísticos, emocionales y corporales y que a partir de la integración coherente de estos aspectos se logra la transformación individual que incide en los cambios organizacionales [6].

Así, se busca generar transformaciones conductuales en estos tres aspectos de las personas involucradas en un cambio para lograr una renovación efectiva a nivel personal que sea beneficioso para la organización.

- **Emoción:** Los humanos no solo son seres lógicos, también son muy emocionales, y esto es un factor que no siempre se considera a la hora de hacer un cambio. Los objetivos de un equipo de trabajo que busca implementar cambios o mejoras en una organización por lo general solo piensan en números, tiempo ganado, niveles de productividad de las máquinas, etc. Pero no consideran el cómo se puede sentir, por ejemplo, un operador de la máquina que se quiere renovar al respecto. No se toma en cuenta el cómo se va a sentir que le cambien la máquina que lleva operando quizá por años.
Este tipo de situaciones también son importantes a considerar, ya que, si el operador no se siente cómodo con la nueva máquina, sus niveles de productividad serán considerablemente más bajos de lo normal y eso no será beneficioso para la organización.
- **Lenguaje:** Se dice mucho que el lenguaje crea realidades, más allá de lo que se dice, el cómo se dice algo puede generar una gran diferencia en el cómo se va a sentir el receptor del mensaje. Por esto, es de suma importancia planear bien el cómo se va a comunicar algo a una persona.
- **Cuerpo:** El lenguaje corporal es igual de importante que el verbal al momento de comunicar algo. Lo ideal es demostrar relajo y seguridad con el cuerpo para hacer sentir bien a la otra persona.

Si lo que se busca es lograr una buena comunicación para tener una respuesta positiva del receptor, se tienen que tener en consideración estos tres elementos y su correcto equilibrio.

2.3.3. Reacciones frente al cambio

Las distintas reacciones que puede tener una persona frente al cambio van de la mano con la triple coherencia de la emoción, el lenguaje y el cuerpo. Existen dos niveles en los que una persona puede reaccionar:

- **Emotiva:** La persona experimenta cambios emocionales por la situación.
- **De comportamiento:** Los cambios en la organización inevitablemente implican hacer las cosas de manera diferente, es decir, un cambio de comportamiento. [3]

2.3.4. Resistencia al cambio

Dependiendo de cómo se sienta la persona con los cambios puede generar distintos tipos de resistencia.

- **Emocional:** *NO QUIERO.*

Esto nace del miedo al cambio o del no querer invertir tiempo ni esfuerzo en salir de su zona de confort.

Lo ideal es involucrar a la persona en el cambio desde las etapas más tempranas de este y transmitirle seguridad respecto a la nueva forma de hacer las cosas.

- **Conductual:** *NO PUEDO.*

Nace de la inseguridad de las personas a si serán capaces de hacer las cosas de nueva manera.

La idea para paliar esta inseguridad es tener un buen plan de capacitación que tranquilice a los involucrados respecto a los cambios. Otra opción es evaluar o reorganizar los roles de la actividad involucrada en el cambio.

- **Cognitiva:** *NO CONOZCO.*

Esto se genera por el desconocimiento del cambio en si. Por lo general las personas que no están enteradas de por qué se están haciendo cambios tienden a resistirse porque piensan que no son necesarios. "Hemos hecho siempre las cosas así, ¿por qué cambiar ahora?".

Lo ideal en estos casos es tener un buen plan de comunicación que explique claramente las razones del cambio, sus objetivos, sus etapas y la visión a la que se quiere llegar.

2.3.5. Fases de la transición personal: *Paseo en montaña rusa*

Desde antes de que inicien los cambios en una organización hasta que ya se están haciendo las cosas de manera nueva, las personas pasan por distintos estados emocionales que influyen fuertemente en el éxito o fracaso del proyecto. Estos estados emocionales confusos y variados se suelen comparar de manera metafórica con un paseo en montaña rusa:

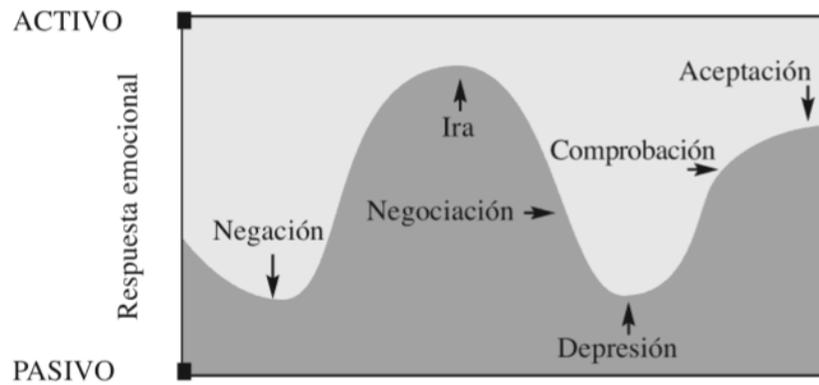


Figura 2.1: Respuesta emocional frente a un cambio. [16]

1. **Sujetarse:** Las personas no quieren cambiar su manera de hacer las cosas, quieren permanecer en su zona de confort. Esa sensación se compara a cuando alguien ya está en el asiento de la montaña rusa y siente nervios antes de que se comience a mover.
2. **El paseo en la montaña rusa:** Esta es la etapa más difícil, en la cual las personas están en proceso de adaptación. Se reconoce de mejor manera la necesidad de cambiar, pero emocionalmente se sigue añorando el pasado.

Las personas pasan por algunas o todas las etapas que se muestran en la figura 2.1.

3. **Experiencia y compromiso:** Una vez que se aceptan los cambios es posible comenzar con las verdaderas mejoras. Las personas se vuelven a sentir parte de sus funciones y crean una nueva zona de confort.

2.3.6. El proceso del cambio: *El valle de la muerte*

Cuando se implementa un cambio y se busca llegar de un estado actual a un estado deseado, se tiene que pasar por un tiempo de adaptación. Por lo general esto provoca bajas tanto en la productividad como en las utilidades u otros aspectos de la organización. A este fenómeno se le conoce como "valle de la muerte".

Se le llama de esta manera ya que mientras más tiempo dure este período en el que la productividad está por debajo de lo que era inicialmente, mayores son las probabilidades de que el proyecto de mejora falle o, peor aún, que la empresa cierre por no poder sobrellevar la situación.

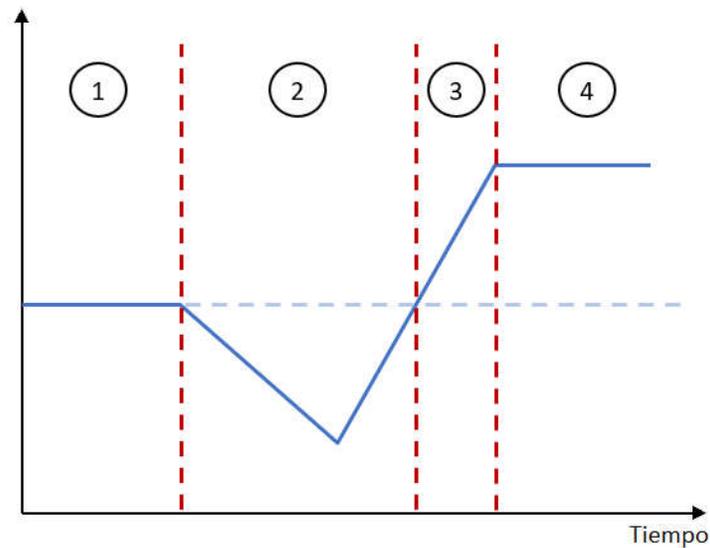


Figura 2.2: Representación gráfica del valle de la muerte.

En la figura 2.2 se distinguen cuatro etapas importantes en el proceso de cambio:

1. *Estado inicial de funcionamiento*: El cómo eran las cosas antes del cambio. Las personas están acostumbradas a este estado.
2. *Transición: valle de la muerte*: El cambio desestabiliza el funcionamiento de la empresa y las utilidades y/o productividad son menores a como eran inicialmente. Las personas pueden llegar a sentir que el cambio está perjudicando a la organización, lo que también es un factor agravante para el éxito del proyecto.
3. *Transición: mejora*: Los niveles de utilidades y/o productividad logran ser mejores de lo que eran inicialmente pero aún no se logra el estado deseado. Las personas empiezan a sentirse más tranquilas respecto

al cambio y se muestran cada vez más optimistas sobre alcanzar los objetivos del proyecto.

4. *Estado deseado*: Finalmente se llega al estado deseado de mejora y se estabilizan las utilidades y/o la productividad. Esto se establece como una nueva normalidad para la organización y puede ser la línea base para futuras mejoras.

El eje vertical del gráfico de la figura 2.2 puede representar niveles de producción, flujo de caja o algún otro factor que se comporte de esta manera.

Pasar por el valle de la muerte es algo inevitable al implementar un cambio de cualquier tipo. El objetivo de las organizaciones es lograr que esta parte de la curva sea lo menos profunda y lo más corta posible para disminuir las pérdidas.

2.3.7. 8 pasos del cambio efectivo organizacional de John Kotter

John Paul Kotter (1947) es un afamado profesor de la escuela de negocios de Harvard en Boston, Estados Unidos. Es reconocido como un gurú en el ámbito del liderazgo y la gestión del cambio.

En su libro *“Leading Change”* explica por qué los esfuerzos por generar cambios en una organización fallan. En base a los errores que él vio como recurrentes al momento de implementar un cambio, definió *“Ocho pasos para transformar tu organización”*. Estos pasos son los siguientes:

1. **Establecer un sentido de urgencia**: Analizando el mercado, la situación competitiva de la compañía, las tendencias en los avances tecnológicos y el desempeño financiero se pueden encontrar potenciales problemas u oportunidades de mejora para la organización. La idea es comunicar estos hallazgos de manera dramática para conseguir la cooperación de las personas. Sin motivación, las personas no van a ayudar y los esfuerzos se verán desperdiciados.[11]
2. **Formar un grupo de trabajo poderoso**: Se debe formar un grupo poderoso de personas que trabajen en equipo y sean capaces de liderar los esfuerzos del cambio.

3. **Crear una visión:** Se debe definir un norte claro al cual se quiera llegar para dirigir todos los esfuerzos y estrategias en esa dirección.
4. **Comunicando la visión:** La manera en la que se transmita la visión del proyecto es de suma importancia para generar interés en las personas. Si la comunicación es débil o poco creíble, los corazones y las mentes de las personas no estarán en sintonía con los cambios. El grupo que lidera el cambio debe utilizar todos los canales de comunicación que tenga a su alcance para comunicar la visión de la mejor manera posible, siendo muy cuidadosos tanto en el lenguaje verbal como en el no-verbal.
La comunicación de la visión puede llegar a ser incluso más difícil que la creación de la misma.
5. **Empoderar a los demás para actuar según la visión:** Una vez que la visión del cambio fue interiorizada por la organización, se debe comenzar a actuar en consecuencia.
Se deben remover los obstáculos que impiden lograr los cambios, aunque esto implique tomar riesgos y recurrir a métodos no tradicionales. Las personas deben arriesgarse a salir de su zona de confort para lograr el cambio juntos.
Si los obstáculos son muchos, la idea es atacar los más grandes y luego trabajar los pequeños.
6. **Planificar para lograr resultados a corto plazo:** Los grandes cambios toman tiempo, pero no todas las personas lo ven así, algunos solo se quedan en lo inmediato y eso les impide ver los beneficios de un gran cambio. Generar resultados a corto plazo hace que las personas renueven o ganen motivación para lograr alcanzar el objetivo final.
7. **Consolidar las mejoras y producir aún más cambios:** Se debe tener cuidado con confundir una pequeña victoria con el logro absoluto de los objetivos. Cantar victoria antes de tiempo puede ser fatal para el desarrollo del proyecto, ya que, luego de pensar que se logró el proyecto, se ve una tendencia de las organizaciones a volver lentamente a como eran antes.
El grupo líder debe apoyarse en los logros a corto plazo para ganar credibilidad y atacar cambios más grandes. Así los cambios son paulatinos

y las personas pueden integrarlos de mejor manera a sus rutinas de trabajo.

8. **Institucionalizar los nuevos enfoques:** La idea es transformar "la nueva manera en la que se hacen las cosas" en "la manera en la que se hacen las cosas". Las personas deben sentir que los cambios son algo permanente y no solo algo temporal que hicieron para terminar el proyecto.

La clave para lograr este cambio de mentalidad es la comunicación. El grupo líder debe asegurarse de que los beneficios de la manera en la que se trabaja ahora son visibles, importantes y satisfactorios. Si eso se llega a perder, las personas tendrán una tendencia a volver a su antigua zona de confort.

2.4. Lean

Dentro del estilo de pensamiento que envuelve la cultura de la mejora continua, se encuentra la metodología *Lean*, que en español significa "*esbelto*". Su objetivo es reducir las actividades que no agregan valor en los procesos para así disminuir los reprocesos y los tiempos de ciclo, ahorrar costos e incrementar la productividad [8].

Esta metodología tiene su origen en la empresa japonesa Toyota, donde Taiichi Ohno (1912-1990), ejecutivo de la empresa, desarrolló el **Sistema de producción Toyota**. El TPS, por sus siglas en inglés, es un sistema de producción que funciona como un sistema de control de cantidad, fundado sobre una base de control de calidad, que tiene como objetivo la reducción de costos, y el medio para reducir los costos es la eliminación absoluta de los desechos [17]. Este sistema fue creado bajo dos pilares fundamentales:

1. **JIT:** Tal como lo refleja su significado de "*Justo a tiempo*", por sus siglas en inglés "*Just in time*", es una técnica que busca producir la cantidad justa, en el tiempo y lugar correcto. Esto es más que un simple control de inventario, es también una manera de controlar las cantidades que se producen y la variabilidad que se genera.
2. **Jidoka:** Es una técnica que busca impedir que los productos defectuosos avancen en la línea de producción mediante el trabajo en conjunto

de personas y máquinas automatizadas. Por lo general, se implementan pantallas a lo largo de la línea de producción para indicar si existe alguna falla durante el proceso y dónde.

Este trabajo conjunto permite detectar errores, repararlos y luego buscar la causa raíz del problema que causó la falla para que no vuelva a ocurrir.

Se suele hablar indistintamente de Lean o TPS porque, en esencia, apuntan a lo mismo. Pero existe una gran diferencia entre ambas metodologías, y es que la empresa Toyota tenía ya una fuerte cultura en torno a la calidad cuando se creó el TPS. Esto hace que la técnica tenga un enfoque más hacia el control de cantidad que al control de calidad. Por otra parte, Lean, al ser algo más general y no solo aplicado al contexto de Toyota, no asume que la empresa en la que se implementará la metodología tiene ya una cultura en torno a la calidad, así que busca establecer esa base antes de preocuparse por el control de cantidad.

Al final, ambas metodologías son fuertes filosofías de manufactura que apuntan a mejorar el funcionamiento de la empresa en la cual se apliquen. Además de esto, las herramientas que se utilizan en cada caso son prácticamente las mismas.

2.4.1. Mudanças

El término *muda* es una palabra japonesa que significa *pérdida* o *desperdicio*. En Lean se usa este término para referirse a todas las actividades dentro del proceso que no agregan valor.

Para detectar la presencia de mudanças dentro del proceso se suele analizar el *flujo de valor*. En términos simples, el flujo de valor es un esquema que refleja todas las acciones que se realizan para lograr un producto.

Como todas las actividades están registradas en el flujo de valor, este también sirve para visualizar las actividades que si agregan valor. Esta información se puede utilizar para optimizar dichas actividades y así sacar un mayor provecho de los recursos.

Existen dos tipos de mudas que se pueden presentar en un proceso:

- **Muda tipo 1:** Actividades que no agregan valor ante los ojos del cliente, pero son necesarias dentro del proceso. Un ejemplo claro de este tipo de mudas son las actividades de inspección.
- **Muda tipo 2:** Actividades que no agregan valor frente a los ojos del cliente y que no son vitales para el proceso, por lo tanto, lo ideal es buscar cómo eliminarlas. Un caso clásico de este tipo de muda es gastar tiempo y recursos en hacer un informe que nadie va a leer.

Taiichi Ohno definió siete tipos de actividades en las que se pueden generar desperdicios:

1. **Transporte:** El movimiento de materiales e información en distintos puntos del proceso pueden generar una pérdida importante de recursos si no se planifican de la mejor manera.
2. **Espera:** Son los llamados *tiempos muertos* en los que los trabajadores no están trabajando, ya sea por fallas o por mala planificación de los tiempos. La idea es intentar eliminar estos tiempos de espera o, en su defecto, reducirlos al mínimo.
3. **Sobreproducción:** Al estar en un mercado dinámico, producir más de lo necesario puede provocar que los productos queden obsoletos antes de ser vendidos. Además, la sobreproducción genera desperdicios en las otras seis actividades.
4. **Partes defectuosas:** Existen dos opciones cuando se genera una parte defectuosa: reparar o rechazar. En cualquiera de los dos casos se pierde tiempo, material y mano de obra para lograr tener un producto de calidad.
5. **Inventario:** Esto es un desperdicio en si. Tener cualquier tipo de capital detenido implica espacio ocupado y el deterioro de los materiales.
6. **Movimiento:** A diferencia del transporte, estos desperdicios son los asociados al movimiento innecesario de las personas. Esto puede deberse a la falta de materiales o herramientas en el lugar de trabajo, a una mala distribución del espacio o a otros factores.

7. **Sobreproceso:** Esto se refiere a la realización de trabajo innecesario de cualquier tipo. Estos pueden ser, papeleo excesivo, reparaciones, piezas redundantes, entre otros.

2.4.2. Kanban

El término *kan ban* significa *tarjeta* o *letrero* en japonés. Es una herramienta de gestión visual que ayuda a verificar el estado de las máquinas, materiales o de la producción de manera clara usando tarjetas, letreros, marcas o pantallas dispuestas a la vista de todos. El objetivo de esto es identificar de manera clara el flujo de materiales e información a través del proceso.

Uno de los precursores de este concepto fue el sistema "*Pull*", cuya traducción del inglés es *jalar*. A finales de la segunda guerra mundial, un grupo de ingenieros japoneses de Toyota viajaron a Estados Unidos para analizar cómo funcionaba su industria. Se dieron cuenta que en los supermercados estadounidenses, los trabajadores ponían especial atención en los productos que a diario compraban los clientes solo con ver los espacios vacíos que quedaban en las estanterías. Este espacio vacío en las estanterías era un indicador para reemplazar un determinado producto. Los japoneses llegaron a la conclusión de que era el cliente quien impulsaba la producción al dejar en claro la demanda de productos. De esta manera nace el concepto de *Pull*.

Usando ambos conceptos en conjunto, el cliente es el que da la señal para iniciar las operaciones de producción y el *kanban* indica con señales claras las actividades que se deben realizar para cumplir con la demanda.

2.4.3. 5S

Es una herramienta enfocada a la mejora del espacio de trabajo y la seguridad. Las S's vienen de la letra inicial de cada etapa en japonés [3]. Las etapas son las siguientes:

1. **Seiri:** *Simplificar*
En el área de trabajo debe estar solo lo esencial, todo lo que no sea necesario para realizar el trabajo de ese puesto debe irse.
2. **Seiton:** *Organizar*
Cada cosa debe tener un lugar específico y claro donde ser guardado.

3. **Seiso:** *Limpiar*

El espacio de trabajo debe estar siempre limpio. Esto no quiere decir limpiar de más, si no, limpiar mejor.

4. **Seiketsu:** *Estandarizar*

Se tienen que mantener las condiciones establecidas en los tres puntos anteriores. Se deben diseñar y comunicar los estándares para que sean entendidos por todos los participantes.

5. **Shitsuke:** *Disciplinar*

Los cuatro puntos anteriores deben ser interiorizados y respetados por todas las personas involucradas.

2.5. Seis Sigma

Sigma (σ) es la letra griega que se utiliza en estadística para denominar la desviación estándar. En un proceso, el nivel de sigmas es una forma de describir qué tan bien la variación del proceso cumple las especificaciones o requerimientos del cliente [8].

Seis Sigma es una estrategia de mejora continua que tiene como objetivo reducir la variabilidad de los procesos, tomando como referencia las necesidades del cliente. Para lograr reducir la variabilidad, esta estrategia se apoya en diferentes herramientas específicamente diseñadas para detectar y eliminar las causas que provocan errores, defectos o retrasos.

Muchas veces se habla de *Lean-6 σ* como una sola estrategia. Esto es porque, aunque son distintas, usarlas en conjunto genera resultados mucho mejores que los esperados utilizando solo una. Solo se debe tener el cuidado de aplicar Lean y luego Seis Sigma, ya que Lean limpia el proceso y Seis Sigma disminuye la variabilidad de este. Si se aplicaran al revés, se estaría bajando la variabilidad de un proceso con actividades que no agregan valor, desperdiciando esfuerzos en ellas.

2.5.1. Aplicación de Seis Sigma

Para implementar esta estrategia en una organización, se suelen usar dos metodologías dependiendo del caso:

- **DMEDI:** *Define, Measure, Explore, Develop, Implement*
Se utiliza para diseñar procesos nuevos desde la mirada de Seis Sigma. Su significado es una abreviación para reflejar cada etapa de diseño. En español, estas etapas son definir, medir, explorar, desarrollar e implementar.
No se detallará cada etapa ya que no es relevante para este trabajo de memoria.
- **DMAIC:** *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*
Se utiliza para arreglar o mejorar un proceso ya existente desde la mirada Seis Sigma. Al igual que la metodología anterior, su significado es una abreviación para reflejar cada etapa, pero en este caso, del ciclo de mejora continua. En español estas etapas son definir, medir, analizar, mejorar y controlar.
Más adelante se detallará cada etapa.

2.5.2. Principios de un proyecto

Existen doce características o principios de un proyecto Seis Sigma:

1. **Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo:** Un programa Seis Sigma debe ser comprendido y respaldado por todos los involucrados en una organización, desde el cargo más importante hasta el más básico.
2. **El equipo de trabajo debe ser de tiempo completo:** Los directivos de un proyecto Seis Sigma deben estar completamente dedicados a él, con roles claramente definidos. Los roles más comunes dentro del equipo directivo son los siguientes:
 - **Líder ejecutivo:** Es la persona que lidera el equipo de trabajo. Ocupa un cargo de muy alta jerarquía dentro de la organización. Cuenta con gran experiencia dentro del mundo empresarial.
 - **Champions:** Se le llama *campeones* a los directivos de mediano y alto rango que seleccionan, patrocinan, revisan, apoyan y brindan seguimiento a los proyectos Seis Sigma.
 - **Master black belt:** Los *maestros cinturones negros* son los entrenadores de los *black belt* y los *green belt*. Tienen un amplio

conocimiento, tanto práctico como técnico, de Seis Sigma. Se dedican tiempo completo a esta metodología.

- **Black belt:** Los *cinturones negros* son personas completamente dedicadas a Seis Sigma. Su rol dentro del equipo es aportar los conocimientos técnicos de la metodología. También se encargan de liderar, impregnar y mantener la cultura de mejora dentro del proceso.
 - **Green belt:** Los *cinturones verdes* son personas dedicadas de manera parcial a Seis Sigma con amplio conocimiento técnico. Su rol dentro del equipo de trabajo tiene que ver netamente con su área.
 - **Yellow belt:** Los *cinturones amarillos* son los propietarios del problema que se está atacando con el proyecto. Como son los más involucrados en el área del problema, son los encargados de recopilar datos, desplegar información y de ir controlando los cambios que se hagan a lo largo del proyecto.
3. **Entrenamiento:** Los participantes clave del equipo de trabajo deben contar con una capacitación previa según su grado. Esto se detalla en la tabla 2.2. Muchos de ellos tienen en común la necesidad de completar el *currículo de un black belt* que, en palabras simples, consiste en recibir un entrenamiento de cinta negra durante el desarrollo de un proyecto Seis Sigma.
 4. **Acreditación:** Los participantes clave del equipo de trabajo, que recibieron su respectivo entrenamiento, deben aprobar los requisitos detallados en la tabla 2.2 para su nivel. Ya que Seis Sigma no es un programa de capacitación, las formas de acreditar estos cargos no son únicas. En algunos casos simplemente basta con comprobar la participación en proyectos Seis Sigma o demostrar el entrenamiento black belt recibido, ya que lo importante es que la persona tenga los conocimientos y/o la experiencia necesaria para desempeñar su función.
 5. **Importancia del cliente y los procesos:** Todas las mejoras que se hagan en el proceso deben ir orientadas a cumplir con los requerimientos del cliente y estar alineadas con el nivel de calidad Seis Sigma.

Tabla 2.2: Capacitación y acreditación de los participantes del equipo de trabajo Seis Sigma. Fuente: Extracto de Gutiérrez Pulido [7] con leves modificaciones.

Nombre	Capacitación a recibir	Acreditación
Líder de implementación	Liderazgo, calidad, conocimiento estadístico básico (pensamiento estadístico); entendimiento del programa 6σ y de su metodología (DMAIC).	
Champions y/o patrocinadores	Liderazgo, calidad, conocimiento estadístico básico, y un buen entendimiento del programa Seis Sigma, así como de su metodología de desarrollo de proyecto (DMAIC).	Aprobar examen teórico-práctico acerca de las generalidades de 6σ y el proceso DMAIC.
Master black belt (MBB)	Requieren amplia formación en estadística y en los métodos de 6σ (de preferencia Maestría en estadística o calidad), y recibir el entrenamiento BB.	Haber dirigido cuando menos un proyecto exitoso y asesorado 20 proyectos exitosos. Aprobar examen teórico-práctico acerca de currículo BB y aspectos críticos de 6σ .
Black belt (BB)	Recibir el entrenamiento BB con una base estadística sólida.	Haber dirigido dos proyectos exitosos y asesorado cuatro. Aprobar examen teórico-práctico acerca del currículo BB y aspectos críticos de 6σ .
Green belt (GB)	Recibir el entrenamiento BB.	Haber sido el líder de dos proyectos exitosos. Aprobar examen teórico-práctico acerca de currículo BB.
Yellow belt	Cultura básica de calidad y entrenamiento en herramientas estadísticas básicas, DMAIC y en solución de problemas.	Haber participado en un proyecto. Aprobar examen teórico-práctico acerca del entrenamiento básico que recibe.

6. **Basado en datos:** La base estadística de la estrategia Seis Sigma es fundamental para reflejar, tanto el estado inicial del proceso, como el cambio que se genera con las mejoras.
7. **Metodología robusta:** La metodología DMAIC que se utiliza ayuda a darle interpretaciones sólidas a los datos recogidos a lo largo del desarrollo del proyecto.
8. **Entrenamiento para todos:** La implementación de un proyecto Seis Sigma es, además de una mejora para la organización, una instancia en la cual todos los participantes aprenden distintas herramientas de

mejora de manera técnica, gracias a los miembros del equipo con mayor conocimiento, y práctica, gracias a la aplicación en sí.

9. **Realmente se generan mejoras:** Los cambios logrados generan mejoras visibles, como ahorros en algunas partes del proceso o el aumento de las ventas. Esto se debe a que la estrategia Seis Sigma genera cambios profundos y duraderos en el tiempo.
10. **El trabajo es reconocido:** Los participantes de un proyecto Seis Sigma son reconocidos por sus logros dentro de la organización una vez finalizado el proyecto. A veces incluso los líderes del proyecto pueden ser reconocidos por su gestión por personas ajenas a la organización.
11. **Se deben considerar iniciativas presentes y futuras:** Los programas Seis Sigma deben tener en consideración las iniciativas estratégicas previas de la organización para aprender de ellas e incorporarlas en su desarrollo. De la misma manera, si se inicia otro proyecto de mejora de cualquier tipo durante el transcurso del proyecto Seis Sigma, se debe buscar una manera para alinear el trabajo y complementar los esfuerzos.
12. **La comunicación es fundamental:** Diseñar un programa de comunicación adecuado es primordial para generar comprensión apoyo y compromiso, tanto dentro como fuera de la organización. Mediante una comunicación adecuada de los cambios y los resultados, se busca que las personas de la organización incorporen la nueva manera de hacer las cosas a su rutina.

2.6. Metodología DMAIC

Cada etapa de este ciclo tiene diferentes herramientas que se pueden utilizar dependiendo del enfoque que tenga el proyecto de mejora. A continuación se detalla más cada una de ellas, ahondando en las herramientas que serán aplicadas en los siguientes capítulos.

2.6.1. D - Definir

En esta primera etapa se debe dejar claramente establecido, a través de distintas herramientas, el por qué es urgente realizar el proyecto, cuales serán

sus objetivos, cuál será el equipo de trabajo, qué beneficios traerá realizar los cambios sugeridos y qué métricas se usarán para medir los avances.

También es importante describir cómo funciona realmente el proceso que se quiere cambiar para tener un punto de comparación al terminar el proyecto.

- **Project charter:** *Marco del proyecto.* Es un resumen de los elementos más importantes del proyecto. Al leerlo, tiene que quedar claro de qué se trata el proyecto, sus objetivos, quienes participan de él, fechas o plazos importantes, beneficios esperados, métricas/hipótesis a verificar, entre otros. [3]
- **Plataforma en llamas:** Describe el por qué es urgente realizar un cambio en el proceso, argumentando de manera dramática por qué no se puede seguir funcionando en el estado actual. Esto ayuda a que las personas involucradas en el proceso vean el cambio como algo inevitable y se preparen mentalmente para enfrentarse a él.
- **FODA:** Es una herramienta de gestión del cambio que analiza cuatro áreas de un proyecto. Dos de estas son internas, que son Fortalezas y Debilidades, y dos externas, que son Oportunidades y Amenazas. [3]
- **SIPOC:** Es un diagrama de flujo que ayuda a ver de manera clara los elementos clave de un proceso. Este va desde los proveedores, que es antes de que inicie el proceso, pasando por los elementos que entran al proceso, el proceso en sí, las salidas de este y finalmente los clientes.
- **Proceso “As is”:** *Tal cual es.* Describe el cómo se realiza el proceso en la práctica, no como se describe teóricamente.
- **VOC:** La *voz del cliente* consiste en hablar, directa o indirectamente, con el cliente para conocer cómo ve él el proceso, saber si tiene alguna necesidad específica o solo recibir su opinión. La información recopilada se ordena, se extraen los asuntos clave y, en base a eso, se definen los *requerimientos críticos del cliente*.
- **CCR:** Es equivalente a la *voz del cliente*, pero, a diferencia del anterior, los *requerimientos críticos* del cliente son indicadores que se pueden medir.

- **Análisis de interesados:** Esta herramienta está compuesta por una serie de matrices en las que se analiza en profundidad la influencia de los agentes involucrados en el proceso y cómo estos pueden afectar en los cambios que se necesitan para mejorar el proceso. Se hace un listado de los involucrados, se analiza su interés en los cambios, su nivel de poder en el proceso, su posible resistencia al cambio y cómo su comportamiento puede afectar de manera positiva o negativa al proceso de mejora.
- **Plan de comunicación:** Una vez que se identificó a las personas interesadas, es necesario planificar el cómo y cuándo se les van a comunicar los cambios para generar un compromiso en cada una.

2.6.2. M - Medir

En esta segunda etapa se debe cuantificar la situación utilizando las métricas establecidas en la etapa anterior.

- **Listado de desperdicios priorizados:** Para poder atacar los problemas en un proceso, primero hay que identificarlos. Esta herramienta enlista los problemas detectados y los clasifica dependiendo del impacto que tienen en el proceso.
- **Listado de métricas:** Se toman las hipótesis planteadas en el *Project charter* y se desglosan en un Árbol de métricas para ver cómo se relacionan entre sí. Luego, en la etapa de Analizar, se podrá verificar la influencia de cada hipótesis en el proceso.
- **Plan de medición:** Se define el cómo se medirán las hipótesis planteadas anteriormente. Debe ser lo más claro posible, para que cualquier persona sea capaz de replicarlo.
- **Linea base:** Se mide cada métrica en base al *Plan de medición* que le corresponde para contar con un primer diagnóstico de la situación actual del proceso.
- **Diagrama de spaghetti:** Es una herramienta que puede reflejar el flujo de materiales, personas o información dentro de un espacio. Con esto se pueden ver gráficamente los flujos dentro de un sistema y así identificar donde se está desperdiciando tiempo y energía. Esto puede

permitir identificar en qué parte del espacio o del proceso se pueden realizar mejoras. [3]

2.6.3. A - Analizar

En la tercera etapa se identifican las causas raíces de el o los problemas que se encontraron. Se tiene que llegar a comprender el cómo y por qué se generan los problemas, llegando a sus causas más profundas y confirmarlas con datos [8].

- **Ishikawa:** También conocido como *Espina de pescado*, es un diagrama que relaciona de manera gráfica un problema o efecto con sus posibles causas raíces. Para ello, se realiza primero una lluvia de ideas entre un grupo de personas relacionadas a la situación que se aborda. Luego, se agrupan las posibles causas en la gráfica, formando una especie de espina de pescado. Existen tres maneras que son las más comunes para agrupar las posibles causas raíces:
 1. *6M*: Se agrupan las hipótesis en seis ramas, las cuales corresponden a seis elementos que definen el proceso en su generalidad y donde cada elemento agrega variabilidad al resultado. Estos seis elementos son: *mano de obra, materiales, métodos, medio ambiente, mediciones y maquinaria*.
 2. *Flujo del proceso*: La línea principal del diagrama sigue las etapas que definen el proceso y sobre eso se agregan las hipótesis.
 3. *Estratificación de causas*: Esta manera de agrupar las hipótesis tiene como objetivo atacar de manera directa las principales causas potenciales, ya que se agrupan las posibles causas raíces por similitud.
- **Pareto:** El principio de Pareto establece que el 80 % de los problemas, puede solucionarse atacando el 20 % de las causas. En la metodología DMAIC, este principio por lo general se aplica sobre las hipótesis planteadas en el *Diagrama de Ishikawa* para validar los supuestos planteados por el equipo. Así se pueden priorizar las posibles causas raíces según importancia.
- **5 porqués:** También llamado *Porqué-porqué*, es un diagrama que consiste en tomar una causa raíz y preguntarse por qué suceden. Esta

pregunta se repite de tres a cinco veces, ramificando el diagrama, con el objetivo de encontrar la razón por la cual ocurre un problema.

2.6.4. I - Mejorar

Con las causas raíz identificadas, se debe elaborar e implementar un plan que solucione o corrija los problemas.

- **Ideas de mejora:** Tomando todos los análisis hechos en las etapas anteriores, se genera una lista mejoras. Estas deben ser evaluadas bajo distintos criterios para comprobar su viabilidad.
- **Matriz de priorización:** Es un método para priorizar las mejoras propuestas según costo e impacto (o beneficio). En esta matriz se generan cuatro cuadrantes, tal como se muestra en la figura 2.3, dependiendo donde se ubiquen las mejoras planteadas es la importancia que se les dará para abordarlas. Las mejoras ubicadas en el cuadrante verde son las más sustanciales, las ubicadas en el cuadrante rojo son las menos favorables y las que se encuentran en los cuadrantes amarillos deben ser evaluadas de manera independiente.

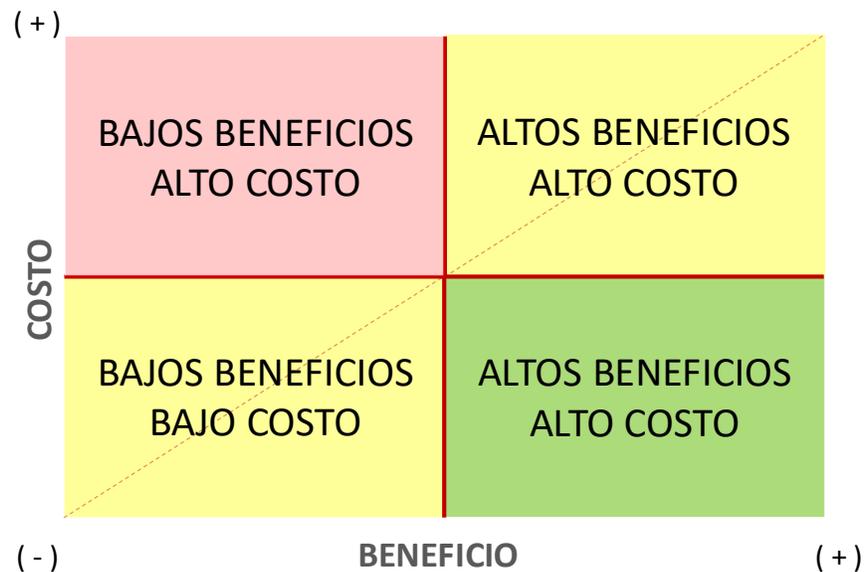


Figura 2.3: Matriz de priorización costo-beneficio y sus cuadrantes.

- **Propuesta de solución:** De la herramienta anterior, se obtienen las mejoras que serán implementadas en el proyecto. Se debe detallar de qué manera se van a llevar a cabo.

2.6.5. C - Controlar

Como el proyecto se cierra llegado a la etapa final, el equipo de trabajo se disuelve y son las personas estrechamente relacionadas con el proceso las encargadas de mantener las mejoras. Para asegurar que esto sea efectivo, el último trabajo del equipo es idear un **Plan de Implementación** y un **Plan de Control** que pueda ser seguido por estas personas.

Esta es una de las etapas más importantes del proyecto, ya que, si no se define un buen plan para mantener y controlar las mejoras, los cambios podrían perder fuerza y el proceso podría volver a como era antes. Perdiendo todo el trabajo del proyecto.

Como mínimo el sistema de control debe mantener el estado de mejora, asegurar que lo aprendido durante el proyecto no sea olvidado y motivar a las personas a seguir mejorando continuamente a partir de las nuevas condiciones.

En la tabla 2.3 se ejemplifican los elementos que debería tener una planilla para un Plan de Control. La primera sección de columnas del apartado *Control/Revisión* define el plan a seguir para controlar cada variable, el objetivo de la segunda sección de columnas es registrar cuando se realiza el control de una variable.

2.7. Gestión de la seguridad basada en el comportamiento

La seguridad es un factor fundamental en toda organización. Al buscar mejoras en los procesos, la seguridad de las personas siempre debe ser la prioridad principal al momento de tomar decisiones. Sin embargo, la conducta de las personas frente al trabajo es un factor clave para generar un entorno de trabajo seguro y prevenir accidentes.

Las personas, al igual que la sociedad, tienen un factor cambiante y subjetivo que hace difícil estudiar sus comportamientos desde ciencias como la estadística y la ingeniería. Sin embargo, desde la psicología, apoyada en la prevención de riesgos, es posible llegar a entender parte del comportamiento de las personas frente a la seguridad.

José Luis Meliá Navarro (1961) es un académico de la Universidad de Valencia en España, doctor en psicología y técnico superior en prevención de riesgos laborales. Él desarrolló la **Teoría Tricondicional del Comportamiento Seguro**, donde responde a la pregunta *¿Qué hace falta para que la gente trabaje seguro?*.

Antes de responder esta pregunta, es importante entender la prevención como un ciclo continuo de tres fases:

1. **Evaluación o diagnóstico:** Se realiza un análisis del estado actual de la seguridad, las fortalezas y debilidades que se tienen y se identifican los problemas que hay que tratar.
2. **Tratamiento o intervención:** Se planifica el cómo se van a abordar la situación y se ejecuta el plan.
3. **Valoración de resultados:** Se analizan los resultados obtenidos de la intervención y cómo afectaron los indicadores de seguridad. Se evalúa si se realiza una nueva intervención o si se hace un nuevo diagnóstico para volver a iniciar el ciclo.

Este ciclo, ilustrado en la imagen de la figura 2.4, es similar a un ciclo de mejora continua.

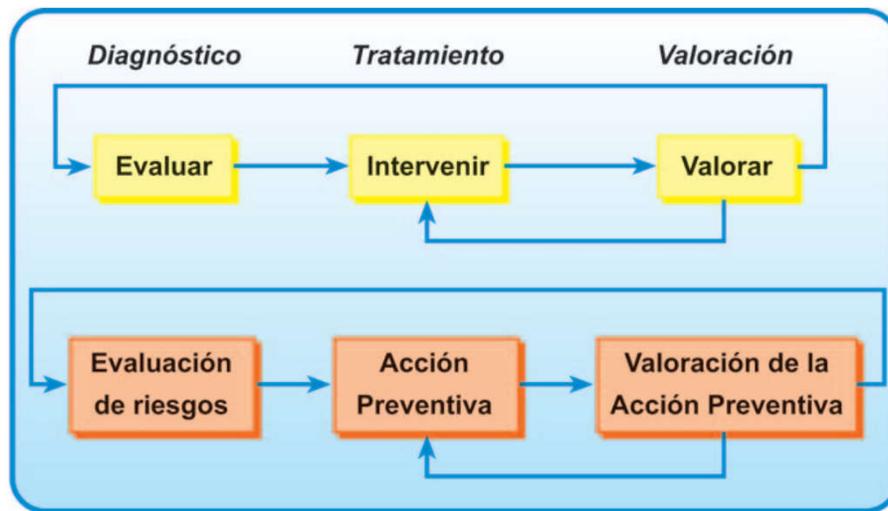


Figura 2.4: La prevención como un ciclo continuo de diagnóstico, intervención y valoración. [13]

Volviendo a la pregunta que plantea esta teoría, su respuesta se resume en tres condiciones fundamentales que se deben cumplir:

1. **Poder hacerlo (PH):** El entorno, las condiciones de trabajo, las máquinas y las herramientas deben ser razonablemente seguras. Además, se debe disponer de los EPP adecuados para cada persona respecto al trabajo que realiza.
2. **Saber hacerlo (SH):** La persona debe conocer los métodos seguros adecuados al trabajo que realiza, así como los riesgos asociados a este.
3. **Querer hacerlo (QH):** Este factor está ligado a la motivación de cada persona. Una persona puede estar o no motivada a trabajar de manera segura por la influencia de factores tanto internos como externos.

Estas condiciones son sumamente similares a las reacciones que puede tener una persona que se resiste a un cambio: *no puedo, no conozco y/o no quiero*.

Estas tres condiciones, además de ser necesarias en conjunto para que exista un trabajo seguro, son dependientes jerárquicamente una de la otra,

como se muestra en la imagen de la figura 2.5. Esto quiere decir que no se puede cumplir la condición SH sin que antes se cumpla la PH y no se puede cumplir la QH sin cumplir antes la SH.

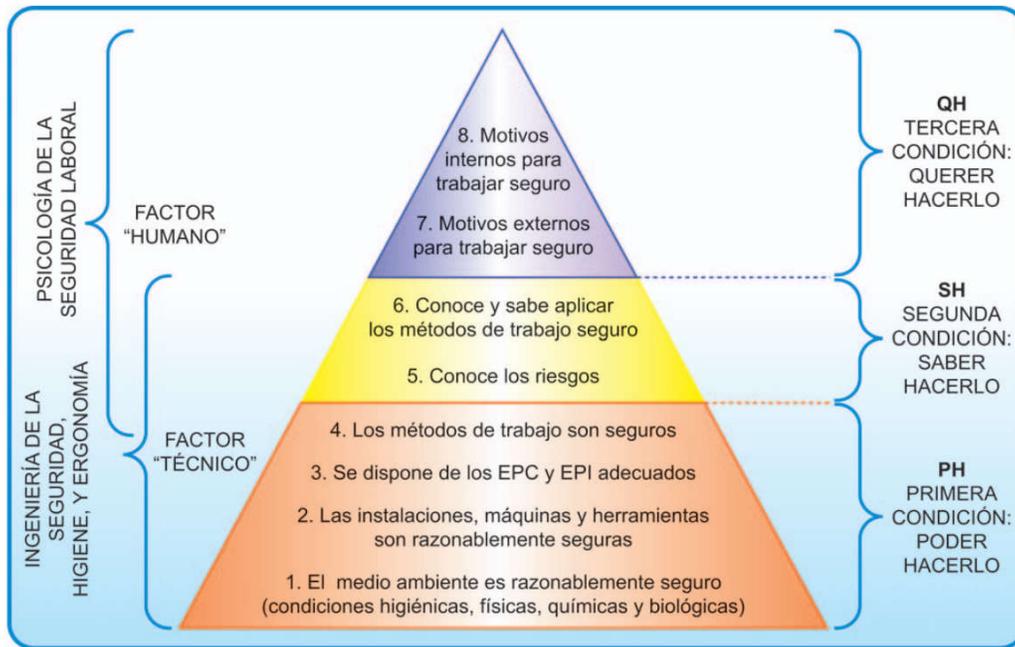


Figura 2.5: La teoría tricondicional como una aproximación jerárquica a la prevención. [13]

Además de definir cada etapa, Meliá identificó los factores de los cuales depende cada condición y las medidas de acción preventivas sugeridas para cada una, como se detalla en la gráfica en la figura 2.6.



Figura 2.6: Teoría tricondicional: Las tres condiciones para el trabajo seguro, factores de los que depende y grupos de medidas de acción preventiva implicadas. [13]

Para influir en la conducta QH, se debe tener el cuidado de no abusar de estímulos negativos, como culpar los trabajadores por los malos resultados en seguridad, ya que puede generar efectos negativos como inseguridad, culpa o miedo al castigo. Además, un accidente refleja que la exposición al riesgo que lo provocó, ha ocurrido antes muchas veces [9].

3. Estado inicial del laboratorio

En este capítulo se detalla el estado en el que se encontraba inicialmente el laboratorio, su funcionamiento, distribución espacial, entre otros detalles importantes. Esto con el fin de poder contrastar más adelante con el estado mejorado del laboratorio.

Los detalles que se describen a continuación corresponden al período de funcionamiento entre mayo y octubre del año 2019.

3.1. Funcionamiento administrativo

Este espacio es propiedad del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María Campus San Joaquín, es administrado por un grupo de profesores de dicho departamento.

El funcionamiento diario y el manejo de las máquinas está a cargo de un grupo de seis ayudantes administrativos, los cuales son alumnos del Departamento de Ingeniería Mecánica que postularon mediante un sistema de ayudantías. Estos tienen un período de preparación y luego pasan a ser ayudantes de planta.

Al ser propiedad del Departamento de Ingeniería Mecánica, los alumnos de esta carrera pueden usar el espacio para sus trabajos académicos o proyectos personales. Adicional a esto, se comenzó a prestar servicio al Departamento de Ingeniería en Diseño de Productos para realizar clases de prototipado a sus alumnos. Al tener un enfoque tipo MakerSpace, el objetivo del espacio también es estar abierto a la comunidad universitaria.

3.2. Distribución espacial

El laboratorio no cuenta con una distribución espacial definida, los muebles y máquinas se encuentran distribuidos de manera aleatoria y sin demarcaciones de seguridad. El espacio tampoco cuenta con señaléticas que indiquen los cuidados y precauciones que hay que tener con cada máquina.

Además de los elementos propios del laboratorio, es común que los alumnos memoristas del Departamento de Ingeniería Mecánica dejen prototipos

y/o proyectos en el laboratorio, reduciendo aún más el espacio para circular y trabajar.

En la figura 3.1 se muestra la distribución espacial del laboratorio en el mes de septiembre del año 2019. Esto es considerando solo los muebles y máquinas que se encuentran de manera permanente en el laboratorio, los prototipos de memoristas, materiales y trabajos de alumnos son tan variables que no vale mucho la pena considerarlos en el layout. Para visualizar mejor el espacio se adjuntan fotos de este en la sección 8.1 de los Anexos.

3.3. Equipos y mobiliario

Como este espacio es utilizado para realizar prototipos y trabajos manuales, existe una serie de máquinas, herramientas y otros elementos para cumplir con este fin. Los elementos que están presentes de manera permanente en el laboratorio se detallan a continuación:

3.3.1. Máquinas

- **Cortadora Láser:** *Speedy 400 - Trotec.*
- **Impresoras 3D:**
 1. *MakerBot Replicator 2X*
 2. *Ultimaker 2 Extended*
- **Cortadora CNC de escritorio:** *ShopBot Desktop D2418.*
- **Rebajadora compacta:** *Compact Router - DeWALT.*
- **Taladro columna**
- **Prensa**

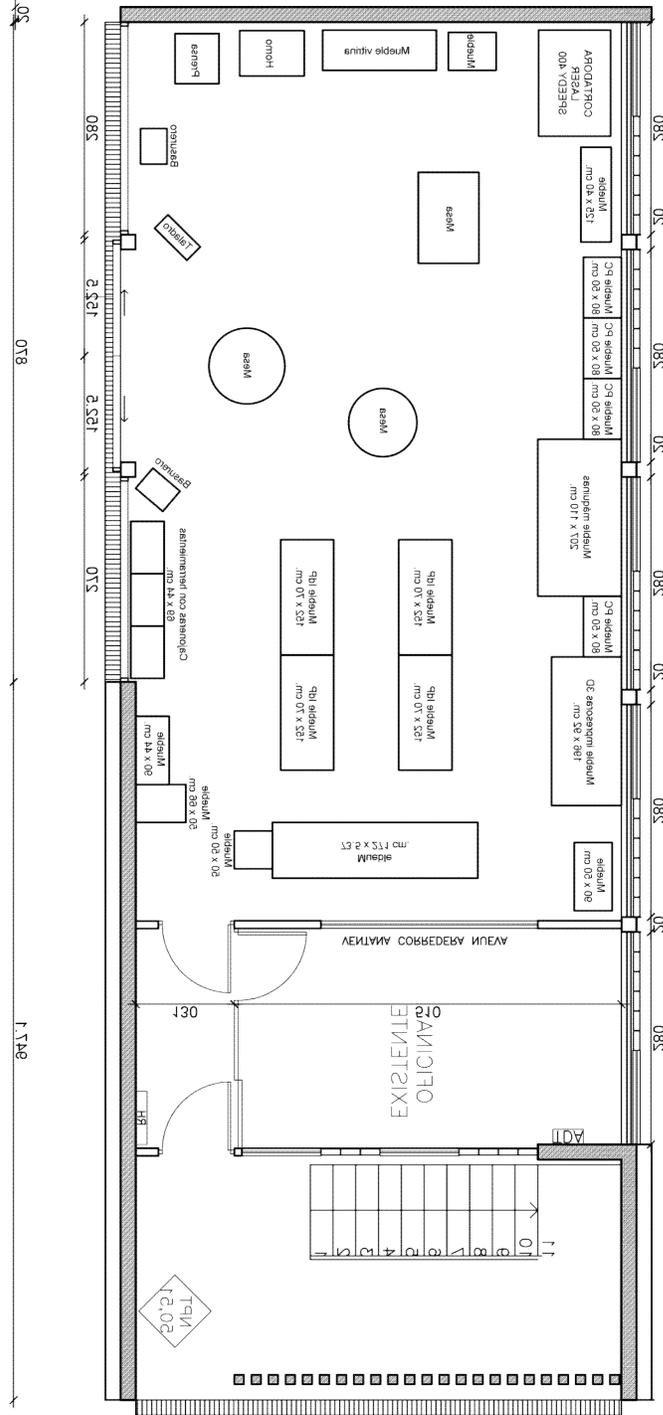


Figura 3.1: Layout del espacio, septiembre del 2019. Fuente: Base del arquitecto a cargo de la remodelación con modificación propia

3.3.2. Mobiliario

Los muebles que se describen a continuación son los que se dimensionan y aprecian en la figura 3.1. El orden en que son mencionados inicia en la esquina superior izquierda del plano del laboratorio y continua en sentido de las manecillas del reloj.

- Estantería de madera estándar con cinco espacios de repisa y otro espacio cubierto por dos puertas. En él se guardan elementos de limpieza y objetos personales de los ayudantes del laboratorio.
- Mesa básica con espacio para las impresoras 3D y un computador.
- Mesa de madera con soporte metálico. Sobre ella se encuentra la rebajadora y la CNC de escritorio. Bajo ella hay materiales, residuos y tres cajas transparentes.
- Cuatro escritorios para computador estándar de vidrio.
- Estantería de madera estándar con tres espacios de repisa y otro espacio cubierto por cuatro puertas. En él se guardan materiales para la cortadora láser y una caja de seguridad.
- Estantería de madera estándar con cuatro puertas. En él se guardan filamentos de impresora 3D, llaves de distintos muebles y espacios del laboratorio, y otros elementos menores.
- Estantería de madera con una amplia vitrina y tres puertas de madera. Es utilizado para exhibir los trabajos hechos por el equipo del laboratorio.
- Dos mesas redondas de madera simples.
- Mesa cuadrada de madera simple.
- Estantería de madera estándar con cuatro espacios de repisa y otro espacio cubierto por dos puertas. En él se guardan archivos de las máquinas y documentos del funcionamiento del laboratorio.
- Estantería de madera estándar con tres cajones. En él se guardan archivos y objetos personales.

- Estantería de madera estándar con una puerta. Se utiliza para colgar cotonas y guardar zapatos de seguridad. Adosado a él, se encuentra el botiquín de primeros auxilios.
- Estantería de dos niveles hecho en el laboratorio para guardar prototipos que hacen los alumnos y otras cosas.
- Cajoneras (3) con herramientas, instrumentos de medición, EPP y otros elementos.
- Once sillas.

3.3.3. Materiales

El material que se encuentra en el laboratorio varía mucho entre semanas por el uso que tienen. Pero, a modo general, suelen haber unas 10 planchas de acrílico, 8 planchas de madera y varios trozos más pequeños de ambos materiales. También hay unos trozos de cartón, que es utilizado para verificar la potencia de la cortadora láser, no es utilizado como un material en sí.

3.3.4. Otros

- Caja de seguridad pequeña.
- Cuatro computadores completos: pantalla, torre y teclado.
- Contenedor para desechos de madera.
- Contenedor para desechos de PLA.
- Contenedor para desechos de ABS.
- Basurero pequeño.
- Tres cajas transparentes con restos de acrílico y otros elementos.

3.4. Modo de trabajo

El MakerSpace presta servicio a una gran variedad de clientes, dentro de los cuales destacan cuatro grupos por ser los que más frecuentan el lugar. Así, el proceso varía según el cliente:

3.4.1. Alumnos con proyectos personales o académicos

Estos son alumnos que llegan al laboratorio pidiendo ayuda para realizar proyectos personales o proyectos que les solicitaron en algún ramo. Es muy común que lleguen alumnos de los ramos de Introducción a la Ingeniería Mecánica (IWG101), Fundamentos de Diseño (MEC245), Diseño Mecánico (ICM381), Investigación Aplicada (ICM392) y trabajo de titulación (MEC399) del Departamento de Ingeniería Mecánica.

Estos usuarios, salvo por los alumnos de primer año, saben cual es el resultado final que esperan de su proyecto, cuentan con conocimientos previos sobre el uso de EPP y sobre el uso de máquinas y herramientas simples. Considerando ese tipo de perfil, ellos van a necesitar el espacio para trabajar, la disposición de herramientas y máquinas simples y, en algunos casos, la disposición de los ayudantes del laboratorio para ayudarlos con el manejo de las máquinas más complejas.

Así, el proceso para este caso consiste en recibir a los alumnos cuando llegan al laboratorio, estos explican a grandes rasgos en qué consiste su proyecto y solicitan el espacio y las herramientas que van a necesitar. Ambas partes coordinan horarios de trabajo en los cuales existan ayudantes disponibles en el laboratorio y los alumnos puedan asistir a trabajar en sus proyectos.

En caso de que los alumnos que vayan a trabajar en un proyecto personal y soliciten el uso de máquinas complejas, se les cobrará una tarifa por el uso de electricidad y materiales de prueba en el laboratorio. Estos precios dependen del consumo de cada máquina y las horas de uso, lo que se detalla en las tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1: Valor del uso por hora de cada máquina considerando un tiempo de trabajo menor o igual a 10 horas. Fuente: Elaboración propia con datos tomados de los documentos de Google Drive pertenecientes a los ayudantes del laboratorio

Cortadora láser	3.532	[CLP/h]
MakerBot	10.709	[CLP/h]
Ultimaker	10.717	[CLP/h]

Tabla 3.2: Valor del uso por hora de cada máquina considerando un tiempo de trabajo mayor o igual a 15 horas. Fuente: Elaboración propia con datos tomados de los documentos de Google Drive pertenecientes a los ayudantes del laboratorio

Cortadora láser	14.332	[CLP/h]
MakerBot	6.710	[CLP/h]
Ultimaker	6.717	[CLP/h]

Los valores para el rango entre 10 y 15 horas de trabajo queda a criterio del ayudante que esté a cargo del proyecto en particular. El desglose de cómo se calculó cada tarifa se encuentra en la sección 8.2 de los Anexos.

Una vez que los alumnos están trabajando en el laboratorio, con sus propios materiales, los ayudantes deben indicarles donde están las herramientas que necesiten y asesorando su trabajo si se lo solicitan. También debe ayudar a manipular las máquinas complejas en caso de ser necesario, siempre con los materiales que entreguen los alumnos.

Luego de cada sesión de trabajo, los alumnos ordenan el espacio que usaron, guardan las herramientas y dejan su proyecto en el laboratorio para la siguiente sesión.

Una vez que el proyecto está terminado existen dos casos dependiendo del tipo de cliente:

- Cuando es un proyecto personal: El o los alumnos ordenan el espacio y se llevan su proyecto, dando término al proceso en el laboratorio.
- Cuando es un proyecto para un ramo: El o los alumnos ordenan el espacio y se llevan su proyecto para presentarlo en clases. Una vez presentado, hay veces en que los alumnos se quedan con el trabajo que realizaron, pero a veces sucede que el proyecto es donado o abandonado en el laboratorio. Al no existir un espacio destinado a proyectos de los estudiantes, que muchas veces tienen un tamaño considerable, quedan en cualquier parte del laboratorio.

En ambos casos el material sobrante del trabajo de los alumnos se desecha, se lo llevan los mismos alumnos o queda en el laboratorio para ser utilizado en otra cosa.

3.4.2. Alumnos memoristas

Estos alumnos, al estar en último año de sus respectivas carreras, suelen tener más conocimiento y disciplina en cuanto a la seguridad que el resto de los alumnos que vienen al laboratorio. La gran mayoría de las veces, los alumnos memoristas son del Departamento de Ingeniería Mecánica, pero los de otras carreras no tienen impedimentos para solicitar ayuda en el laboratorio.

Los memoristas, al ser alumnos avanzados, suelen aparecer con proyectos complejos para los que solicitan el uso de espacio, herramientas y máquinas tanto simples como complejas. Existen ocasiones en las cuales necesitan equipos aún más avanzados para ciertas partes del proyecto y son derivados a otras sedes de la universidad para trabajar con máquinas que no se encuentran en el laboratorio de San Joaquín.

La recepción de los alumnos es similar al grupo anterior. Los ayudantes reciben al alumno, este explica de qué trata su proyecto y solicita a los ayudantes el espacio y los elementos para trabajar. Si el alumno es del Departamento de Ingeniería Mecánica y está capacitado para el uso del espacio sin supervisión, se le facilitan llaves del laboratorio para que pueda trabajar sin la necesidad de esperar a un ayudante.

Estos proyectos suelen desarrollarse durante más de un semestre. Durante todo el tiempo que dura su trabajo, el prototipo del alumno suele permanecer en el laboratorio. Incluso en algunas ocasiones, una vez terminada la memoria y su defensa, el prototipo queda de manera permanente en el laboratorio como propiedad de nadie. Esto es complejo porque genera malestar en los ayudantes que no saben qué hacer con el prototipo que queda en el lugar de trabajo.

3.4.3. Alumnos de IDP

Este grupo suelen ser alumnos de segundo año de ingeniería de productos, que no tienen preparación sobre el uso de las máquinas y herramientas y tampoco sobre el uso de EPP.

Ellos llegan al laboratorio solicitando ayuda para hacer sus prototipos.

Como suelen ser muchos los alumnos que necesitan trabajar en cosas similares, los ayudantes fijan horarios en la semana para que lleguen a trabajar. Para lograr cubrir estos horarios todas las semanas, los ayudantes tienen turnos asignados para estar en el laboratorio y que los usuarios no queden solos.

Con este grupo de alumnos, los ayudantes tienen que estar más atentos que con los demás para que no hayan accidentes y para ayudar en caso de ser necesario. En ocasiones viene uno de los profesores del taller metalmecánico o un profesor del Departamento de IDP a apoyar también el trabajo de los alumnos.

Por el tiempo que dura el proyecto, se suelen dejar los materiales y prototipos sin terminar de los estudiantes en el laboratorio. La cantidad de prototipos que quedan en el lugar suelen ser al rededor de cinco o más.

Una vez terminados los proyectos de los estudiantes de IDP, estos se llevan sus prototipos y algunas veces dejan materiales sobrantes que quedan a disposición del laboratorio.

3.4.4. Departamento de Ingeniería Mecánica

Existen ocasiones en las cuales el Departamento de Ingeniería Mecánica les piden a los ayudantes hacer regalos para sus profesores por alguna celebración especial. Estos suelen ser al rededor de 15 regalos de tamaño pequeño, por lo general, hechos en la cortadora láser y/o en la ShopBot.

El trabajo que deben realizar los ayudantes en estos casos van desde el diseño de los regalos, hasta su finalización. Para esto se usan los materiales disponibles en el laboratorio, ya sea materiales que se hayan comprado o restos de materiales que hayan sobrado de proyectos anteriores.

También existen ocasiones en las que llegan profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica con proyectos que son parte de sus investigaciones. Ellos suelen llegar al laboratorio solicitando ayuda para hacer algún tipo de prototipo. En estos casos se forma un equipo de trabajo compuesto por los alumnos ayudantes del laboratorio, el profesor que llegó con el proyecto y, a veces, otros profesores.

La duración de estos proyectos varía dependiendo de la complejidad. Suele variar desde un par de horas de trabajo con las máquinas, hasta uno o dos semestres académicos.

Otro trabajo que suele ser solicitado de parte del departamento es la fabricación de probetas de distintos materiales para ser ensayados en otros laboratorios del departamento, como por ejemplo, el laboratorio de resistencia de materiales.

3.4.5. Otros clientes

Además de estos cuatro grupos, existen otros clientes que acceden a los servicios del laboratorio pero, al ser menos frecuentes, no existe un modo específico de trabajar con ellos. Cuando un cliente que no coincide con el perfil de los grupos anteriores, se debe evaluar la manera de proceder.

Uno de estos clientes poco frecuentes son **alumnos de otras universidades**, los cuales acceden al laboratorio para solicitar apoyo para realizar trabajos académicos que requieren de manufactura avanzada.

Otros clientes que recurren al laboratorio son **profesores**, o **departamentos** completos de la universidad, que solicitan apoyo para parte del desarrollo de sus trabajos de investigación.

Existen **empresas o externos** que solicitan servicios de fabricación industrial a baja escala.

Además, para generar un acercamiento con la comunidad universitaria, las personas del laboratorio se organizan para entregar regalos a los **funcionarios y profesores** en fechas especiales, como Navidad.

3.5. Documentos físicos existentes

Existe una serie de fichas y documentos físicos dentro del laboratorio, de los cuales la mayoría se encuentran desactualizados (figuras de la 3.2 a la 3.8 y de la 3.10 a la 3.13). El único documento que se utiliza en algunas ocasiones es el de la figura 3.9.

INVENTARIO Bodega

detalle	marca	cant	obs
Broca helicoidal 20 to 0	Skid Red	1	
Compresor Kit Penton	Deuser	1	
300. llaves allen	TAIWAH	4	25 piezas 7/8 / 1/2
llave Frances 1/2"	Stanley	3	cuadrada
Resaca de 4 tornos	Stanley	2	
Manillo computadora	Stanley	4	27mm
" neomexico	Stanley	2	
Grifador	Aok	2	4-14mm
3 tornos para tornos	Fance	3	8 res 4/8
Sieva Colador	novita	1	
Herida	Stanley	3	5 pts
Presor tipo "c"	Stanley	5	
Grupo Colavilla	Quante	28	SET #1 y #10
Sieva Conculan	Stanley	1	
Monitor	Domet	4	10 Acc
Kit acc para tornos	Domet	4	100 piezas
Microcomputero	Detolero	2	0.14
Jgo Borocas	IRWIN	1	1 a 10 mm
Jgo alcatraz (3025)	Stanley	1	
Kit de tornos	Stanley	3	150mm
Jgo destornillador	Stanley	3	10 res 4/8
taladro tornillador	Bosch	1	1200 L-00
Jgo alcatraz Dest	Stanley	4	
Acc Fresasora	Domet	4	
taladro 3/8 450W	novita	4	
estremal regular	Stanley	2	
Multi Serran Domet	Domet	1	SDW-max
Regla acero 500cm	China	5	
Mascavilla desmontable	TAIWAH	-	
Mascavilla pintura	3M	1	con 1 litro
Alicate de presión	Stanley	2	10"
Medidas seguridad	-	1	4 lbs / pack

Figura 3.2: Registro de inventario bodega.

3 ESTADO INICIAL DEL LABORATORIO

INVENTARIO Mueble 1 (012)

detalle	marca	cant	obs
juego llaves auto corona	force	2	50 & 6
llave	staley	1	10 in
juego llaves Allen	ABK	2	25 piezas
reglas		6	50 (cm)
		3	15 (cm)
escala dno			demanand Brand 206m
micrometro digital	mitutoyo	1	
carta para medir	san bon		7,5 (m)
pie de metro	stanley		

Figura 3.3: Registro de inventario Mueble 1 (012).

INVENTARIO Mueble 2 (134)

detalle	marca	cant	obs
marco sierra	smart tools	1	
cadena de marlyx			
tijera	dimer	1	
tijera	borrito	1	
hoja a sierra para cable	lea line	1	1 chueca
marco sierra pequeño		1	
Hoja goma	Kress	1	
montillo	stanley	1	27 (mm)
limas pequeñas (juego)	komasa	1	3 mm x 140 mm x 10pc (f. 1/2 pulgadas)
limas (juego)	Bobist	1	6 libras
pinzas	stanley	4	3in
multitestor (chico)	uni-T	1	UT208
puntas de acero (juego)	Bauker	1	30 puntos en acero S2 grado industrial
juego brocas	lenox Thull	2	19 piezas 1-10 (mm)
broca dno	Maxita	2	10 (mm)
sierra angular	stanley	1	
g. saw max (pallet dno)	Dremel	1	
discos	Dremel	3	DSM 500
disco	Dremel	1	DSM 540
disco	Dremel	1	DSM 520

Figura 3.4: Registro de inventario Mueble 2 (134).

3 ESTADO INICIAL DEL LABORATORIO

INVENTARIO Mueble 3 (MS)

detalle	marca	cant	obs
marcorillos			
tapones oidos (bolsa)	3M	1	
paquetes			2 puros y 1 solo
cañabros		7	
pinza de fuerza (cajón)	Robust	2	
" " "	Stanley	2	
la prepadura (caja)	GS	1	4 way
Amcalt punto largo	Stanley	1	84-096
" " "	Stanley	1	84-119
" corte	Stanley	2	84-124
" "	Stanley	2	84-125
" "	Robust	2	
grupo Abrakes	Stanley	1	punto largo, trípode, carburo (3)
remoladora	Stanley	1	
crimpadora		1	
kit accesorios multuso	Dremel	2	160 accesorios 710-ew
grupo accesorios multuso	Dremel	1	160 accesorios 710-ew
herramienta rotatoria de velocidad variable	Dremel	3	3000
grupo accesorios	Dremel	3	cojo pequeño azul
to leдро Neumatico	jo nrs way	5	
sierra cableadora	makita	1	
rebajador de superficie	Dremel	1	

Figura 3.5: Registro de inventario Mueble 3 (115).

1400 - 1430					
1430 - 1500					
1500 - 1530					
1530 - 1600					
1600 - 1630					
1630 - 1700					

Horarios de atención consultas
 Almuerzo

Contactos: Paulo Torres (paulo.torres@alumnos.usm.cl); Cristobal Flores (cristobal.flores@alumnos.usm.cl);
 Eduardo Castillo Chocori (eduardo.castillo.12@sansano.usm.cl); natalia francisca jahn
 (natalia.jahn.13@sansano.usm.cl); rene.perez@alumnos.usm.cl

Figura 3.6: Distribución de horarios de los ayudantes en un período desconocido.

3 ESTADO INICIAL DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD FINANCIERA
 BANCO VULCANIZADORA
 Vicepresidencia de Asuntos Económicos y Administrativos
 Dirección General de Finanzas
 Dirección de Finanzas

FORMULARIO DE BAJA O TRASLADO DE ACTIVO FIJO

Objetivo: Dar cumplimiento a la baja o traslado de bienes identificados

1 bien
Varios (adjuntar anexo)

ETAPA I. ANTECEDENTES DEL BIEN A DAR DE BAJA O TRASLADAR

Fecha solicitud:	
Código inventario:	
Descripción:	
Ubicación:	
Departamento:	
Observaciones:	

Nombre:	
Rut:	

Firma

ETAPA II. ANTECEDENTES DE TRASLADO (Si no existe Traslado pasar a Etapa III.)

Fecha de recepción:	
Ubicación:	
Dirección:	
Observaciones:	

Nombre:	
Rut:	

Firma

ENCARGADO ACTIVO FIJO

ETAPA III. ANTECEDENTES DE BAJA (Completar sólo si no existe Traslado)

Fecha de baja:			
Motivo:	Licitación	Donación	Eliminación
Observaciones:			

Contador General	Director de Finanzas	Director General de Finanzas

Fecha: _____

Figura 3.9: Formulario de baja o traslado de activo fijo.

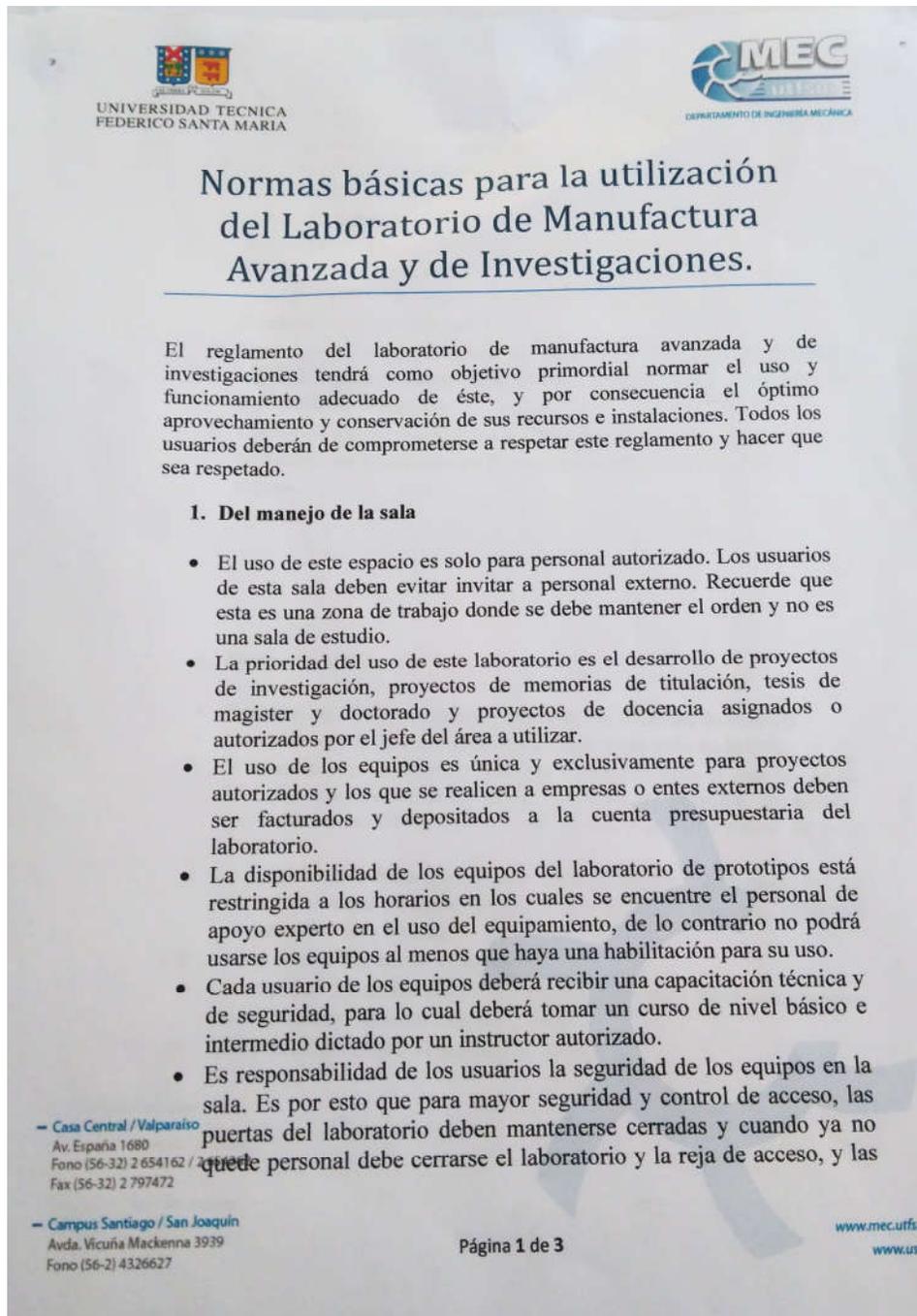


Figura 3.10: Normas básicas para la utilización del laboratorio de manufactura avanzada y de investigación, página 1. 06-12-2017.

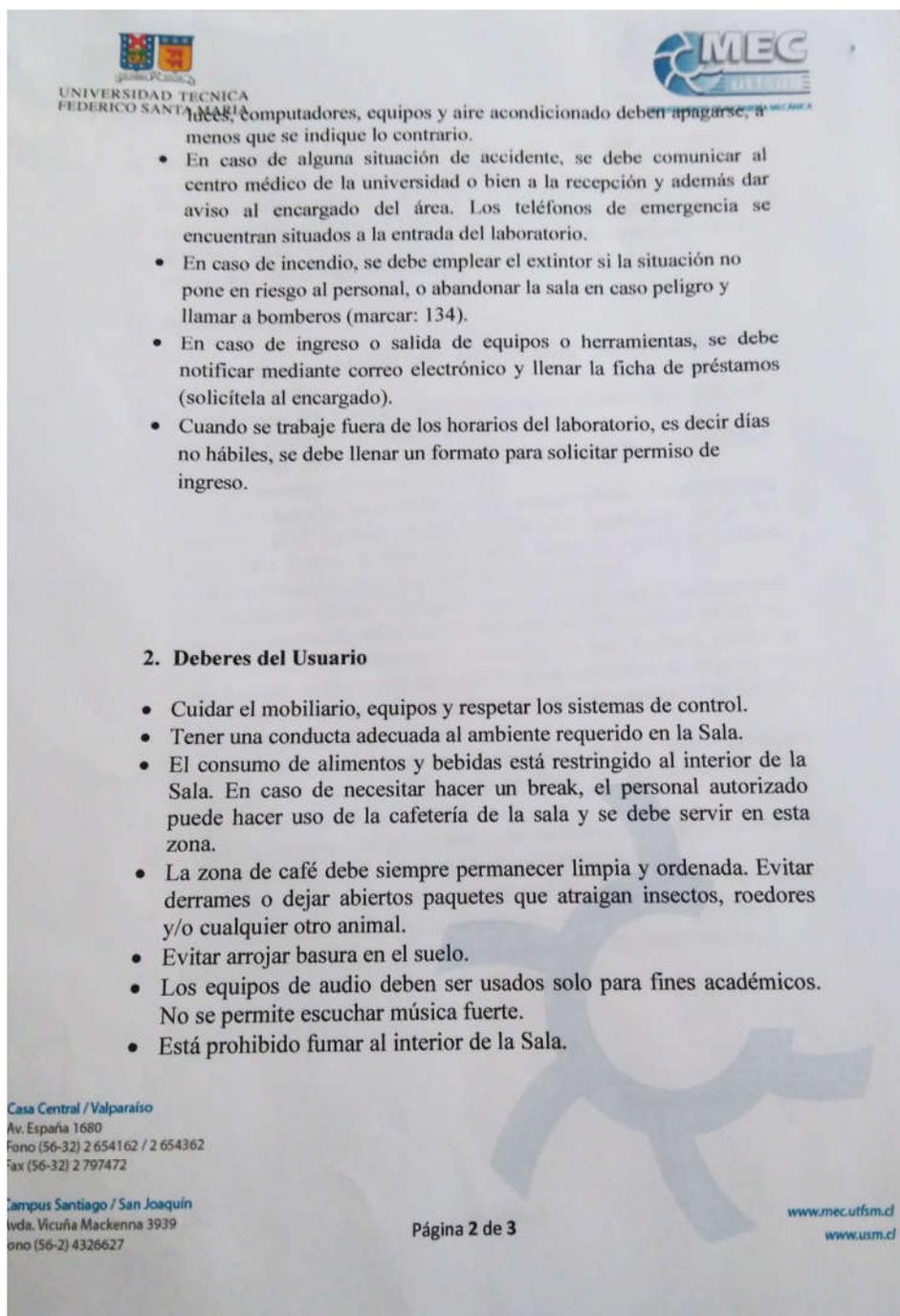


Figura 3.11: Normas básicas para la utilización del laboratorio de manufactura avanzada y de investigación, página 2. 06-12-2017.

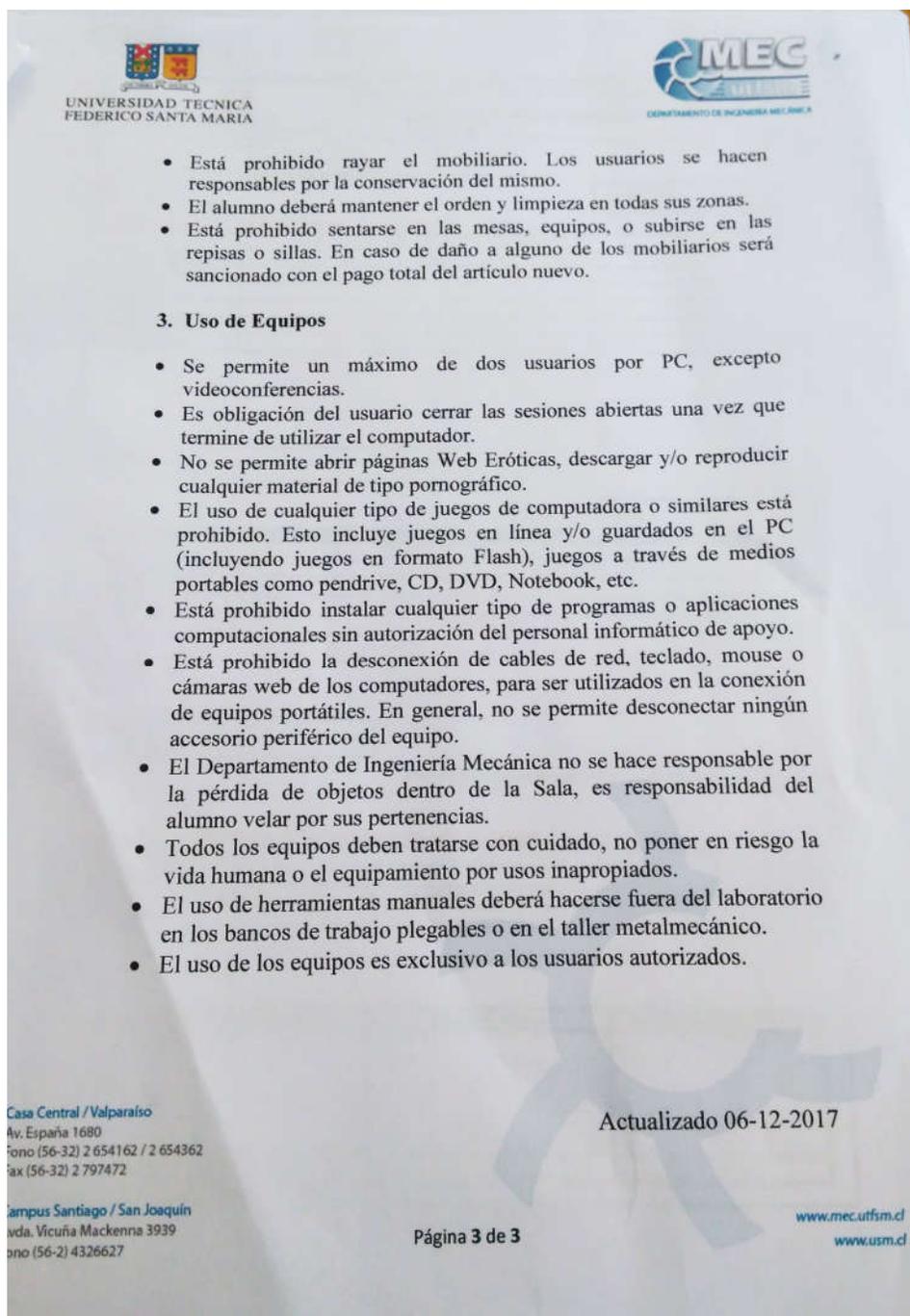


Figura 3.12: Normas básicas para la utilización del laboratorio de manufactura avanzada y de investigación, página 3. 06-12-2017.

3.6. Focus Group

En uno de los primeros acercamientos que se tuvo con los ayudantes del laboratorio, al rededor de mayo del año 2019, se realizó un “*Focus Group*” para que ellos pudieran dar su visión de las falencias y/u oportunidades que veían en el lugar. Dentro del “*brainstorming*” que se generó, se pudieron rescatar las siguientes ideas principales:

- Las máquinas, en su gran mayoría, no tienen un plan de mantenimiento definido y periódico. Solo a la cortadora láser se le limpia el lente y la boquilla después de cada uso y se aspira por dentro cuando los ayudantes consideran que es necesario.
- Cuando se inició el funcionamiento del laboratorio, se tenían fichas para llevar un registro sobre el uso de las máquinas. Actualmente esto ya no se hace.
- No se lleva un registro de los tiempos de uso de cada máquina.
- No todos los ayudantes que se encuentran en el laboratorio saben o están capacitados para usar todas las máquinas que hay.
- Los ayudantes suelen capacitarse entre ellos para usar las máquinas. Por lo general dejan de ser ayudantes cuando salen de la universidad así que la rotación no es tan seguida.
- Los turnos de trabajo están definidos entre los mismos ayudantes, pero no es un horario que sea conocido o visible para el resto de los estudiantes que necesiten usar este espacio.
- Los alumnos de ingeniería de productos no tienen la cultura de seguridad que se suele tener dentro de un taller. No están acostumbrados a usar EPP para trabajar y no tienen conocimiento previo para usar las máquinas, por lo que sería bueno capacitarlos de alguna manera.
- Existe un extintor dentro del laboratorio, pero no está dispuesto de manera adecuada.

4. Aplicación de la metodología DMAIC

Tal como se introdujo en el *Marco teórico*, se utilizará la metodología DMAIC para abordar la problemática del Laboratorio de Manufactura Avanzada, la cual consta de cinco etapas: *Definir*, *Medir*, *Analizar*, *Mejorar* y *Controlar*.

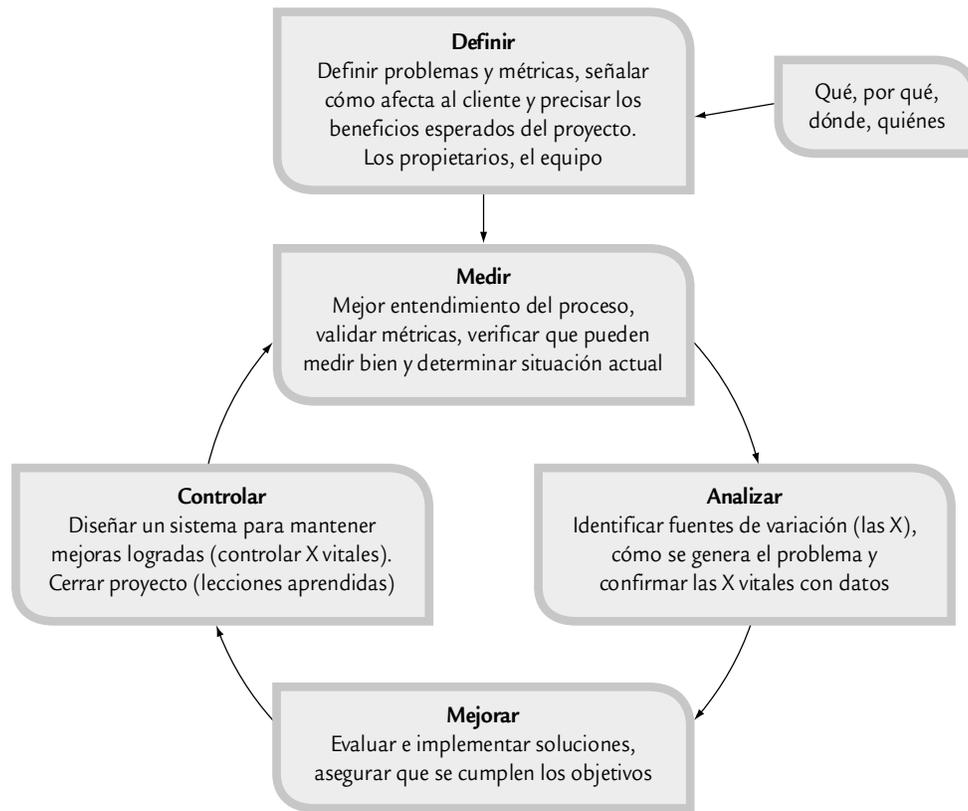


Figura 4.1: Las cinco etapas en la realización de un proyecto 6σ . [8]

Al ser una metodología de mejora continua, esta se comporta como un ciclo que se repite una y otra vez, tal como se ilustra en la figura 4.1. Una de las finalidades del presente trabajo es dar el primer paso para iniciar este ciclo y así mejorar continuamente de manera estructurada.

A lo largo de este capítulo, se detallan los resultados obtenidos gracias a esta metodología y a las herramientas aplicadas en cada etapa.

4.1. Definir

Se realiza un levantamiento de la información observando parte del proceso en terreno y hablando con los involucrados en este para tener una visión detallada de su funcionamiento.

4.1.1. Project charter

PROYECTO: *Aplicación de estrategias de mejora continua en el laboratorio de manufactura avanzada.*

Enunciado de la oportunidad:

Seguir trabajando de la manera en la que se hace actualmente funciona para cumplir los objetivos básicos del laboratorio, que es brindar apoyo académico para los trabajos de prototipado de los alumnos. Pero si realmente se quiere ser un "laboratorio de manufactura avanzada", es necesario mejorar la distribución del espacio y sacar del laboratorio lo que impide adquirir más y mejores máquinas.

Incorporar medidas para resguardar la seguridad tanto de las personas que son parte del equipo de trabajo del laboratorio como de los clientes es de suma urgencia, ya que no existen reglas explícitas para esto.

El laboratorio de manufactura avanzada es un espacio indispensable dentro de la universidad, ya que le da acceso a sus alumnos y profesores a un espacio para el desarrollo de trabajos tanto académicos como de investigación. De manera adicional, los alumnos pueden acudir al laboratorio para desarrollar proyectos personales, mejorando su vida universitaria y su crecimiento personal.

Caso de negocio:

Actualmente las máquinas más importantes en el laboratorio son la Cortadora láser, la ShopBot y las impresoras 3D, las cuales tienen un valor de mercado de aproximadamente USD\$58,000.00, USD\$7,600.00 y CLP\$3.650.000 c/u respectivamente. Adicional a esto, se incluirá un mini torno, el cual significó una inversión de CLP\$2.400.000 aproximadamente. Al ser cantidades no menores de dinero, es de suma importancia conservar las máquinas en un espacio con condiciones adecuadas para que funcionen sin estropearse.

Al mejorar la distribución y atacar distintos desperdicios que existan en el funcionamiento del laboratorio, a los usuarios les será más fácil y cómodo desarrollar sus actividades. Esto también simplificará el trabajo de los ayudantes, los cuales podrán aceptar una mayor cantidad de trabajos a la vez.

También se podrá introducir la cultura de la mejora continua dentro del funcionamiento cotidiano del laboratorio, logrando mejorar cada vez más los procesos que se realizan, aumentando la eficiencia de estos.

Si todas las mejoras y buen funcionamiento son reconocidas por el Departamento de Ingeniería Mecánica, el laboratorio podrá optar a mejores fondos para adquirir máquinas más complejas y modernas, logrando ser cada vez más un laboratorio de manufactura avanzada.

Alcance del proyecto:

El proyecto **sí** contempla:

- Modificar el espacio físico ya existente.
- Posibilidad de establecer nuevos estándares para el funcionamiento.
- Mejora de la efectividad de los procesos de manera general.

El proyecto **no** contempla:

- No se consideran mejoras para otros espacios como la bodega.
- Las mejoras no aplican a otros espacios del Departamento de Ingeniería Mecánica o de IDP.
- Los procesos no se abordarán de manera profunda para aplicar las mejoras.

Indicadores:

- Y ▷ Nivel de seguridad.
 - ▷ Nivel de servicio.

- X ▷ Disponibilidad del espacio.
 - ▷ Disponibilidad de ayudantes.
 - ▷ Disponibilidad de las máquinas.
 - ▷ Disponibilidad de materiales.
 - ▷ Nivel promedio del manejo de las máquinas por parte de los ayudantes.
 - ▷ Cumplimiento de plazos.
 - ▷ Cantidad de señaléticas.
 - ▷ Conducta de trabajo.
 - ▷ % de clientes que usan EPP.

Equipo de trabajo:

- Equipo: Camila Estévez.
- Sponsor: Sheila Lascano, Directora de laboratorio.
- Apoyo experto: Nelson Álvarez, Mauricio Reyes, Claudio Aravena.

Plan del proyecto:

- Inicio: Mayo 2019
- Final: Noviembre 2020
- Control: A lo largo del desarrollo.

4.1.2. Plataforma en llamas

La razón por la cual se busca mejorar el espacio y parte del funcionamiento del laboratorio, es para cumplir con el objetivo con el cual se fundó: ser un laboratorio de manufactura avanzada.

Con el funcionamiento que se tiene actualmente, el MakerSpace está "estancado" en el "funcionar como siempre ha sido", que es lo que suele pasar en gran parte de los procesos productivos. Los que trabajan dentro del laboratorio probablemente saben que las cosas pueden hacerse de mejor manera, pero se quedan en la inercia de la rutina.

La idea es que el laboratorio tenga una mejor organización, tanto administrativa como espacial, para poder trabajar de mejor manera en los proyectos que se le presenten al equipo. Así, la imagen que tiene el Departamento de Ingeniería Mecánica sobre este lugar mejorará y se podrá postular a mejores fondos para comprar máquinas más modernas y especializadas.

4.1.3. FODA

Fortalezas

- Los ayudantes que trabajan en el laboratorio son alumnos de la misma universidad, por lo que pueden tener un trato más cercano con los alumnos que lleguen a pedir asesoría para sus proyectos.
- Si los trabajos con los que llegan los estudiantes son con fines académicos, no tienen costo. Si son trabajos con fines personales, se les cobra un mínimo valor.
- Además de tener máquinas y herramientas para los trabajos de los alumnos, el laboratorio brinda el espacio para que los alumnos trabajen en sus proyectos de prototipado.

Oportunidades

- Mientras más reconocimiento gane el MakerSpace, más posibilidades tiene de postular a buenos fondos.

- La tecnología que actualmente se tiene y la que se puede adquirir a futuro pueden agregarle prestigio académico tanto al Departamento de Ingeniería Mecánica como a la universidad.

Debilidades

- Falta de organización administrativa común para todos los que trabajan en el laboratorio. La administración que hay actualmente, además de ser bastante básica, no es manejada en su totalidad por todos los miembros. Los alumnos ayudantes más nuevos suelen ser los menos informados.
- Como todo cambio, el tiempo de adaptación a las nuevas mejoras que se implementen puede ser lento.

Amenazas

- Los proveedores suelen tener una lenta respuesta para atender las necesidades del laboratorio cuando se solicitan insumos, repuestos o servicio técnico.
- Algunos proveedores son de otros países, por lo que la respuesta es mucho más lenta que con proveedores nacionales y la posibilidad de contar con asistencia técnica es mucho más limitada.
- Las posibilidades de ampliar el espacio son muy limitadas. El norte y este del laboratorio no cuentan con espacio para ampliar, al oeste hay una oficina ocupada por un profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica con algunos alumnos memoristas y hacia el sur existe una limitación de parte de la municipalidad que impide una ampliación.
- Los alumnos de años más nuevos tienden a tener nociones muy vagas sobre la seguridad en un laboratorio de estas características.

En la tabla 4.1 se presentan los resultados del análisis FODA realizado.

Tabla 4.1: Tabla resumen del análisis FODA del laboratorio

	Internas	Externas
+	Fortalezas	Oportunidades
	<ul style="list-style-type: none"> • Alumnos ayudantes. • Costos bajos para los clientes. • Espacio de trabajo especialmente acondicionado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Postulación a buenos fondos. • Prestigio académico.
-	Debilidades	Amenazas
	<ul style="list-style-type: none"> • Organización administrativa. • Lenta adaptación a los cambios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lenta respuesta de proveedores. • Proveedores internacionales. • Dificultades para ampliar.

4.1.4. SIPOC

Para identificar todas las entradas y salidas de los procesos del laboratorio, se consideran todos los procesos como una sola “caja negra”, tal como se aprecia en la figura 4.2.

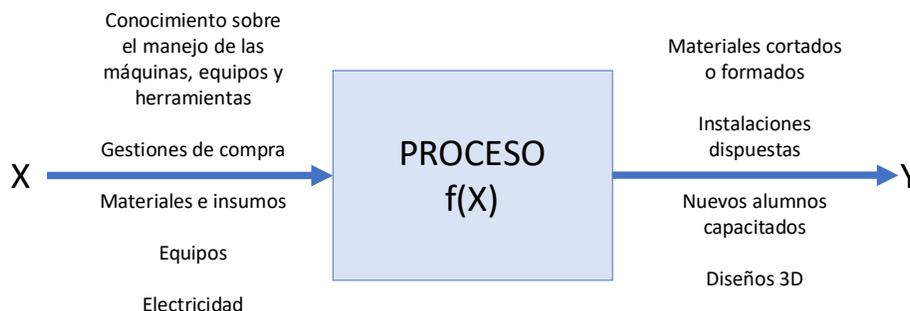


Figura 4.2: Diagrama simplificado de las entradas y salidas del proceso.

Una vez identificadas las entradas y salidas a modo general, se construye el diagrama SIPOC de la figura 4.3 con los proveedores, clientes más frecuentes y detalles del proceso, asignando las salidas a cada uno de los clientes.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

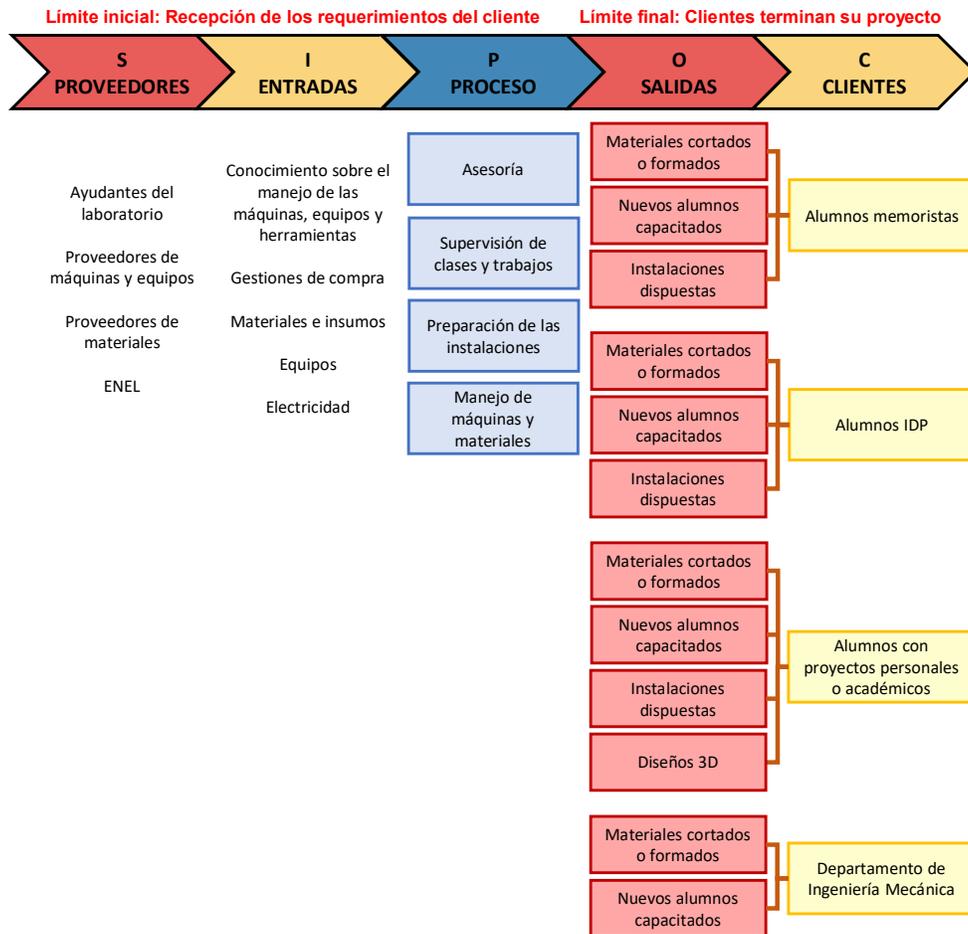


Figura 4.3: Esquema SIPOC del proceso del laboratorio.

Para no saturar tanto el diagrama de la figura 4.3, se despliegan más detalles a continuación:

- (S) Proveedores de equipos y máquinas: Trottec (Cortadora láser), MarkerBot (impresora 3D), Ultimaker (impresora 3D), ShopBot (cortadora CNC)
- (S) Proveedores de materiales: Las planchas de madera son compradas en ferreterías, las planchas de acrílico son compradas a la empresa *Acrimar* y los filamentos para las impresoras 3D se compran a *Imperio 3D*.

- (O) Alumnos nuevos capacitados: Estos pueden ser, tanto los alumnos clientes a los que se les explica el funcionamiento de las herramientas que solicitan para trabajar como a ayudantes nuevos a los que se les capacita en el uso de máquinas más complejas.

* ACLARACIÓN: Cuando se habla de *máquinas simples* se hace referencia a taladros o sierras. Cuando se habla de *máquinas complejas* se hace referencia a la cortadora láser, la ShopBot o las impresoras 3D.

Además, se tiene un grupo de *Stakeholders* importantes a considerar:

- Oficina aledaña al laboratorio que aloja a un profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica y sus memoristas.
- Departamento de IDP.
- Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Laboratorios cercanos al espacio.
- Taller metalmecánico.
- FabLab.

4.1.5. Proceso As is

Corte y/o formado de material

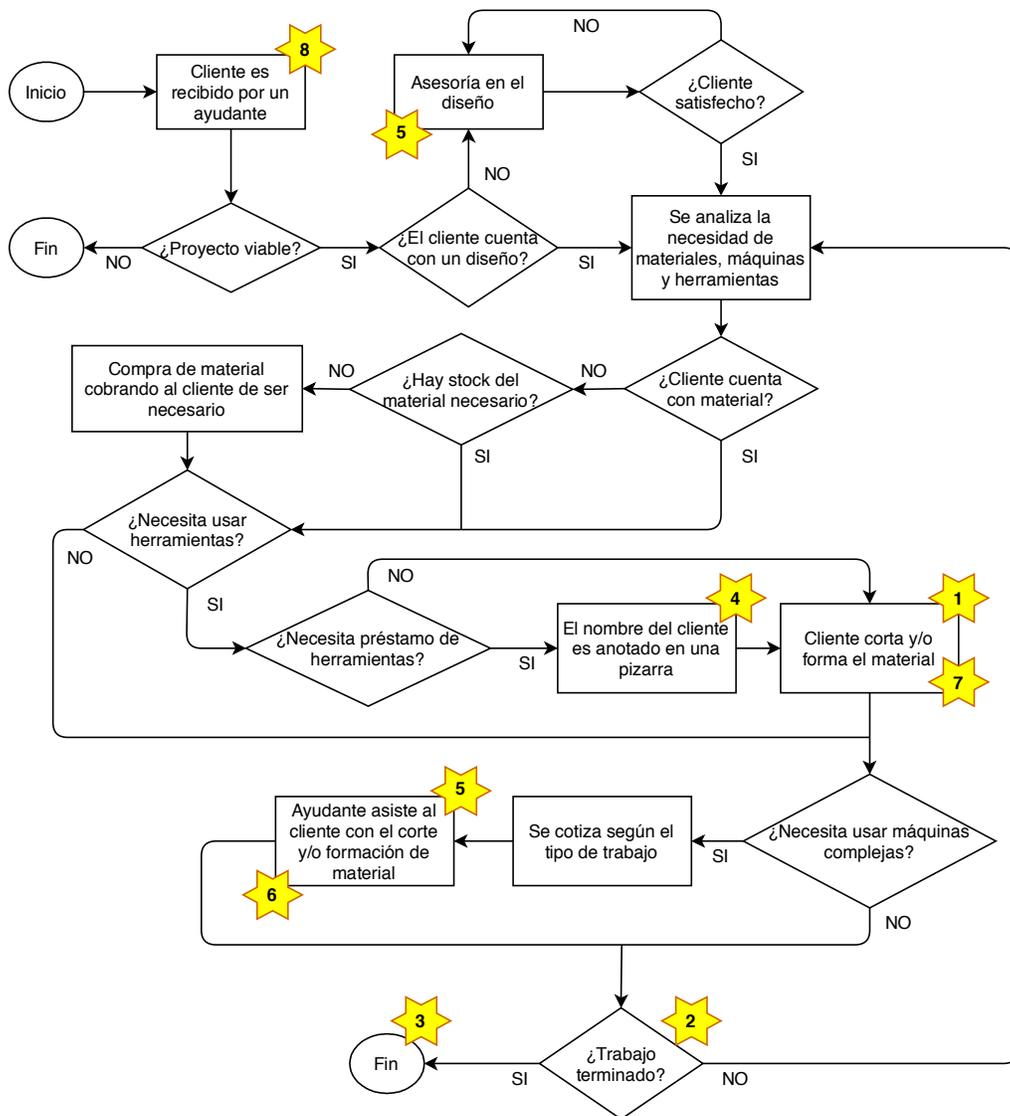


Figura 4.4: Diagrama de flujo "As is" para el corte y/o formado de material.

De este diagrama se pueden distinguir las siguientes falencias, destacadas en la figura 4.4 como una estrella amarilla con número:

1. Los clientes podrían no saber usar las herramientas proporcionadas o no contar con las EPP necesarias para utilizarlas, lo que pone en riesgo su seguridad y la de las personas cercanas al lugar donde esté trabajando.
2. Los clientes no siempre limpian el lugar de trabajo que utilizaron y muchas veces dejan sus prototipos a medio terminar y materiales desparramados.
3. Muchas veces los prototipos terminados quedan en el laboratorio cuando los clientes ya no los necesitan, ocupando espacio y estorbando otros trabajos.
4. No existe un registro claro del préstamo de herramientas, tampoco se tiene un historial de esto.
5. Los programas necesarios podrían no estar disponibles en los computadores del laboratorio o no funcionar de manera adecuada.
6. El ayudante de turno podría no estar capacitado para cumplir la función requerida por los clientes.
7. El espacio podría no ser apto para realizar el trabajo que se requiere.
8. No existe una persona encargada de recibir a los clientes. Cuando llega alguien que quiere solicitar algún servicio del MakerSpace sólo tiene la opción de preguntarle a cualquiera que encuentre y, si los ayudantes están ocupados trabajando con alguna máquina, existe el riesgo de que se produzca un accidente si son interrumpidos.

Nuevos alumnos capacitados

Para la capacitación de nuevos ayudantes en el uso de las máquinas complejas no existe un protocolo establecido que se use siempre. Simplemente existen algunos documentos explicativos en una carpeta de *Google Drive* a la cual todo el equipo del MakerSpace tiene acceso. En esta carpeta, llamada **MakerSpace > Manuales de Uso y documentos**, se encuentran los siguientes elementos:

- *Cura quick start guide.pdf*: Manual oficial para el uso del programa *Cura*, el cual es un software de *Ultimaker* para manejar distintas configuraciones de la impresora 3D desde el computador. Documento en inglés.
- *MakerBot_Replicator2X_UserManual_Eng.pdf*: Manual de usuario oficial para la *MakerBot Replicator 2X*. Documento en inglés.
- *Manual de uso impresora 3D.pdf*: Manual para el uso de la impresora *MakerBot Replicator 2X* creada por los ayudantes del laboratorio. Este documento explica de manera breve y gráfica la manera de operar el programa de la impresora y la manera de operar el equipo.
- *manual laser v1 word.docx*: Manual para el uso de la cortadora *Trotec Speedy 400* creada por los ayudantes del laboratorio. Este documento explica de manera breve y gráfica la manera de operar el programa de la cortadora y la manera de operar el equipo.
- *Manual_Lasey-v1.rev.docx* y *Manual_Lasey-v1Rev.pdf*: Ambos documentos son iguales en su contenido, pero en distinto formato de archivo. Estos documentos también son un manual para el uso de la cortadora *Trotec Speedy 400* creada por los ayudantes del laboratorio. La diferencia con el documento anterior es el formato.
- *Materiales Impresora - Google Sheets*: Documento tipo hoja de cálculo creado y modificado por los ayudantes. En él se detallan algunas características de los filamentos que se utilizan para las impresoras 3D.
- *UserManual-UM2Extended-v2.1.pdf*: Manual de usuario oficial para la *Ultimaker² Extended*. Documento en inglés.

También existe una carpeta en este mismo directorio que tiene distintas versiones de un documento para el uso de la cortadora láser por parte de los clientes. Estos documentos ya no son aplicados porque los clientes ya no están autorizados a usar las máquinas complejas. Las únicas personas que utilizan estas máquinas son los ayudantes del laboratorio.

Al parecer existen versiones actualizadas de algunos de estos documentos en los computadores del laboratorio, pero no se puede verificar esta información.

Instalaciones dispuestas

No existe una manera definida de preparar las instalaciones para el trabajo de los clientes. El orden y la limpieza del lugar es simplemente cuando los ayudantes lo consideran necesario.

Para la limpieza del lugar se tiene el apoyo de auxiliares de aseo de la universidad que limpian todos los días al rededor de las 20:30 horas.

4.1.6. VOC

Para esta herramienta se consideró a los ayudantes del laboratorio como los clientes. Así se pueden visualizar de mejor manera sus necesidades para el espacio en el que trabajan.

Necesidades generales:

- Hojas para el préstamo de herramientas. De esta manera se puede llevar un registro claro de su uso.
- Necesidad de tener un ayudante administrativo que se encargue del laboratorio, ya que no hay nadie que lleve un control específico de este.
- Hojas para llevar un registro del uso de las máquinas.
- Tener algún sistema de control de asistencia al laboratorio. Podría ser algo como tarjetas para marcar o un libro de asistencia.
- Lo ideal sería tener un computador para la cortadora y otro para la ShopBot con los programas que correspondan para cada una.

- Los ayudantes observaron que el Departamento de Ingeniería en Diseño de Productos trabaja con el programa Adobe Illustrator, ¿Existe la posibilidad de tener la licencia en el MakerSpace para trabajar?

Cortadora Láser:

Esta máquina se usa entre 4 y 5 horas al día. Después de usarla siempre se le limpia el lente y la boquilla. Cuando se junta suficiente mugre se abre y se aspira por dentro, esto es aproximadamente una vez por semana.

Algunas cosas que los ayudantes mencionaron que se podrían mejorar:

- Tener repuestos disponibles para la cortadora, ya que al ser la única que se tiene en el laboratorio y al usarla tan seguido, la consideran un equipo crítico.
- Está la opción de comprar lentes chinos, pero cuando se usan partes que no son de la marca *Trotec* se pierde la garantía. Esta garantía consiste en hacer reparaciones y mantenimientos por parte de la gente de la empresa cuando se necesite.
- Contar con Inventor, CorelDRAW y programas de Microsoft Office en los computadores del laboratorio.

Impresoras 3D:

Las impresoras llevan bastante tiempo sin ser usadas ya que tienen problemas que no han podido identificar ni solucionar.

ShopBot:

- Lo ideal es que esta máquina tenga un computador con Inventor y programas de Microsoft Office.
- En caso de que se desocupe la oficina aledaña al laboratorio, sería bueno trasladar la máquina ahí por el ruido que genera al trabajar con ella.

Computadores:

- Los computadores asignados para trabajar con las máquinas no están funcionando bien. Están lentos y no funcionan todos los programas.
- Todos los programas de Microsoft Office están funcionando mal. Falta de soporte técnico de la Dirección de Tecnologías de Información.

Los computadores del laboratorio se usan actualmente para:

- Correr los programas para manejar la cortadora laser y la ShopBot.
- Hacer planillas y cotizaciones en Excel.
- Manejo de los resultados de las pruebas de las máquinas.
- No se usan por los ayudantes para estudiar o hacer otras cosas que no sea manejar las máquinas, ya que la gran mayoría trae sus propios computadores.
- El uso de CorelDRAW para diseñar cosas y luego pasarlas al programa de corte laser. Este es el programa recomendado por *Trotec*.

4.1.7. Análisis VOC/CCR

Con la información entregada por los ayudantes en la sección anterior, se realiza el análisis de los requerimientos críticos del cliente detallado en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Análisis en conjunto de la voz del cliente, su asunto clave y su requerimiento crítico respectivo.

VOC	Asunto clave	CCR
Computadores con funcionamiento deficiente. Falta de licencias de los programas.	Los computadores no soportan algunos de los programas necesarios para trabajar con las máquinas y muchos de los programas no cuentan con su licencia correspondiente.	Tener computadores mejores y licencias disponibles.
Las impresoras no funcionan bien.	El filamento se queda atrapado en la boquilla y no sale para imprimir.	Poder tener contacto con los encargados externos del mantenimiento de las impresoras.
Falta de repuestos para equipos críticos.	Varias máquinas son críticas al ser únicas, si alguna falla significa no contar con ella por algunos meses a la espera de repuestos o mantención.	Contar al menos con repuestos básicos en caso de que se necesiten.
No existe un control sobre el préstamo de herramientas.	Los alumnos que vienen al laboratorio a trabajar solo sacan las herramientas y las usan, pero no hay un control más formal.	Contar con hojas de préstamo para tener un control claro.
Desorden administrativo.	Los ayudantes se encargan del manejo de las máquinas, de organizarse entre ellos, de asesorar a los alumnos que lleguen a usar el espacio, entre otras cosas, pero no hay un rol administrativo definido.	Contar con un apoyo académico o un ayudante administrativo en el laboratorio.
Turnos poco claros para los alumnos.	Los ayudantes saben internamente cuales son los horarios de cada uno para estar en el laboratorio, pero alumnos que aveces necesitan venir a trabajar en el laboratorio no saben los horarios en los que pueden encontrar a alguien que los ayude en su trabajo.	Sistema de control de asistencia para los ayudantes.
Falta de mantenimiento preventivo de las máquinas.	Solo a la cortadora laser se le hace una limpieza menor después de cada uso, pero las demás máquinas no tienen ningún tipo de mantenimiento preventivo.	Diseñar un plan de mantenimiento preventivo básico para cada máquina y dejar registro de cuando se hagan.

4.1.8. Análisis de interesados

Este análisis está basado en las personas que influyen o podrían influir directa o indirectamente en el proceso de mejora del espacio. Estas personas son:

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

1. Leonardo Madariaga: Jefe de carrera de IDP. Él solicitó al Departamento de Ingeniería Mecánica poder usar las instalaciones del laboratorio para hacer clases de prototipado a los alumnos de su carrera. Participa activamente de reuniones respecto a las mejoras del espacio.
2. Sheila Lascano: Directora del laboratorio de manufactura avanzada y jefe de laboratorio en el MakerSpace.
3. Mauricio Reyes: Asistente científico del Grupo de Investigación Multidisciplinario en Materiales y Manufactura Avanzada (GRIM3A) y profesor part-time del Departamento de Ingeniería Mecánica.
4. Claudio Aravena: Apoyo académico del taller metalmecánico que apoya los trabajos en el MakerSpace.
5. Ayudantes: Trabajan diariamente en el laboratorio, con turnos de trabajo definidos.
6. Danilo Estay: Profesor presente en la oficina aledaña al laboratorio.

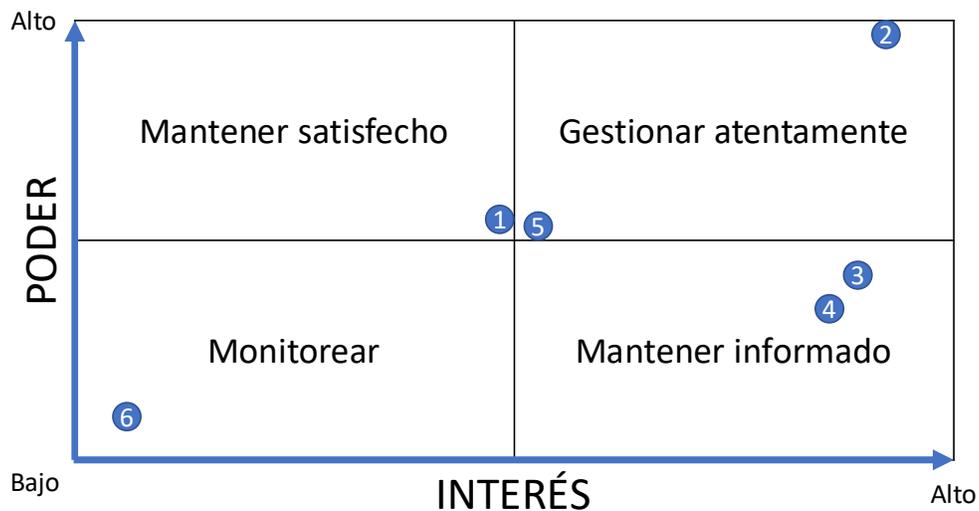


Figura 4.5: Matriz de poder e interés de los involucrados en el laboratorio.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

La figura 4.5 identifica de manera gráfica el tipo de actitud que se debe tomar con cada involucrado dependiendo del cuadrante en el que esté en función de su interés con el proyecto y su poder de influir en él.

Tabla 4.3: Análisis de interesados directos.

Nombre	Muy en contra (-2)	Medianamente en contra (-1)	Indiferente (0)	Apoyo moderado (+1)	Apoyo total (+2)
Leonardo Madariaga				X	0
Sheila Lascano					X 0
Mauricio Reyes					X 0
Claudio Aravena					X 0
Ayudantes			X	0	
Danilo Estay		X	0		

La tabla 4.3 refleja el grado de compromiso que los sujetos involucrados tienen respecto a las mejoras que se quieren realizar. Las marcas "X" indican el compromiso actual que tienen respecto a los cambios y los "0" indican el compromiso que se desea que tengan estas personas.

Se puede apreciar que Danilo Estay es el único que tiene un valor actual negativo. Esto se debe a que, en caso de hacer grandes cambios en el espacio del laboratorio, podría llegar a ser desplazado de su actual oficina.

4.1.9. Plan de comunicación

A partir del análisis de los interesados en la sección anterior, se elabora el plan de comunicación de la tabla 4.4 con el objetivo de generar un compromiso con el cambio.

Tabla 4.4: Plan de comunicación

Interesado	Resistencia	Acción necesaria	Resultados esperados
Leonardo Madariaga	No tiene pleno conocimiento del modo de trabajo que existe en el laboratorio. Se enfoca solo en los cambios que son atingentes a la incorporación de los alumnos de IDP en el espacio.	Mantenerlo informado sobre los cambios que más le interesen e incorporarlo de manera activa en el proceso de mejora.	Activa participación en el proceso de mejora, enfocando su tiempo y energía en sus áreas de interés para que no genere resistencia en otras.
Sheila Lascano	Se enfoca principalmente en las mejoras específicas asociadas a la manufactura avanzada y no a, como por ejemplo, las falencias que existen en temas de seguridad.	Informar periódicamente los avances sobre las oportunidades de mejora encontradas y transmitir la importancia que tienen.	Generar interés por el todas las propuestas de mejora planteadas.
Mauricio Reyes	Mauricio es apoyo científico tanto del Laboratorio de Polvos como del Laboratorio de Manufactura Avanzada, además de ser profesor part-time del Departamento de Ingeniería Mecánica, por lo que tiene que repartir su tiempo en distintas actividades	No sobrecargar con tareas respecto al proceso de mejoras y solicitar su ayuda de manera moderada.	Mantener el nivel de apoyo actual.
Claudio Aravena	No puede participar a tiempo completo en las actividades del laboratorio ya que sus funciones principales son en el taller metalmecánico.	No sobrecargar con tareas respecto al proceso de mejoras y solicitar su ayuda de manera moderada.	Mantener el nivel de apoyo actual.
Ayudantes	Descansan en la tranquilidad de la rutina y no se plantean grandes mejoras para el lugar.	Explicarles de manera concisa las mejoras encontradas y el modo de implementación que estas tendrán.	Que muestren disposición a trabajar en las mejoras planteadas, tanto en la implementación como en el control.
Danilo Estay	La idea de ser trasladado de su actual oficina le genera incomodidad acerca de los cambios.	Si los cambios físicos llegan efectivamente a involucrar un cambio de oficina para él, comunicarlo de manera firme pero no ruda y escucharlo si tiene algo que decir sobre como se siente.	No oponer resistencia a los cambios físicos que se realicen en el laboratorio.

4.2. Medir

Luego del levantamiento de información se realizan distintas mediciones para empezar a atacar los desperdicios y dolores que tiene el laboratorio.

4.2.1. Listado de desperdicios priorizados

A partir de la información obtenida sobre los dolores que afectan el trabajo en el laboratorio, se identifican los desperdicios y sus efectos en la tabla 4.5 para ser priorizados más adelante.

Tabla 4.5: Listado de desperdicios, descripción y efectos.

Desperdicio	Explicación	Efectos
Espacio mal utilizado	Existen muchos restos de materiales que no se utilizan, prototipos abandonados y muebles mal aprovechados.	Esto reduce el espacio de trabajo disponible, entorpeciendo o impidiendo los mismos. También entorpece la búsqueda de herramientas y materiales.
Falta de ayudantes capacitados	No todos los ayudantes que trabajan en el laboratorio saben usar todas las máquinas.	Como los ayudantes se turnan para estar presentes en el laboratorio, puede que un cliente necesite usar una máquina o herramienta que el ayudante de turno no sabe manejar.
Computadores con mal funcionamiento	Los computadores disponibles en el laboratorio cuentan con una serie de fallas e insuficiencias como por ejemplo falta de licencias de programas, poca capacidad para ejecutar programas y lento funcionamiento general.	Esto entorpece o impide a los ayudantes trabajar en el manejo de las máquinas complejas, en el diseño de piezas e incluso en laboras administrativas.
Equipos en mal estado	Algunos equipos, como impresoras 3D y computadores, no funcionan de manera óptima o simplemente no funcionan.	Esto entorpece o impide a los ayudantes trabajar de manera óptima, haciéndolos perder tiempo.
Falta de control para el préstamo de herramientas	En los inicios del funcionamiento del laboratorio existían hojas de préstamo, pero actualmente no se utilizan.	Al no existir un control del préstamo de herramientas, en conjunto con un registro de inventario, no se puede saber cómo o cuándo se pierde algo.

Continúa en la siguiente página

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

Continuación

Desperdicio	Explicación	Efectos
Falta de mantenimiento preventivo	La única máquina a la que se le hace algún tipo de mantenimiento preventivo es a la cortadora láser. Al resto simplemente se les hace mantenimiento correctivo.	Al no tener un protocolo de mantenimiento definido, existe el riesgo de que las máquinas fallen en pleno trabajo.
Turnos de trabajo poco claros	Los turnos de cada ayudante son conocidos de manera interna para quienes trabajan en el laboratorio, pero los clientes no tienen cómo saber esos horarios a menos que los solicite a algún miembro del laboratorio.	Al no conocer los horarios, los clientes no tienen cómo saber a qué hora encontrarán a alguien que los ayude con lo que necesiten.
Desorden administrativo	Dentro del laboratorio, los ayudantes no tienen roles claramente definidos, "todos hacen todo", o así debería ser.	Al no tener un encargado del área administrativa, nadie se asegura de que todo esté en orden. Solo queda en la cultura del funcionar como siempre ha sido".
Falta de control de inventario	Existen unos archivos físicos donde se tiene un registro no actualizado de algunas herramientas del laboratorio, pero, al no estar actualizado, no es información confiable.	Si no se tiene un registro adecuado del inventario, tanto de las herramientas como de los materiales, los ayudantes no tienen cómo saber qué tienen disponible para trabajar.
Falta de protocolos de seguridad para los clientes	Cuando un cliente viene a trabajar al laboratorio, se le sugieren ciertos comportamientos para la utilización del espacio. Sin embargo, no existen instrucciones detalladas sobre la seguridad, ya que en la mayoría de los casos se asume que el cliente cuenta con un grado de cultura de seguridad.	Si no existen protocolos de seguridad para los clientes es probable que ocurran accidentes.
Falta de delimitación de espacios	Las zonas de trabajo, distancias de seguridad con las máquinas y otras señaléticas son inexistentes en el laboratorio.	Al no existir delimitaciones en los espacios de trabajo pueden ocurrir accidentes al trabajar con las herramientas manuales o máquinas.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

Para priorizar los desperdicios identificados en la tabla 4.5, cada uno se puntuará de 0 a 10 según el impacto que tengan en los siguientes parámetros:

- Seguridad (A)* ▷ 0: No afecta la seguridad de las personas.
 ▷ 10: Perjudica de manera grave la seguridad de las personas.
- Movilidad (B)* ▷ 0: No afecta el desplazamiento de las personas dentro del laboratorio.
 ▷ 10: Impide o entorpece el desplazamiento de las personas dentro del laboratorio.
- Trabajo (C)* ▷ 0: No afecta el trabajo dentro del laboratorio.
 ▷ 10: Impide o entorpece considerablemente realizar trabajos dentro del laboratorio.
- Máquinas (D)* ▷ 0: No afecta el buen funcionamiento de las máquinas.
 ▷ 10: Perjudica de manera considerable el buen funcionamiento de las máquinas.
- Recursos (E)* ▷ 0: No afecta el uso de recursos.
 ▷ 10: Influye de manera considerable en el uso de recursos, haciendo que muchas veces se desperdicien de manera innecesaria.
- Objetivos (F)* ▷ 0: Las mejoras de estos desperdicios no van acorde a los objetivos de este trabajo.
 ▷ 10: Las mejoras de estos desperdicios van acorde a los objetivos de este trabajo.
- Mejora (G)* ▷ 0: Implementar mejoras para estos desperdicios dentro de este trabajo es difícil.
 ▷ 10: Implementar mejoras para estos desperdicios dentro de este trabajo es simple.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

A continuación, en la tabla 4.6, se asignan puntajes a cada desperdicio en cada parámetro y luego se suman:

Tabla 4.6: Desperdicios puntuados bajo distintos parámetros.

Desperdicio	A	B	C	D	E	F	G	Total
Espacio mal utilizado	2	6	5	3	2	10	5	33
Falta de ayudantes capacitados	5	0	9	5	4	3	7	33
Computadores con mal funcionamiento	1	0	9	4	4	4	2	24
Equipos en mal estado	5	0	10	10	2	4	3	34
Falta de control para el préstamo de herramientas	4	1	3	1	3	4	9	25
Falta de mantenimiento preventivo	6	0	5	7	5	4	3	30
Turnos de trabajo poco claros	0	0	5	1	2	4	8	20
Desorden administrativo	2	1	6	1	4	7	5	26
Falta de control de inventario	1	5	5	2	7	6	6	32
Falta de protocolos de seguridad para los clientes	10	1	6	5	3	4	8	37
Falta de delimitación de espacios	8	7	4	3	2	10	6	40

Finalmente, los desperdicio son priorizados de mayor a menor puntaje según la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Listado de desperdicios priorizados.

n°	Puntaje	Desperdicio	Tipo
1	40	Falta de delimitación de espacios	Seguridad y Distribución espacial
2	37	Falta de protocolos de seguridad para los clientes	Seguridad
3	34	Equipos en mal estado	Equipos
4	33	Espacio mal utilizado	Distribución espacial
4	33	Falta de ayudantes capacitados	Capacitación
5	32	Falta de control de inventario	Inventario
6	30	Falta de mantenimiento preventivo	Mantenimiento
7	26	Desorden administrativo	Administración
8	25	Falta de control para el préstamo de herramientas	Inventario
9	24	Computadores con mal funcionamiento	Equipos
10	20	Turnos de trabajo poco claros	Administración

4.2.2. Listado de métricas

Del *Project charter* realizado en la etapa anterior, se tienen las siguientes métricas:

- Y ▷ Nivel de seguridad.
- ▷ Nivel de servicio.

- X ▷ Disponibilidad del espacio.
- ▷ Disponibilidad de ayudantes.
- ▷ Disponibilidad de las máquinas.
- ▷ Disponibilidad de materiales.
- ▷ Nivel promedio del manejo de las máquinas por parte de los ayudantes.
- ▷ Cumplimiento de plazos.
- ▷ Cantidad de señaléticas.
- ▷ Conducta de trabajo.
- ▷ % de clientes que usan EPP.

Las *Y* son resultados de algún proceso y las *X* son hipótesis de causas raíces que influyen en ese resultado. En las figuras 4.6 y 4.7 se establecen de manera preliminar las relaciones de dependencia entre variables.

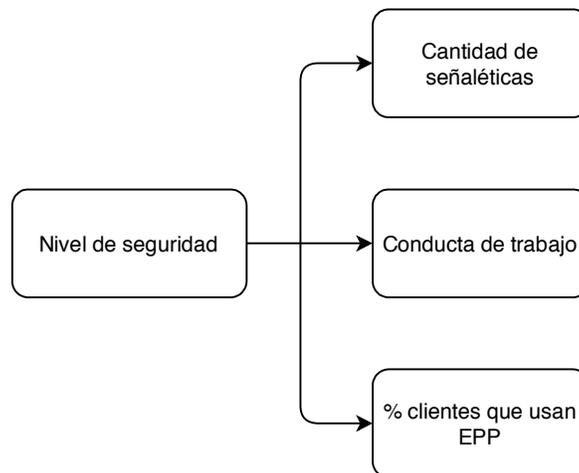


Figura 4.6: Árbol de métricas para el Nivel de seguridad.

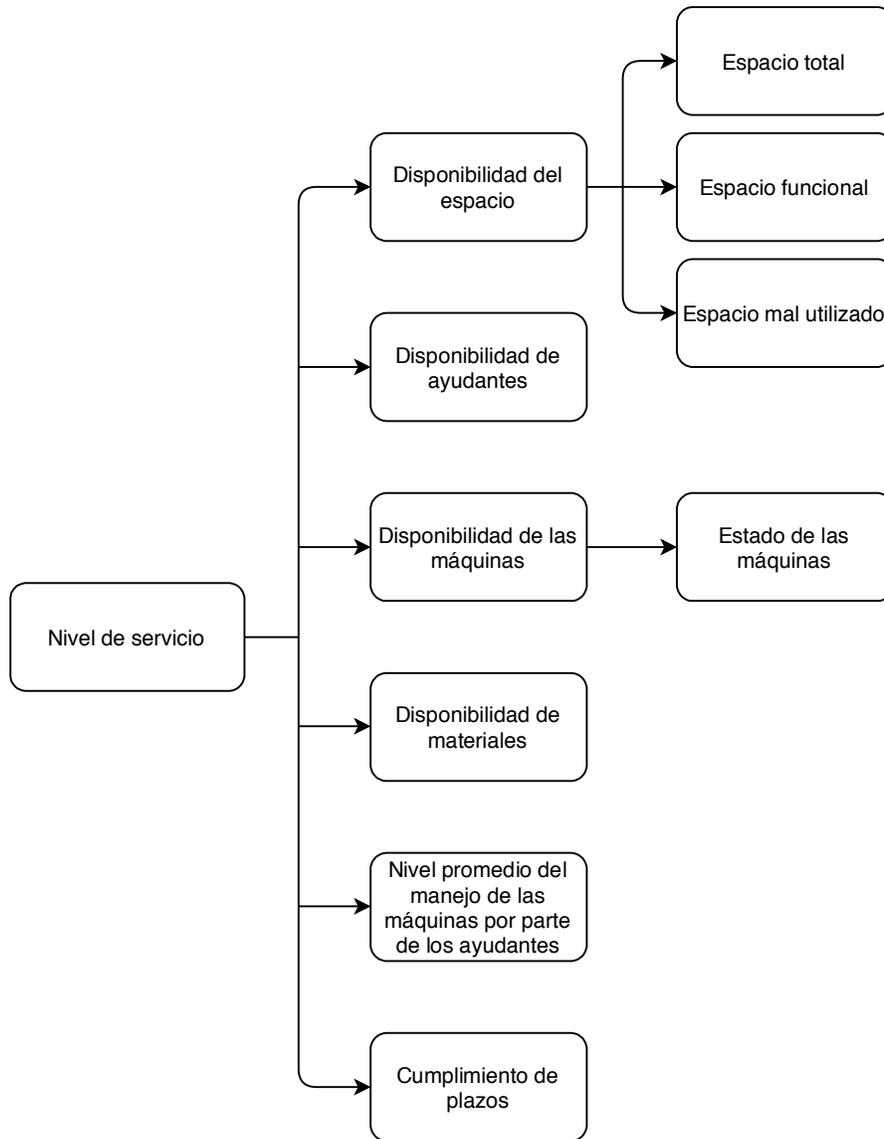


Figura 4.7: Árbol de métricas para el Nivel de servicio.

4.2.3. Plan de medición

A continuación se define en detalle cada métrica, se les asigna una variable para diferenciarlas de manera más sencilla y se establece la manera en la que se medirá y tratará la información en cada caso:

X_1 - Disponibilidad del espacio

- **Definición operativa:** Metros cuadrados que efectivamente se pueden utilizar para trabajar y circular dentro del laboratorio respecto al total disponible.

Esta métrica se expresará como un porcentaje.

- **¿Cómo se medirá?:** Se medirá el espacio instalado funcional y el espacio instalado desperdiciado respecto al espacio total existente. Todo esto tomando los planos del laboratorio como referencia. Más detalles respecto a la estimación de cada área en la sección 8.3 de los Anexos.
- **¿Cómo se mostrará la data?:** Gráfico circular.

X_2 - Disponibilidad de ayudantes

- **Definición operativa:** Porcentaje de tiempo dentro de la jornada en el que efectivamente hay ayudantes disponibles en el laboratorio para realizar trabajos y/o atender clientes.

Se calculará este porcentaje cada semestre.

- **¿Cómo se medirá?:** En base a la distribución horaria semestral de los ayudantes en el laboratorio se obtendrá un promedio diario de horas en las que existe al menos un ayudante disponible. Este promedio se contrastará con la cantidad ideal de horas según la programación semanal, en las cuales podría estar disponible el laboratorio, para obtener el porcentaje de disponibilidad de los ayudantes en el laboratorio.
- **¿Cómo se mostrará la data?:** Histograma.

X_3 - Disponibilidad de las máquinas

- **Definición operativa:** Nivel de confiabilidad total de las máquinas complejas considerando la frecuencia con la que se usan.
- **¿Cómo se medirá?:** Se llevará un registro de uso de cada máquina y si estas presentan fallas.

Con estos datos se calculará un porcentaje comparando el promedio ponderado de las veces que la máquina no falló al ser usada, ponderada por el peso asignado a cada una, con el caso ideal en el que no falla ninguna máquina.

Detalles del cálculo y los pesos asignados en la sección 8.5 de los Anexos.

El tamaño de cada muestra variará dependiendo de la cantidad de veces que los ayudantes tengan que usar cada máquina.

- **¿Cómo se mostrará la data?:** Datos tabulados por máquina.

X_4 - Disponibilidad de materiales

- **Definición operativa:** Cantidad y detalles de los materiales disponibles en el laboratorio para realizar trabajos para los clientes.
- **¿Cómo se medirá?:** Se llevará un registro indicando la cantidad, estado, disposición de uso y dimensiones disponibles de cada material presente en el laboratorio.
- **¿Cómo se mostrará la data?:** Datos tabulados por material.

X_5 - Nivel promedio del manejo de las máquinas por parte de los ayudantes

- **Definición operativa:** Nivel de manejo promedio que tienen los ayudantes en la totalidad de las máquinas complejas, considerando la frecuencia con la que se utiliza cada máquina.

Este valor se expresa como un porcentaje.

Más detalles en la sección 8.6 de los Anexos.

- **¿Cómo se medirá?:** Primero se medirá el nivel de conocimiento de cada ayudante en el uso de cada máquina compleja en una escala de 0 % a 100 %, donde 0 % es nulo manejo de la máquina y 100 % es manejo perfecto. Luego, se promediará el nivel de manejo de los ayudantes en cada máquina por separado. Finalmente, se obtendrá el nivel de manejo promedio del total de las máquinas, ponderando los valores anteriores con un peso asignado dependiendo de la frecuencia con la que se utilicen.

Esta medición se puede realizar a mediados de cada semestre en los que haya existido una rotación de ayudantes.

- **¿Cómo se mostrará la data?:** Histograma(*).

(*) Se puede hacer un histograma con el porcentaje de manejo asignado a cada máquina y/o un histograma del nivel total de manejo por período de tiempo.

X_6 - Cumplimiento de plazos

- **Definición operativa:** Porcentaje de trabajos entregados dentro del plazo solicitado por los clientes dentro de un semestre.
- **¿Cómo se medirá?:** Se contrastará la cantidad de trabajos entregados dentro del plazo solicitado con la cantidad de trabajos totales realizados en un semestre para obtener un porcentaje de cumplimiento de ese período.
- **¿Cómo se mostrará la data?:** Gráfico de barras porcentaje de cumplimiento v/s tiempo.

X_7 - Cantidad de señaléticas

- **Definición operativa:** Cantidad de señales instaladas en el laboratorio respecto a la cantidad recomendada por la ACHS.
Se medirá como un porcentaje de cumplimiento.
- **¿Cómo se medirá?:** Se contará la cantidad de señales de seguridad que se visualizan en el laboratorio. Esto se contrastará con la cantidad aproximada de señales de seguridad que deberían existir en el laboratorio según la ACHS.

Esto se puede realizar cada vez que se modifique el espacio del laboratorio de manera considerable.

- **¿Cómo se mostrará la data?:** Gráfico de barras porcentaje de cumplimiento v/s tiempo.

X_8 - Conducta de trabajo

- **Definición operativa:** Nivel de conducta de seguridad promedio que muestran los clientes al realizar trabajos de prototipado en una escala del 0 a 10, esto medido en una misma sesión de trabajo.
- **¿Cómo se medirá?:** Cada vez que existan clientes realizando trabajos manuales dentro del laboratorio, y si la situación lo permite, se calificará la conducta de trabajo de los clientes en una escala del 0 al 10, donde 0 es una conducta descuidada e insegura y 10 es una conducta segura y responsable.

Con el promedio de los puntajes obtenidos por los clientes en cada sesión de trabajo se puede llevar un registro de conducta.

- **¿Cómo se mostrará la data?:** Gráfico de barras de puntaje promedio v/s tiempo.

X_9 - % de clientes que usan EPP

- **Definición operativa:** Porcentaje de clientes que utilizan los elementos de protección personal adecuados para los trabajos que realizan dentro del laboratorio con respecto al total de personas que se encuentren trabajando.
- **¿Cómo se medirá?:** Se llevará un registro de la cantidad de clientes que efectivamente utilizan las EPP adecuadas al momento de trabajar. Se verificará también la base de datos que exista por parte de los ayudantes del laboratorio.
- **¿Cómo se mostrará la data?:** Gráfico de barras porcentaje de cumplimiento v/s tiempo.

Y_1 - Nivel de seguridad

- **Definición operativa:** Cantidad de días sin accidentes con tiempo perdido.
- **¿Cómo se medirá?:** Se contará la cantidad de días que lleva el laboratorio sin accidentes con tiempo perdido.

Lo ideal es actualizar esta información todos los días y que sea visible para todos los que entren en el MakerSpace.

Si ocurre un accidente con tiempo perdido, debe registrarse en una base de datos y reiniciar la cuenta de días.

- **¿Cómo se mostrará la data?:** En un tablero o una pizarra a la vista dentro del laboratorio.

Y_2 - Nivel de servicio

- **Definición operativa:** Opinión de los clientes respecto a la calidad de servicio que perciben del MakerSpace.

Esta métrica se expresará como un puntaje del 1 al 5.

- **¿Cómo se medirá?:** Al finalizar cada servicio con un cliente, se le solicitará responder una encuesta de satisfacción donde calificará del 1 al 5, donde 1 es deficiente y 5 es excelente, distintos aspectos de su experiencia.

Algunos de estos aspectos podrían ser trato por parte de los ayudantes, nivel de satisfacción con el servicio entregado, rapidez del trabajo, comodidad, experiencia general, etc.

- **¿Cómo se mostrará la data?:** Datos tabulados por tipo de cliente.

4.2.4. Línea base

X_1 - Disponibilidad del espacio

A partir del análisis de la distribución del espacio realizada en septiembre del 2019, se tienen los datos expuestos a continuación y presentados de manera gráfica en la figura 4.10.

- Espacio total: $77,35[m^2]$
- Espacio funcional: $16,71[m^2]$
- Espacio mal utilizado: $8[m^2]$
- Espacio libre: $52,63[m^2]$

⇒ Porcentaje del espacio efectivamente disponible para realizar trabajos:
90 %

Las estimaciones realizadas se detallan en la sección 8.3 de los Anexos.

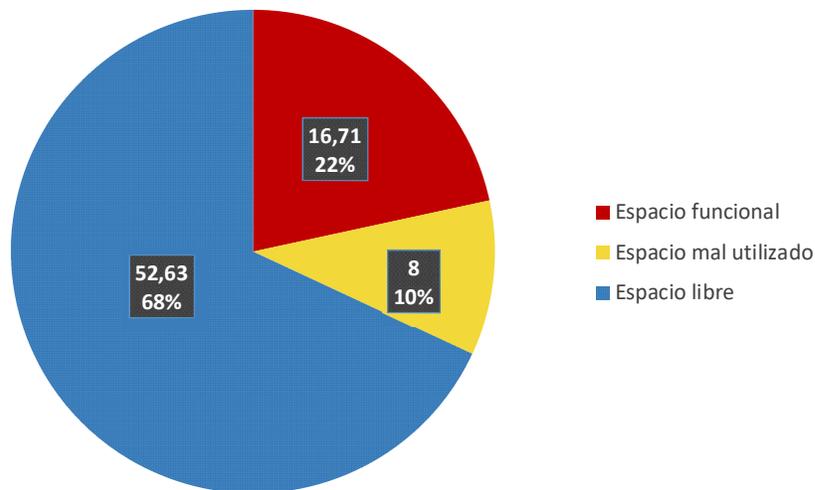


Figura 4.8: Distribución espacial dentro del laboratorio. Los datos se muestran en metros cuadrados y porcentajes.

X_2 - Disponibilidad de ayudantes

A partir de la tabla 8.7, se obtienen los datos expuestos a continuación y presentados de manera gráfica en la figura 4.9.

- Horas de disponibilidad diarias promedio para el primer semestre del 2019: 6,9 [h]
 - Horas de disponibilidad diarias promedio para el segundo semestre del 2019: 4,8 [h]
 - Horas ideales de disponibilidad según planificación: 10 [h]
- ⇒ Porcentaje de disponibilidad diaria de ayudantes en el laboratorio para el período 2019-1: 69 %
- ⇒ Porcentaje de disponibilidad diaria de ayudantes en el laboratorio para el período 2019-2: 48 %

El detalle de la distribución horaria con la que se calcularon estos datos se encuentra en la sección 8.4 de los Anexos.

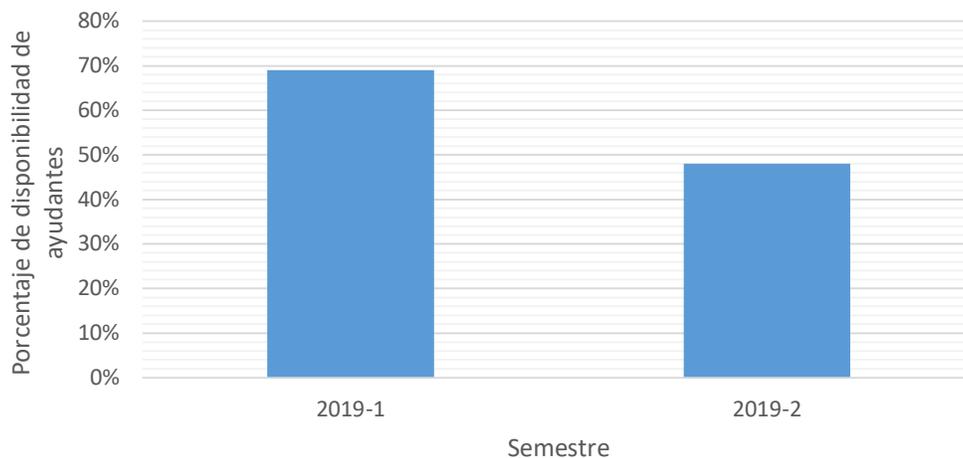


Figura 4.9: Porcentaje histórico de disponibilidad de los ayudantes en el laboratorio. Creado con los datos de la tabla 8.7.

Con la cantidad actual de datos por semestre no se puede extraer información importante del gráfico de la figura 4.9, pero, en la medida en que se

registre el comportamiento de disponibilidad en otros semestres, se podría ver una tendencia que afecte el nivel de servicio.

X_3 - Disponibilidad de las máquinas

Ya que no se cuenta con un registro oficial sobre el uso de las máquinas, se realizó una serie de observaciones entre mayo y octubre del 2019. Los datos obtenidos se resumen en la tabla 4.8.

Tabla 4.8: Datos sobre el uso y las fallas registradas en cada máquina entre mayo y octubre del 2019.

Máquina	Uso	Fallas
Cortadora láser	10	0
ShopBot	5	0
Ultimaker	2	2
MakerBot	0	0
Compact Router	0	0

- Promedio ponderado de la disponibilidad: 5,5 [-]
- Caso de 100 % de disponibilidad: 5,7 [-]

⇒ Porcentaje de disponibilidad de las máquinas: 96,49 %

La distribución para ponderar la importancia de cada máquina en el promedio se detalla en la sección 8.5 de los Anexos.

X_4 - Disponibilidad de materiales

No existe ningún tipo de inventario de materiales.

X_5 - Nivel promedio del manejo de las máquinas por parte de los ayudantes

- Nivel de manejo de la Cortadora láser: 100 %
- Nivel de manejo de la ShopBot: 53,12 %
- Nivel de manejo de la impresora Ultimaker: 75 %

- Nivel de manejo de la impresora MakerBot: 62,5 %
 - Nivel de manejo de la Compact Router: 25 %
- ⇒ Nivel promedio del manejo de las máquinas: 72,19 %

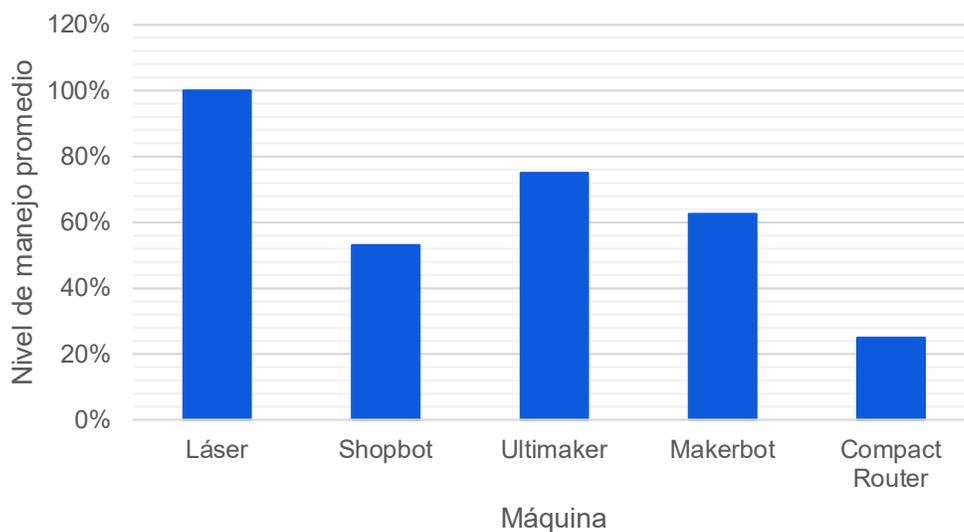


Figura 4.10: Nivel promedio de manejo en cada máquina. Creado con datos de la tabla 8.9.

Los detalles sobre los datos obtenidos y el cálculo de los promedios se encuentra en la sección 8.6 de Anexos.

X_6 - Cumplimiento de plazos

Actualmente, existe un registro de proyectos recepcionados por el MakerSpace, pero no se tiene información sobre el cumplimiento de los plazos para cada uno.

X_7 - Cantidad de señaléticas

El estado de esta métrica en septiembre del 2019 es el siguiente:

- Señales existentes en el laboratorio: 2

- Señales que deberían estar presentes según la ACHS: 16

⇒ Porcentaje de cumplimiento: 12,5 %

X_8 - Conducta de trabajo

No existe ningún registro sobre esta métrica. Sin embargo, en junio del 2019 se tuvo la oportunidad de observar durante tres jornadas el trabajo de prototipado de un grupo de aproximadamente 10-15 alumnos de IdP.

Las únicas EPP que usaron al trabajar fueron guantes, cuando además necesitaban por lo menos zapatos de seguridad y gafas protectoras. Además, trabajaban con música a todo volumen, lo que relajaba sus acciones y los distraía.

Como observación aproximada, el 70 % del grupo calificaría con un 1 de puntaje y el otro 30 % con un 5, dando un puntaje promedio de 2,2 aproximadamente. Sin embargo, no se tiene registro que respalde esta estimación.

X_9 - % de clientes que usan EPP

No existe registro o algún tipo de datos sobre esta métrica.

Y_1 - Nivel de seguridad

No existe registro o algún tipo de datos sobre esta métrica.

Y_2 - Nivel de servicio

Actualmente, no existen datos históricos sobre esta métrica. Sin embargo, se realizó una encuesta online para tener una idea aproximada de cómo el cliente percibe el servicio entregado por el MakerSpace. A continuación se presentan los resultados promedio:

- Trato por parte de las personas del MakerSpace percibido por los clientes: 4,6

⇒ Nivel de servicio percibido por los clientes: 4,7

Los detalles de la encuesta realizada se encuentran en la sección 8.8 de los Anexos.

4.3. Analizar

A continuación se analizará la información obtenida en las etapas anteriores, se evaluará su validez y se sacarán conclusiones.

4.3.1. Oportunidades de mejora encontradas y análisis preliminares

Antes de aplicar las herramientas propias del DMAIC, se reconocen algunos hallazgos y oportunidades de mejora encontradas en las etapas anteriores:

Información importante de la ACHS

La ACHS afirma en uno de sus documentos que la actitud de las personas al trabajar influye fuertemente en la probabilidad de sufrir o provocar un accidente.

Las personas que tienen comportamientos permisivos al realizar sus actividades tienden a desarrollar una rutina que involucra actos incorrectos y condiciones inseguras que pueden provocar un accidente [1].

Esta afirmación refleja una fuerte influencia de la métrica "X₈ - Conducta de trabajo" en la "Y₁ - Nivel de seguridad".

Respuestas abiertas encuesta del nivel de servicio

Dentro de las respuestas obtenidas sobre el nivel de servicio que percibían los clientes sobre el MakerSpace, se rescataron las siguientes para ser analizadas:

- *"Ha sido nula mi experiencia, principalmente por lo poco que sé del espacio, o no se han "publicitado" o simplemente no me he enterado"*
- *"... Creo que deberían distribuir mejor el espacio y tratar de mantener más el orden y limpieza del lugar."*
- *"... Lo que se podría mejorar es el tamaño del espacio disponible para trabajar."*
- *"Falta un sistema de control de ingreso y salida de las herramientas y materiales"*

Además, la mayoría de las respuestas manifestaban haber solicitado ayuda para realizar corte láser y unas pocas el préstamo de herramientas.

Relación entre los desperdicios encontrados y las métricas definidas

Los desperdicios encontrados y las métricas definidas en la etapa anterior se pueden relacionar de manera preliminar de la siguiente manera:

Y_1 : Falta de protocolos de seguridad para los clientes

Y_2 : Desorden administrativo

Falta de control para el préstamo de herramientas

Computadores con mal funcionamiento

Turnos de trabajo poco claros

X_1 : Falta de delimitación de espacios

Espacio mal utilizado

X_3 : Equipos en mal estado

Falta de mantenimiento preventivo

X_4 : Falta de control de inventario

X_5 : Falta de ayudantes capacitados

Estas hipótesis de correlación se confirmaran o desmentirán más adelante en esta etapa del DMAIC.

Diagramas de spaghetti

De los *diagramas de spaghetti* que se realizaron se puede observar que la cortadora láser requiere menos movimientos entre la máquina, los materiales y el computador en comparación a los movimientos que requiere la ShopBot para lo mismo. Esto es un antecedente a considerar en caso de que se quiera modificar el espacio.

4.3.2. Ishikawa

Se plantean tres preguntas, para ser abordadas con un diagrama diferente, en torno a tres temas:

- El objetivo de ser un laboratorio de manufactura avanzada.
- El nivel de seguridad.
- El nivel de servicio.

Con los dos últimos temas se busca profundizar las "Y" planteadas anteriormente.

Como se estableció al inicio de este documento, el objetivo general de este trabajo es *"Implementar estrategias de mejora acorde a los requerimientos y necesidades del laboratorio de manufactura avanzada"*. Bajo la premisa de que el laboratorio está funcionando en condiciones corrientes y sin estándares definidos por razones más fuertes que la cotidianeidad que siempre ha existido, es que surge la siguiente pregunta:

¿Qué le impide al MakerSpace ser un laboratorio de manufactura avanzada?

Luego de la recopilación de diversas lluvias de ideas realizadas con los ayudantes a lo largo de este trabajo, se logró el siguiente diagrama:

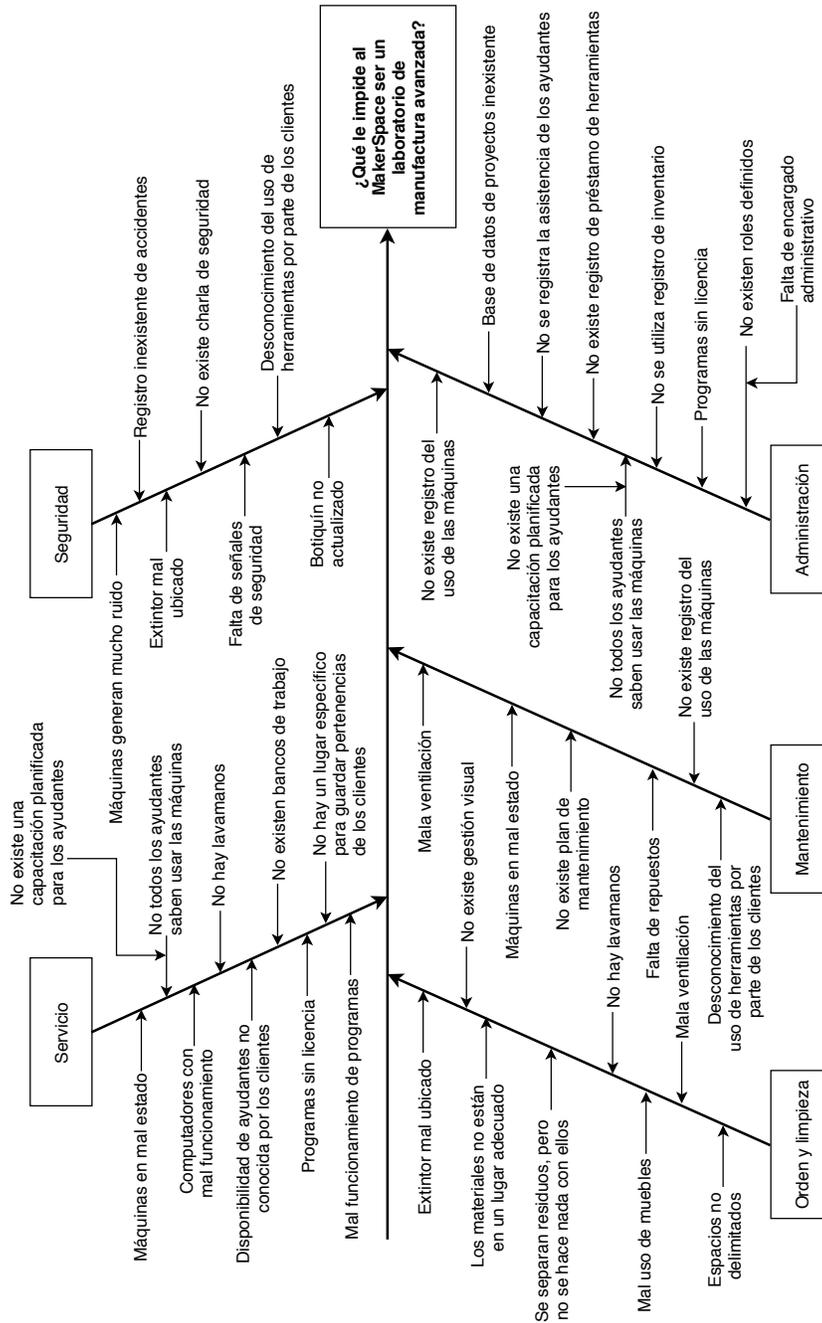


Figura 4.13: Diagrama de Ishikawa para el análisis global de posibles problemas.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

Para el análisis de las "Y", se plantean dos nuevas preguntas para encontrar nuevas posibles causas raíces y/o validar o descartar las ya planteadas. Para establecer las espinas de pescado principales se consideran los elementos del método 6M.

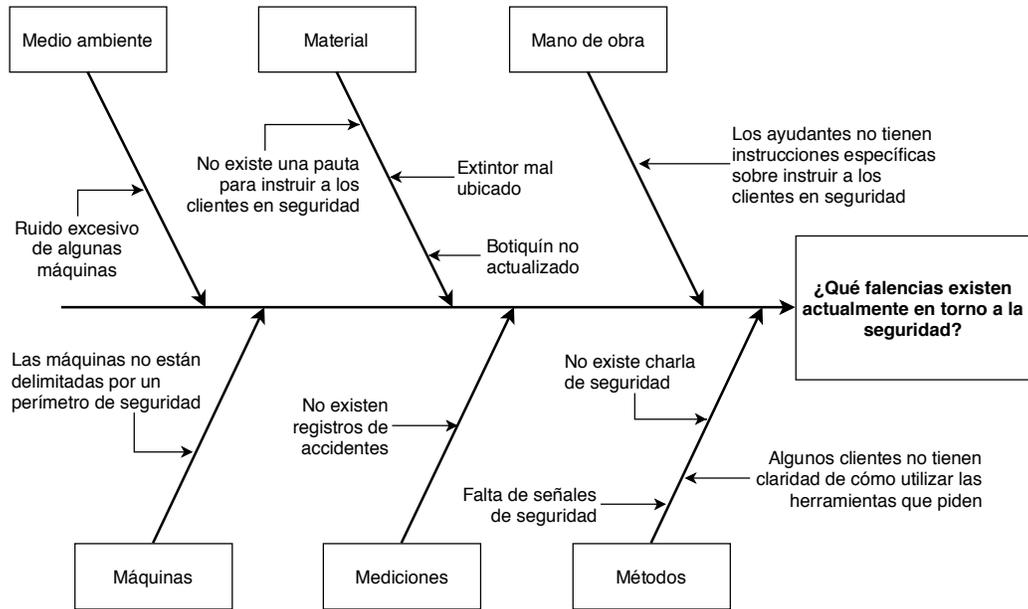


Figura 4.14: Diagrama de Ishikawa para analizar los factores que influyen en el Nivel de seguridad.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

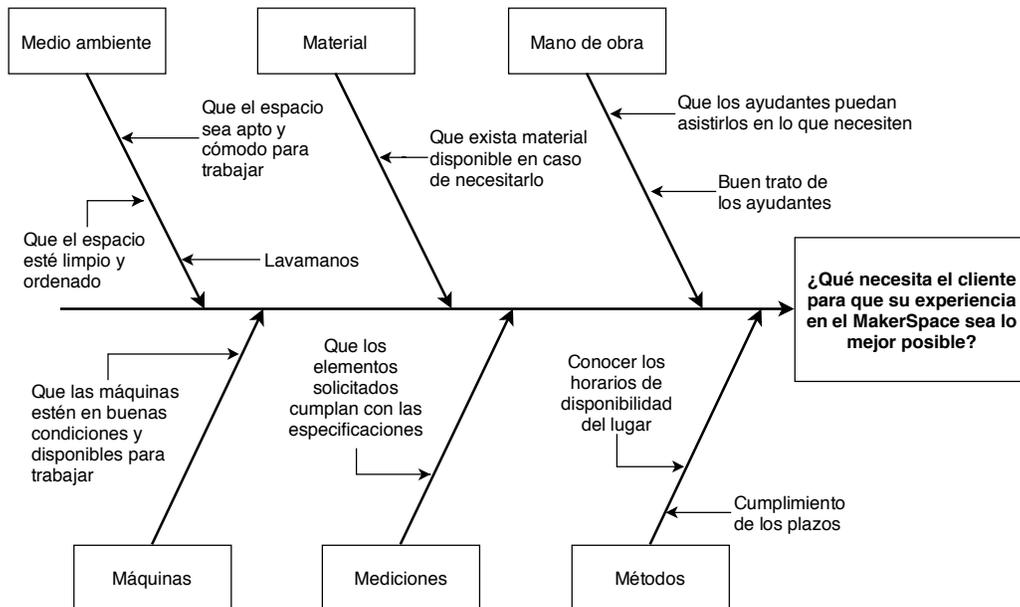


Figura 4.15: Diagrama de Ishikawa para analizar los factores que influyen en el Nivel de servicio.

El diagrama de la figura 4.15 fue influenciado por las respuestas abiertas que dieron los clientes en la encuesta sobre el nivel de servicio realizada para definir la línea base de la métrica "Y₂".

4.3.3. Pareto

Para validar y/o descartar las distintas hipótesis encontradas en los diagramas de Ishikawa de las figuras 4.13, 4.14 y 4.15 se realiza un análisis de Pareto para cada uno.

Análisis general

El concepto de *MakerSpace*, como se mencionó en la introducción de este trabajo, está enfocado en disponer un espacio, a una comunidad definida, para que las personas puedan trabajar en equipo diseñando y construyendo proyectos. Además, se busca que las personas que accedan a este espacio puedan compartir recursos y conocimientos, desarrollando habilidades profesionales.

Por otra parte, la *manufactura avanzada* es la generación y aplicación del conocimiento y tecnología de vanguardia para la creación de productos, componentes y servicios asociados con alto valor agregado con potencial de impacto [4]. En este caso particular, la manufactura avanzada está enfocada a los materiales y a los procesos.

La idea del laboratorio es combinar el modo de trabajo tipo MakerSpace con el conocimiento y tecnología de vanguardia que representa la manufactura avanzada. Si se quieren lograr ambas cosas, lo primero es mejorar o "limpiar" lo que ya existe, siguiendo el pensamiento *lean*, para luego incorporar mejoras más complejas.

Considerando lo anterior, lo primero es que el laboratorio cuente con las condiciones óptimas para el desarrollo de prototipos, definiendo así la siguiente escala para comenzar a atacar los problemas del diagrama de la figura 4.13:

- **5:** Necesario para cumplir con las condiciones básicas para trabajar.
- **4:** Solucionarlo facilitaría de manera importante los trabajos que se hace actualmente.
- **3:** Solucionarlo facilitaría de manera leve los trabajos que se hace actualmente.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

- 2: Mejorar este elemento no aporta de manera significativa a mejorar los trabajos que se hacen actualmente.
- 1: Agrega funciones nuevas al laboratorio.

Luego de asignar los puntajes como se muestra en la tabla 8.10, se obtiene el siguiente gráfico de Pareto:

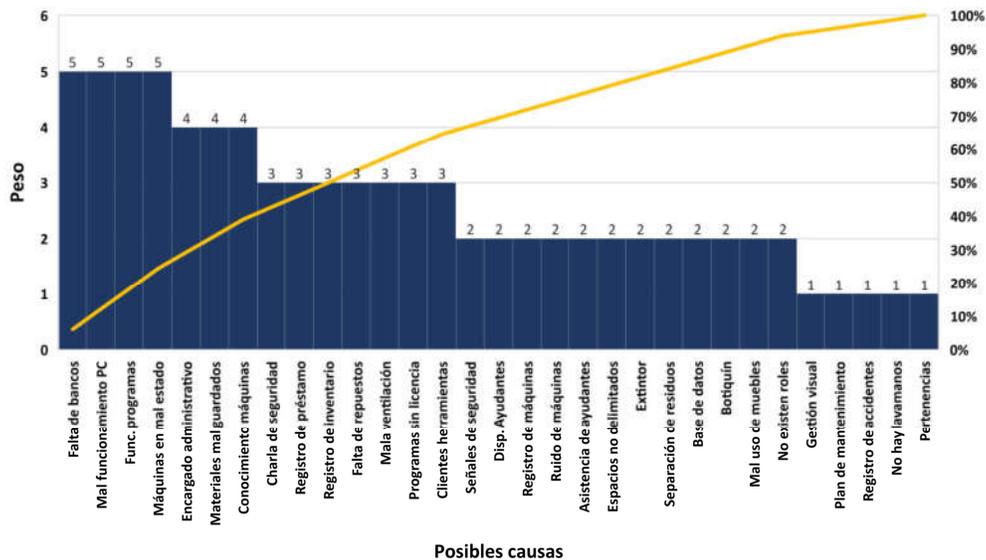


Figura 4.16: Gráfico de Pareto obtenido a partir de los datos de la tabla 8.10.

Cabe destacar que la definición de la escala de puntajes para este análisis y la asignación de los mismos se hizo considerando netamente la eficiencia de los trabajos que se realizan actualmente en el laboratorio. La seguridad y el servicio se tratarán en los análisis que siguen a continuación.

Nivel de Seguridad

Para analizar el diagrama de la figura 4.14, se considerará una escala que refleje el impacto que puede tener cada elemento en el riesgo de accidentes si no se mejora:

- 5: Impacto muy fuerte

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

- 4: Impacto fuerte
- 3: Impacto medio
- 2: Impacto bajo
- 1: Impacto nulo

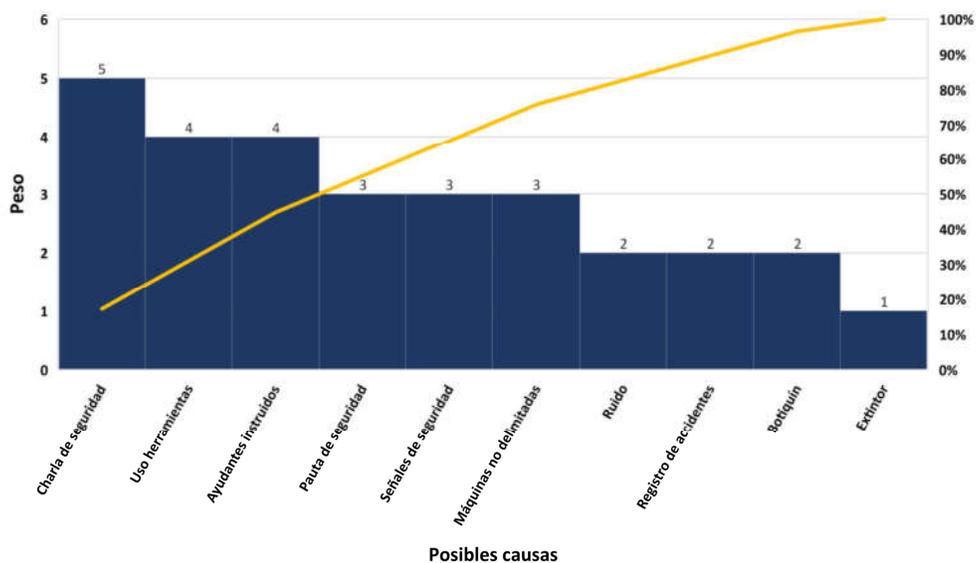


Figura 4.17: Gráfico de Pareto obtenido a partir de los datos de la tabla 8.11.

Nivel de servicio

El criterio para discriminar la importancia de cada elemento presente en el diagrama de la figura 4.15 se basa en el cómo el cliente puede sentirse al respecto:

- 5: Indispensable
- 4: Importante
- 3: Bueno
- 2: Agradece su existencia

- 1: Indiferente

Considerando las respuestas obtenidas en las preguntas abiertas de la encuesta realizada para definir la línea base de la métrica "Y₂", la experiencia y las observaciones personales, se asignan los puntajes como se aprecia en la tabla 8.12. Finalmente, se obtiene el siguiente gráfico de Pareto:

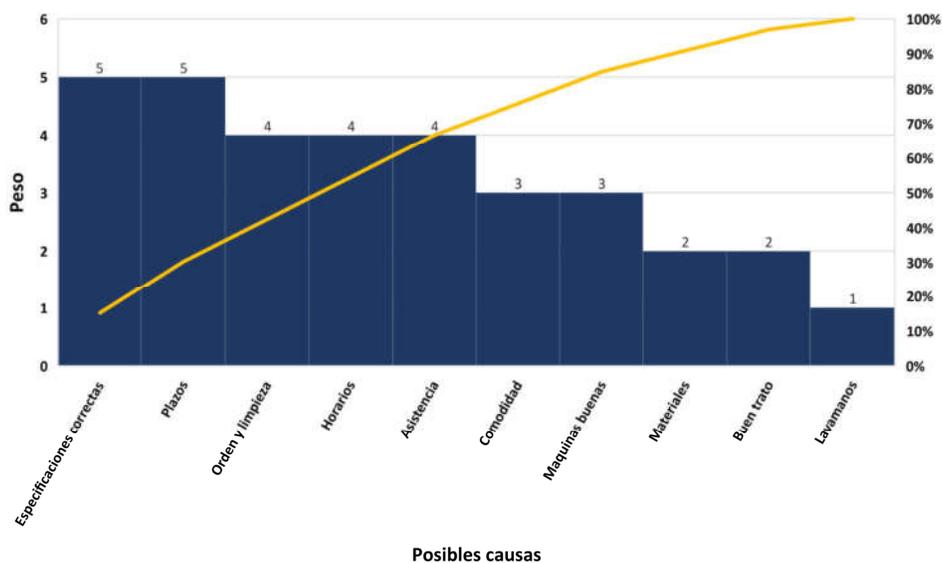


Figura 4.18: Gráfico de Pareto obtenido a partir de los datos de la tabla 8.12.

4.3.4. Ishikawa post Pareto

El análisis de Pareto habla de una relación 80/20, aplicado a este caso, quiere decir que el 80 % de los problemas se pueden resolver atacando el 20 % de las causas. Así, el primer 20 % de las causas raíces encontradas en cada caso se presentan como nuevas espinas de pescado simplificadas en las figuras 4.19, 4.20 y 4.21.

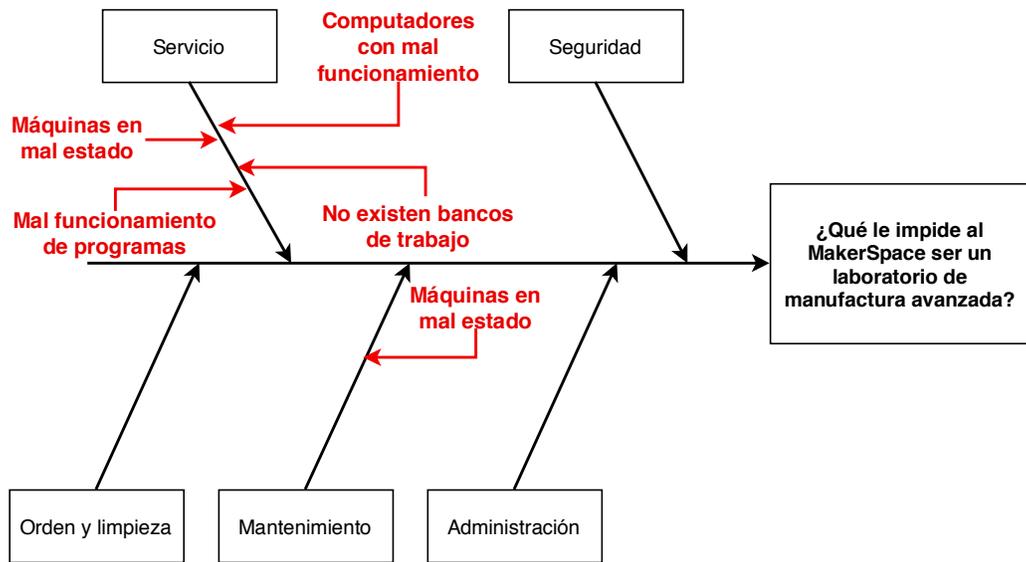


Figura 4.19: Diagrama de Ishikawa general tras la aplicación del análisis de Pareto.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

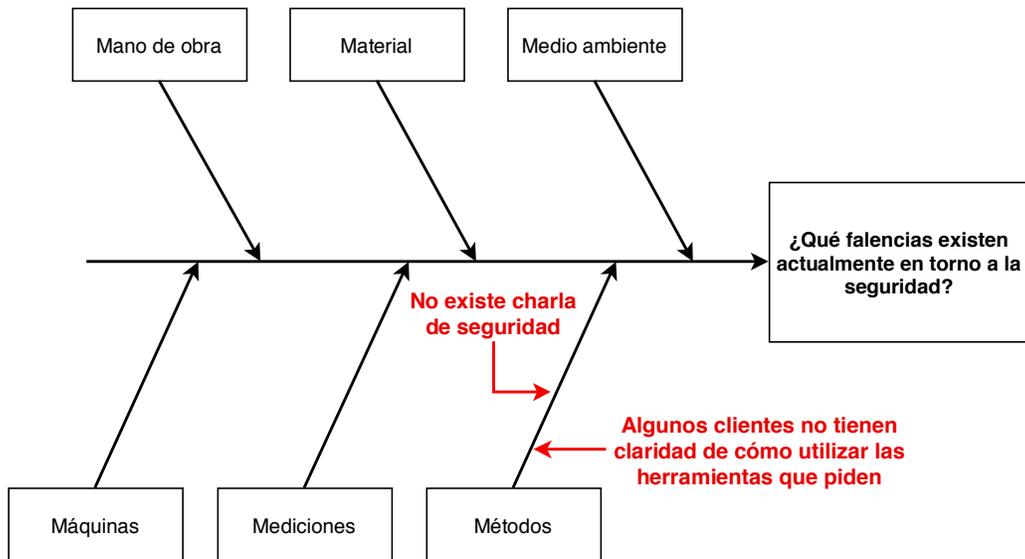


Figura 4.20: Diagrama de Ishikawa "Y₁" tras la aplicación del análisis de Pareto.

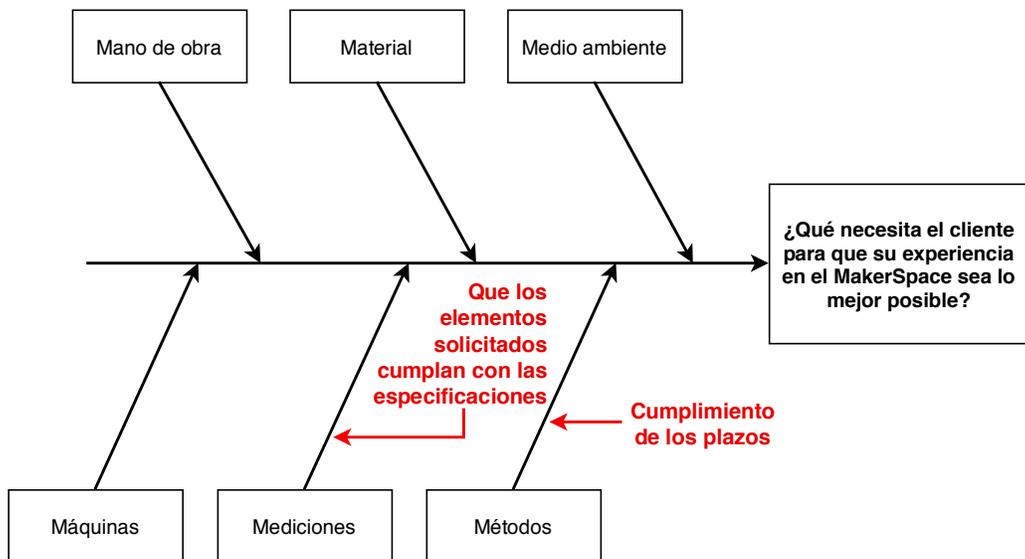


Figura 4.21: Diagrama de Ishikawa "Y₂" tras la aplicación del análisis de Pareto.

4.3.5. 5 porqués

A continuación, se presentan los diagramas de los "5 porqués" realizados a algunas de las causas más importantes identificadas, las cuales son: *No existe charla de seguridad* (figura 4.22), *Falta de encargado administrativo* (figura 4.23), *No existe registro de préstamo de herramientas* (figura 4.24) y *No se utiliza registro de inventario* (figura 4.25). Estos diagramas tienen como objetivo encontrar la razón por la cual ocurren estas situaciones.

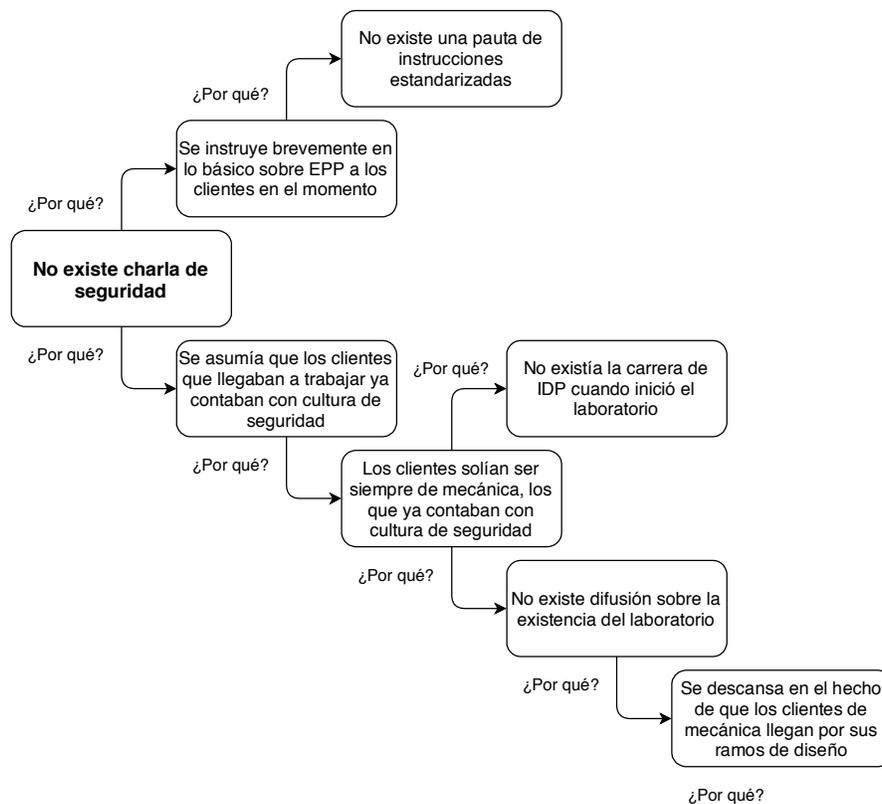


Figura 4.22: Diagrama "5 porqués" para el análisis de la ausencia de charla de seguridad.

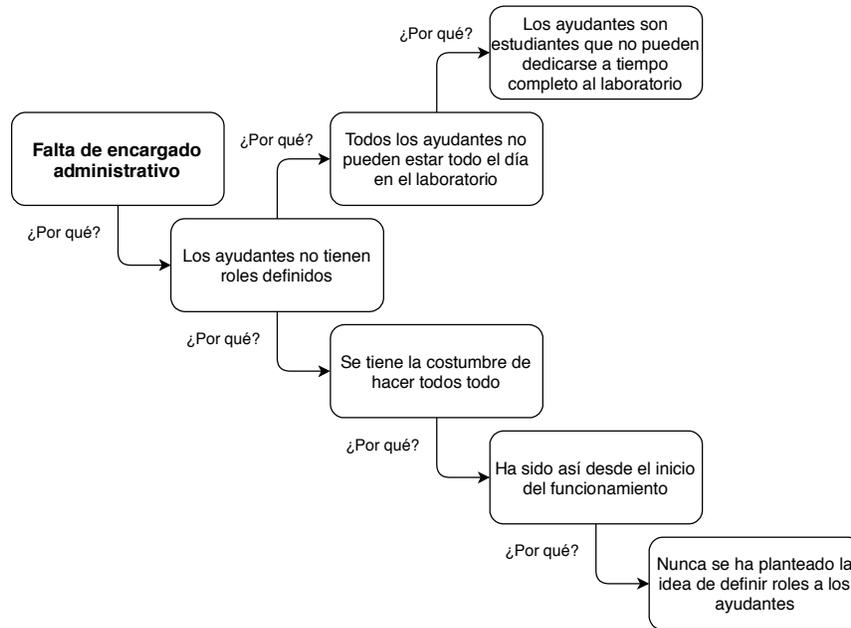


Figura 4.23: Diagrama "5 porqués" para el análisis de la falta de encargado administrativo.

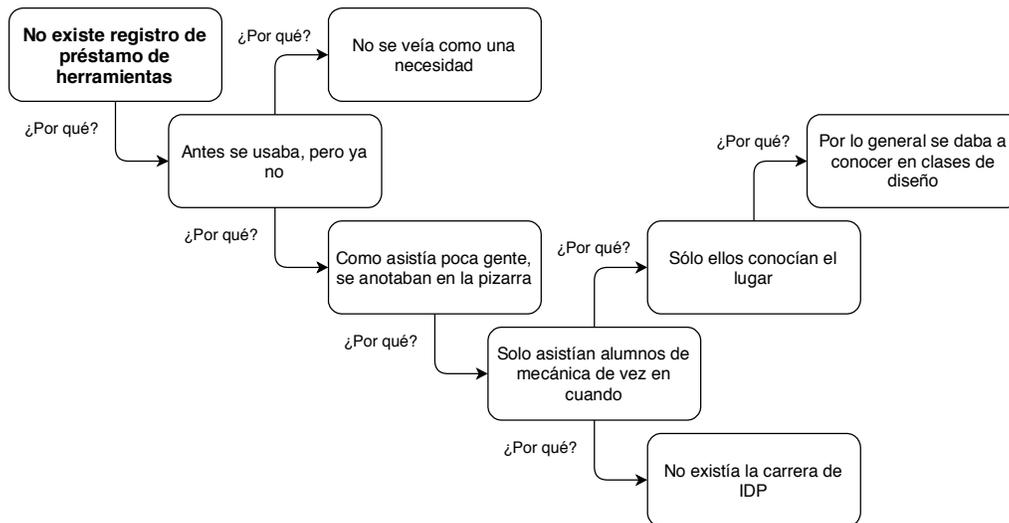


Figura 4.24: Diagrama "5 porqués" para el análisis de la falta de registro sobre el préstamo de herramientas.

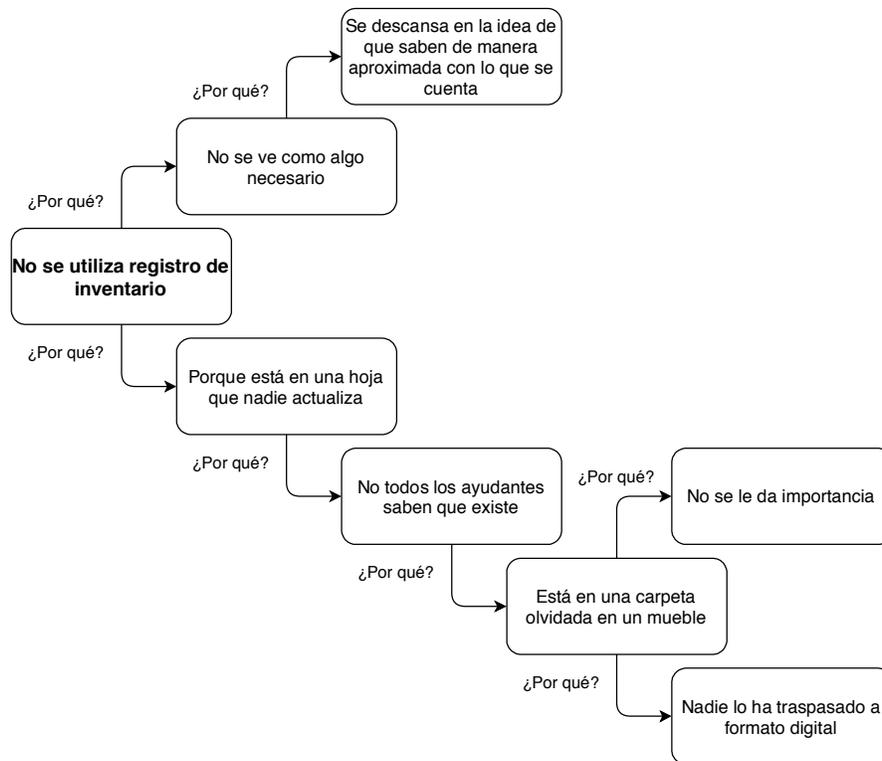


Figura 4.25: Diagrama "5 porqués" para el análisis de la falta de registro de inventario.

4.3.6. Análisis adicionales

Factores que influyen en el riesgo de accidentes

Según la *Fundación Internacional ORP*, que es una fundación internacional de prevención de riesgos laborales, reconoce la fuerte influencia de tres factores en la salud ocupacional de una empresa, estos son:

- **El uso de EPP:** A pesar de que el uso de estos elementos no elimina por completo el riesgo de sufrir un accidente, sí disminuyen de manera considerable la exposición de los trabajadores a los peligros existentes y el impacto que los accidentes puedan tener en la persona.
- **Charlas de seguridad:** Este factor puede llegar a tener un alto impacto en la conducta de las personas. En estas charlas se deben resaltar las condiciones óptimas de trabajo, promover las buenas prácticas, destacar los riesgos que existen dentro de la empresa, el uso correcto de las EPP, los derechos de los trabajadores en cuanto a la salud ocupacional, entre otros.
- **Higiene y seguridad industrial:** Mantener este factor bajo control ayuda a disminuir los riesgos en el trabajo. Además, se debe conocer y entender las normativas locales respecto a los planes de seguridad y salud en el trabajo para ser aplicadas de manera correcta y así proteger a los trabajadores.

Esta fundación también recomienda reforzar y promover la cultura de seguridad cada vez que ingrese personal nuevo, cuando se realicen cambios en los métodos utilizados y/o cuando se estime prudente. [14]

Todo esto refleja que el principal factor que influye en la prevención de accidentes laborales es la actitud de los trabajadores (X_8). Así, el uso de EPP (X_9), la presencia de señales de seguridad (X_7) y la existencia de una charla de seguridad son elementos que apuntan a mejorar la conducta segura de las personas.

Gestión de la seguridad basada en el comportamiento

Como ya se mencionó anteriormente, la conducta de las personas frente al trabajo es un factor clave para prevenir accidentes y generar un entorno de trabajo seguro.

Aplicando la *Teoría Tricondicional del Comportamiento Seguro* de Meliá, que se detalló en la sección 2.7 del Marco Teórico, a la situación particular del laboratorio se puede afirmar lo siguiente:

- (PH) Para que existan condiciones seguras de trabajo en el laboratorio se debe disponer el lugar y los implementos de manera segura. Para asegurar estas condiciones es necesario considerar el orden y la limpieza del lugar como una prioridad.
- (SH) Se debe verificar que los ayudantes sepan utilizar las máquinas y herramientas del laboratorio. En caso de no tener el conocimiento necesario, deben ser instruidos y asegurar el aprendizaje.
- (SH) Se debe verificar que los clientes sepan usar las herramientas que les son facilitadas para trabajar en el lugar. En caso de no saber utilizarlas, deben ser instruidos y asegurar el aprendizaje.
- (SH) Se debe informar a todas las personas que trabajen en el lugar, tanto al staff como a los clientes, de los riesgos que implican las actividades que se realizan.
- (QH) En el caso de los alumnos de mecánica, la cultura de seguridad que traen de ramos como *Taller general* es de mucha ayuda para generar la motivación interna de tener una conducta segura. Pero en el caso de los alumnos de IDP y otras carreras, de las cuales no se cuenta con antecedente para saber si se les instruye en seguridad, se debe buscar una manera de motivarlos de manera externa a tener conductas seguras.

Medición del Nivel de servicio en la Línea base

La encuesta online que se realizó para tener una primera aproximación de lo que los clientes opinan sobre la calidad del servicio que entrega el MakerSpace es sólo referencial y no es válido como un valor fidedigno.

La idea original de realizar una encuesta de satisfacción, expresada en el plan de medición de esta métrica, es aplicarla justo al terminar el servicio de manera presencial. Cuando el cliente responde una encuesta de manera presencial por un servicio que acaba de recibir, la experiencia de este servicio está fresca en su mente y las opiniones al respecto fluirán con mayor facilidad.

En cambio, si se realiza una encuesta online, de un servicio que se realizó hace más de medio año, los clientes no se mostrarán interesados en responderla. Incluso podría darse la situación de que los clientes no recuerden parte o la totalidad de los detalles de cómo fue su experiencia de servicio.

Por estas razones es que los resultados de la encuesta online deben tomarse como un una idea aproximada de cómo los clientes perciben el servicio del MakerSpace y no como un dato confiable.

Niveles de ruido

Algunas máquinas generan mucho ruido al trabajar con ellas. La mejor solución, para proteger la salud auditiva de las personas que estén en el laboratorio, sería pedirles a todos que usen protección auditiva cuando se esté usando una máquina ruidosa. Esto ya que el laboratorio es un solo gran espacio y, por el tamaño del lugar, no es conveniente encerrar estas máquinas.

Señales de seguridad que deberían existir según la ACHS

La Asociación chilena de seguridad dispone una serie de documentos en su portal web *www.achs.cl* en los que se indica cuando y donde se deberían disponer señales en un determinado espacio. Tras revisar algunos de estos documentos, se considera que el laboratorio debería contar con las señales ilustradas en la figura 4.26, las cuales se detallan a continuación:

- *Impresoras 3D*: Para el sector en el que se encuentran las dos impresoras 3D se necesita una señal de advertencia "*Mantenga Protección*", para indicar que las máquinas deben tener sus protecciones cerradas cuando se esté mecanizando.
- *Compact Router*: Esta máquina también debe contar con una señal de advertencia "*Mantenga Protección*" para mantener la cabina cerrada mientras se trabaja.
- *ShopBot*: Esta máquina debe contar con cuatro señales de advertencia: "*Mantenga Protección*", "*Proteja sus oídos*", "*Proteja su vista*" y "*Proteja sus manos*". También debe contar con una señal de atención "*Cuidado, Proyección de Partículas*".
- *Cortadora láser*: Se necesitan las señales de advertencia: "*Mantenga Protección*", "*Proteja su vista*" y "*Proteja sus manos*".
- *Entrada*: El lugar solo tiene una entrada de acceso peatonal, la cual necesita una señal de seguridad *Salida de Emergencia*.
- *Botiquín*: Se debe indicar la presencia del botiquín con la señal de peligro *Botiquín de primeros Auxilios*.
- *Taladro*: El taladro debe contar con las señales de advertencia "*Proteja su vista*" y "*Proteja sus pies*".
- *Extintor*: Se debe indicar la presencia del extintor con la señal de peligro *Extintor*.

Considerando esto, el laboratorio carece de 14 señales de seguridad. Sumando las 2 señales ya existentes, se tiene un total de 16 señales con las que debería contar el espacio, lo que deja un 12,5% de cumplimiento, cifra que se mencionó en la etapa de anterior.

4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC

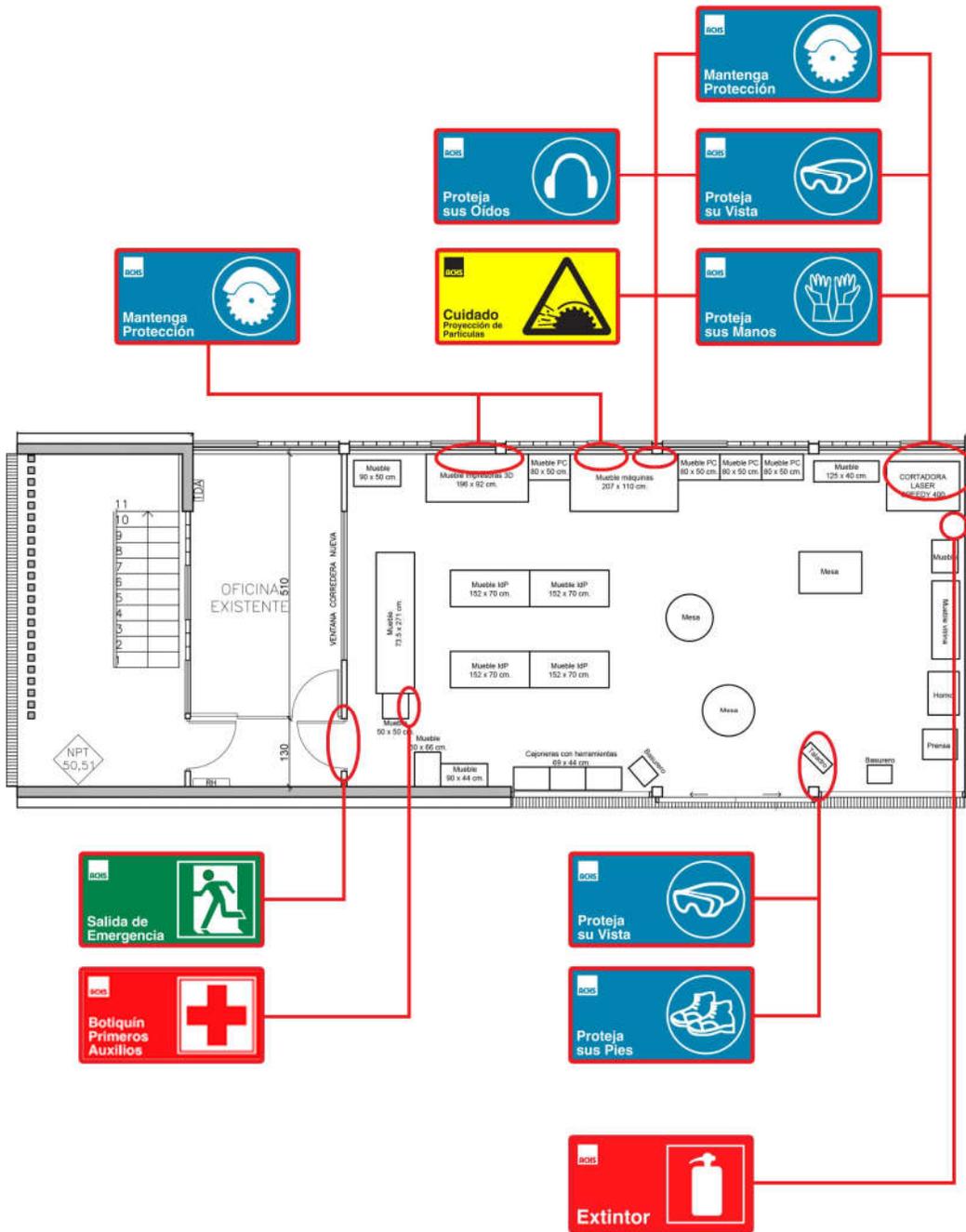


Figura 4.26: Señales de seguridad que faltan en el laboratorio. Fuente: Elaboración propia, referencia de señales extraídas de [2]

4.3.7. Redefinición de las métricas de seguridad

En las primeras definiciones de este trabajo y en la parte de medir, se plantearon ciertas hipótesis sobre las posibles causas raíces que existen en torno a la seguridad del laboratorio. Luego de analizar y contrastar esas hipótesis con la teoría existente y algunas observaciones conductuales limitadas se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- El factor que más influye en el nivel de seguridad es la conducta segura de las personas (X_8). Este parámetro debe ser controlado de cerca.
- Según la literatura de Heinrich, se debe tener cuidado con el uso de estímulos negativos en torno a las métricas, esto pone bajo alerta la definición del nivel de seguridad (Y_1), ya que esta se definió como la cantidad de días sin accidentes.

Dado que nunca antes había existido una definición de métricas, se recomienda mantener esta definición para medir el nivel de seguridad, pero seguir de cerca el efecto que pueda tener en las personas.

Se sugiere reevaluar esta métrica luego de tres semestres desde su implementación y, de ser necesario, redefinirla.

- No se encontraron antecedentes respecto al efecto de las señales de la seguridad en las personas (X_7). Sólo se encontró información normativa al respecto.
- El uso de EPP (X_9) y la presencia de señales (X_7) apunta a influir principalmente en la conducta segura de las personas (X_8) más que directamente en el nivel de seguridad (Y_1).

El uso de EPP puede ser incorporado como un parámetro dentro de la conducta segura de las personas.

Por otra parte, se recomienda instalar las señales en el laboratorio, pero no mantener bajo control de manera estricta.

- La higiene industrial saltó como un factor que parece influir en el nivel de seguridad según la literatura. Se recomienda mantener en control ese factor.

Todo lo anterior se debe comprobar en la práctica cuando se pueda aplicar de manera segura.

4.3.8. Redefinición de las métricas de servicio

La situación del nivel de servicio es similar a la anterior. Luego de analizar la opinión de los clientes expresada en la encuesta realizada y otros factores, se pueden desprender las siguientes conclusiones:

- La presencia o falta de materiales en stock (X_4) afecta el servicio solo cuando el Departamento de Ingeniería Mecánica es el cliente y solicita que los ayudantes realicen un proyecto para ellos. Para los clientes que son alumnos, de cualquier tipo, siempre se les pide que traigan sus propios materiales, así que es difícil que los materiales se vean reflejados en alguna encuesta de satisfacción.
- En la encuesta de satisfacción realizada salió un elemento no considerado en las hipótesis, el nivel limpieza y orden del lugar. Se debe controlar de manera presencial este factor para comprobar si efectivamente influye en el nivel de servicio percibido por el cliente (Y_2).
- Respecto al cumplimiento de plazos (X_6), es algo que no se ha controlado históricamente, pero está tan arraigado en los ayudantes que no representa una variable que se deba controlar por el momento. Se recomienda invertir esfuerzos en otros factores para verificar su influencia en el nivel de servicio. En un trabajo de mejora futuro se puede abordar este elemento.
- Algo que se pudo visibilizar con la encuesta realizada a los clientes, y que no fue considerado antes, es que el conocimiento que tienen los ayudantes en las herramientas *CAD* también influyen en el servicio que se le da a los clientes (Y_2). Esto ya que el cliente puede solicitar apoyo en la etapa de diseño de su prototipo.

El nivel de manejo de los ayudantes en herramientas *CAD* podría incluirse en la métrica de nivel de manejo de los ayudantes (X_5).

- La encuesta de satisfacción también reveló que la disponibilidad del espacio para trabajar (X_1) influye efectivamente en el nivel de servicio (Y_2) que perciben los clientes.

En base a estas afirmaciones se realizan las siguientes modificaciones:

X_5 - Nivel promedio del manejo de las máquinas por parte de los ayudantes

A la encuesta que se definió en la etapa de *Medir* se le agrega la pregunta: **¿Qué tan bien se maneja en las herramientas de Autodesk?**. En la sección de la pregunta se aclara que se debe elegir un número entre el 0 y el 4, donde 0 es "No sé utilizarlas" y 4 es "Me manejo perfectamente". El puntaje de esta pregunta se puede traducir en porcentajes para que se mida de la misma manera que las preguntas anteriores:

- 4: 100 %
- 3: 75 %
- 2: 50 %
- 1: 25 %
- 0: 0 %

El peso para ponderar el manejo de estas herramientas será de 2, ya que es útil para los clientes que los ayudantes puedan manejarlas, pero el conocimiento sobre el manejo de estos softwares depende de si los ayudantes han cursado o no los ramos de diseño de la carrera de mecánica.

X_{10} - Nivel de orden y limpieza

Se define esta nueva variable para comprobar si efectivamente influye en el proceso, la seguridad o el nivel de servicio. La manera de medir esta variable dependerá de como la definan los ayudantes.

Las afirmaciones anteriores deben apoyarse en las evidencias de la práctica una vez que las actividades de la universidad vuelvan a la normalidad. En caso de ser necesario, pueden también ser abordadas en futuros proyectos de mejora continua.

4.4. Mejorar

4.4.1. Ideas de mejora

En base a los hallazgos y análisis realizados en las etapas anteriores, se presentan las siguientes ideas de mejora como una lluvia de ideas preliminar:

1. Impartir una breve charla de seguridad cuando ingresen nuevos ayudantes y cuando lleguen clientes que necesiten trabajar en el laboratorio.
2. Establecer una capacitación estándar para instruir a los nuevos ayudantes que se incorporen.
3. Reincorporar el uso de fichas de préstamo de herramientas.
4. Registrar el uso de cada máquina para contar con datos históricos.
5. Instalar un cartel a la entrada del laboratorio con el horario de funcionamiento cada semestre.
6. Incorporar bancos de trabajo especialmente diseñados para realizar trabajos de prototipado.
7. Llevar un registro de inventario en la plataforma *Google Drive* para que todos en el laboratorio tengan acceso a él.
8. Contar con un apoyo académico que se encargue del área administrativa del laboratorio a tiempo completo.
9. Instalar un rack para las impresoras 3D del laboratorio y las de IDP.
10. Incorporar una rutina simple de mantenimiento que le puedan realizar los ayudantes a las máquinas.
11. Utilizar los convenios de mantenimiento que ofrecen las marcas de las máquinas cada cierto tiempo.
12. Contactar a los encargados de prevención de riesgos de la universidad para conseguir señaléticas adecuadas y una instalación correcta del extintor.
13. Verificar si los clientes efectivamente saben utilizar las herramientas que solicitan. En caso de no saber utilizarlas, instruirlos de manera breve.

14. Incorporar un protocolo de orden y limpieza dentro del laboratorio y reforzar esta cultura en los ayudantes y usuarios.
15. Incorporar un control de asistencias para los ayudantes.
16. Incluir la renovación o arreglo de los computadores en las cotizaciones del laboratorio.
17. Contar con las licencias de programas como el CorelDRAW, Microsoft Office y Adobe Illustrator.
18. Contar con repuestos para el lente de la cortadora láser.
19. Incorporar el uso de protección auditiva para todos los presentes en el laboratorio cuando se utilice una máquina que genere altos niveles de ruido.
20. Delimitar el perímetro de las máquinas.
21. Solicitar apoyo al equipo de difusión del Departamento de Ingeniería Mecánica para dar a conocer el laboratorio.
22. Implementar la gestión visual como el uso de etiquetas para las repisas y tarjetas para las máquinas.
23. Instalar un sistema de ventilación.
24. Establecer un lugar adecuado para almacenar los materiales como planchas y filamentos.
25. Verificar el contenido y el estado del botiquín cada inicio de semestre.
26. Instalar un lavadero dentro del laboratorio.
27. Instalar casilleros para las pertenencias de los ayudantes y clientes.
28. Incorporar una encuesta de satisfacción a los clientes cada vez que concluya un servicio.
29. Llevar un registro de accidentes.
30. Instalar un tablero de "Días sin accidentes".

4.4.2. Matriz de priorización

Se realiza una matriz para contrastar los costos y beneficios que puede tener cada una de las ideas de mejora planteadas en el punto anterior, esto con el objetivo de asignarles una prioridad para abordarlas.

Se considera el costo tanto el esfuerzo adaptativo que implicaría en las personas, como el costo monetario asociado a la implementación de la mejora. A mayor costo, mayor será la inversión.

Por otra parte, se considera beneficio como cualquier situación que provoque una mejora en las "Y", que traiga ganancias monetarias o que pueda favorecer al MakerSpace.

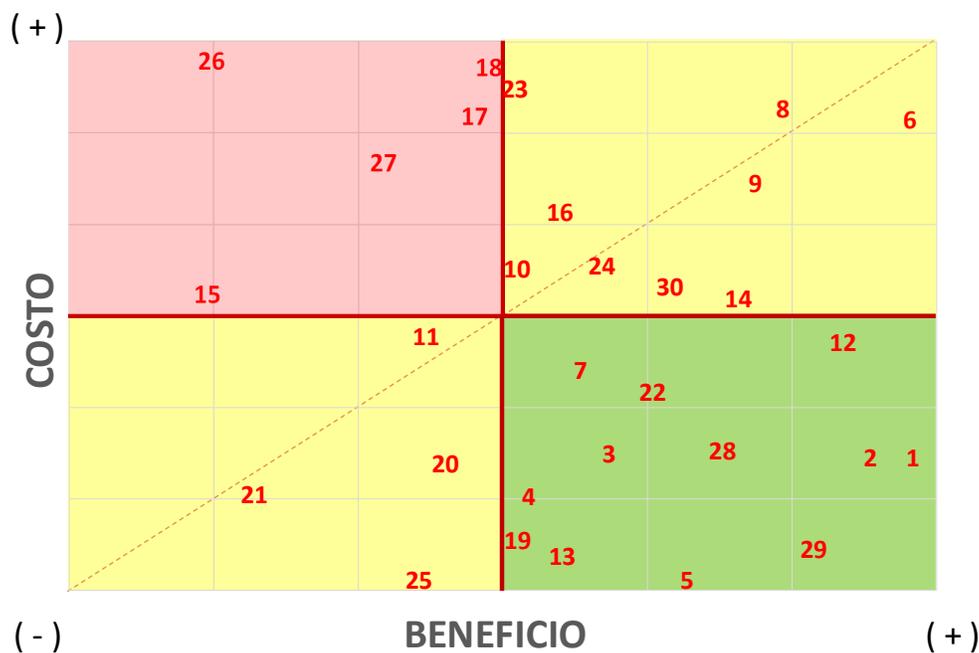


Figura 4.27: Matriz costo-beneficio para la clasificación de las ideas de mejora.

El gráfico de la figura 4.27 presenta cuatro regiones distintas, una verde, una roja y dos amarillas.

La región **verde** es la que presenta las mejoras condiciones, ya que trae altos beneficios a bajos costos. Ordenadas de mayor a menor beneficio, las ideas de mejora de esta sección son las siguientes:

1. Impartir una breve charla de seguridad cuando ingresen nuevos ayudantes y cuando lleguen clientes que necesiten trabajar en el laboratorio.
2. Establecer una capacitación estándar para instruir a los nuevos ayudantes que se incorporen.
12. Contactar a los encargados de prevención de riesgos de la universidad para conseguir señaléticas adecuadas y una instalación correcta del extintor.
29. Llevar un registro de accidentes.
28. Incorporar una encuesta de satisfacción a los clientes cada vez que concluya un servicio.
5. Instalar un cartel a la entrada del laboratorio con el horario de funcionamiento cada semestre.
22. Implementar la gestión visual como el uso de etiquetas para las repisas y tarjetas para las máquinas.
3. Reincorporar el uso de fichas de préstamo de herramientas.
7. Llevar un registro de inventario en la plataforma *Google Drive* para que todos en el laboratorio tengan acceso a él.
13. Verificar si los clientes efectivamente saben utilizar las herramientas que solicitan. En caso de no saber utilizarlas, instruirlos de manera breve.
4. Registrar el uso de cada máquina para contar con datos históricos.
19. Incorporar el uso de protección auditiva para todos los presentes en el laboratorio cuando se utilice una máquina que genere altos niveles de ruido.

Estas son las ideas a las cuales se les debe dar prioridad al momento de implementar las mejoras.

La región **roja** es la que presenta las peores condiciones, ya que requiere altos costos para obtener pocos beneficios. Ordenadas de mayor a menor beneficio, las ideas de mejora de esta sección son las siguientes:

18. Contar con repuestos para el lente de la cortadora láser.
17. Contar con las licencias de programas como el CorelDRAW, Microsoft Office y Adobe Illustrator.
27. Instalar casilleros para las pertenencias de los ayudantes y clientes.
26. Instalar un lavadero dentro del laboratorio.
15. Incorporar un control de asistencias para los ayudantes.

Estas ideas son las últimas a considerar, ya que el esfuerzo de aplicarlas es demasiado alto comparado a los beneficios que puedan generar.

Las regiones **amarillas** se deben analizar más en profundidad, ya que la relación entre el costo y el beneficio que produce la mejora tiene un comportamiento más lineal.

Como estas regiones son ambiguas en cuanto a la prioridad que se les podría asignar, ambas se dividen por el centro mediante una diagonal. Las dos subsecciones más cercanas a la zona verde tienen un mejor comportamiento que las que están más cercanas a la zona roja, esto se debe a que mientras más cerca de estas otras zonas, más se asemejan en comportamiento. Así mismo, el comportamiento que se tiene sobre esta línea diagonal tiende a ser neutro.

Considerando estas observaciones, las mejoras que se encuentran más cercanas a la región verde, ordenadas de mayor a menor beneficio, son las siguientes:

6. Incorporar bancos de trabajo especialmente diseñados para realizar trabajos de prototipado.
9. Instalar un rack para las impresoras 3D del laboratorio y las de IDP.
14. Incorporar un protocolo de orden y limpieza dentro del laboratorio y reforzar esta cultura en los ayudantes y usuarios.

30. Instalar un tablero de "Días sin accidentes".
24. Establecer un lugar adecuado para almacenar los materiales como planchas y filamentos.
20. Delimitar el perímetro de las máquinas.
25. Verificar el contenido y el estado del botiquín cada inicio de semestre.
21. Solicitar apoyo al equipo de difusión del Departamento de Ingeniería Mecánica para dar a conocer el laboratorio.

De la misma manera, las mejoras cercanas a la sección roja ordenadas de mayor a menor beneficio son las siguientes:

8. Contar con un apoyo académico que se encargue del área administrativa del laboratorio a tiempo completo.
16. Incluir la renovación o arreglo de los computadores en las cotizaciones del laboratorio.
10. Incorporar una rutina simple de mantenimiento que le puedan realizar los ayudantes a las máquinas.
23. Instalar un sistema de ventilación.
11. Utilizar los convenios de mantenimiento que ofrecen las marcas de las máquinas cada cierto tiempo.

4.4.3. Propuestas de solución principales

A continuación se detallan las soluciones que deberían implementarse lo antes posible para mejorar el servicio y la seguridad del laboratorio.

Charla de seguridad

- **Descripción:** Impartir una breve charla de seguridad acerca de los riesgos que implican las actividades dentro del laboratorio.

Lo ideal es tener una charla para los nuevos ayudantes y una diferente para los clientes. La charla de los ayudantes debe ser más completa acerca de todo lo que implica riesgo dentro del laboratorio. Por otro lado, la de los clientes debe estar enfocada solo en los elementos que ellos van a utilizar y en instrucciones generales.

- **Responsable(s):** Estas charlas deberán ser desarrolladas e impartidas por los ayudantes y/o apoyos académicos, ya que ellos son los que mejor conocen los peligros y cuidados que se deben tener con cada máquina, herramienta y lugar.

Capacitación estandarizada para los ayudantes

- **Descripción:** Cada vez que ingrese un nuevo ayudante se le deberá instruir en el uso de las máquinas y elementos presentes en el laboratorio, o al menos los que se consideran más utilizados, como la cortadora láser, la ShopBot y las impresoras 3D.

La idea es tener una pauta de cómo realizar la capacitación para que sean siempre aplicadas de la misma manera. Así se evita la variabilidad de conocimiento de cada ayudante.

Los ayudantes nuevos que se incorporen deben tener un período de prueba de un semestre para que aprendan todo lo necesario respecto al uso y la seguridad del laboratorio.

En caso de que algún ayudante antiguo del laboratorio no sepa cómo usar alguna máquina, se deberá hacer una capacitación para nivelarlo.

- **Responsable(s):** La pauta debe ser creada entre todos los ayudantes experimentados, debe ser un documento claro con instrucciones generales y específicas sobre las máquinas y elementos presentes en el laboratorio.

Una vez creada esta pauta, los ayudantes deben aplicarla a modo de capacitación presencial en el laboratorio. Esto lo puede hacer un solo ayudante experimentado.

Buscar apoyo de los encargados de Prevención de riesgos de la universidad

- **Descripción:** Solicitar apoyo a los encargados de prevención de riesgos de la universidad para gestionar la instalación de las señales necesarias para el espacio y disponer de manera correcta el extintor.

La instalación de las señales de seguridad se puede apoyar en la figura 4.26 de este documento.

- **Responsable(s):** Sheila Lascano o Mauricio Reyes.

Registro de accidentes

- **Descripción:** Los ayudantes deben dejar registrado cada vez que ocurra un accidente. Idealmente, este registro debe llevarse en la plataforma compartida *Google Drive*.

El registro de cada accidente debe incluir fecha, hora, tipo de accidente, involucrados, medidas tomadas y comentarios generales.

Los ayudantes del laboratorio deben conocer el protocolo a seguir en caso de un accidente, el cual debe ser repasado cada semestre. Si el accidente involucra personas heridas, se debe atender la emergencia y recurrir al centro de salud del campus. También se debe informar a la secretaria del Departamento de Ingeniería mecánica, anexo telefónico 6627.

- **Responsable(s):** Si ocurre un accidente, el ayudante de turno deberá registrarlo y asegurar el estado de las personas involucradas.

Encuesta de satisfacción

- **Descripción:** Aplicar una encuesta de satisfacción breve a los clientes cuando concluya un servicio.
- **Responsable(s):** Camila Estévez será la persona encargada de hacer una propuesta de encuesta para discutirla con los ayudantes.

Los ayudantes serán los encargados de aplicar la encuesta a los clientes cuando concluya una entrega de servicio. Además, deberán guardar esa información en un lugar accesible para todo el equipo de ayudantes.

Horario visible

- **Descripción:** Cada inicio de semestre se debe instalar un cartel, puede ser una hoja simple tamaño carta, por fuera de la puerta del laboratorio indicando los horarios en los que se encontrará algún ayudante disponible para atender clientes.

El horario también debe estar en la página web del laboratorio:
<http://dimmalab.usm.cl/>

- **Responsable(s):** Algún apoyo académico o ayudante.

Gestión visual

- **Descripción:** Se recomienda marcar el suelo con cinta para identificar los lugares donde va ubicado cada elemento móvil, como las cajoneras. Además, se recomienda marcar las repisas y muebles por fuera para identificar de manera rápida qué hay en su interior, al igual que las cajoneras rojas ya existentes.
- **Responsable(s):** Ayudantes.

Fichas de préstamo de herramientas

- **Descripción:** Se debe reincorporar la modalidad de pedirle a los clientes que llenen una ficha de préstamo cuando soliciten alguna herramienta del laboratorio.
- **Responsable(s):** Ayudantes de turno.

Registro de inventario digital

- **Descripción:** Cambiar el registro físico de inventario a registro digital en la plataforma *Google Drive* para que todas las personas que forman parte del laboratorio tengan acceso a este.
Este registro incluye materiales y herramientas.

Se recomienda instaurar una jornada de orden y limpieza en la que se verifique el inventario cada final de semestre.

- **Responsable(s):** Base a cargo de Camila Estévez.

La actualización del inventario debe ser actualizada por los ayudantes.

Instruir a los clientes

- **Descripción:** Los ayudantes deben verificar que los clientes que solicitan préstamo de herramientas, y realicen trabajos dentro del laboratorio, sepan utilizarlas. Esto ayudará a disminuir el riesgo de accidentes.
- **Responsable(s):** Ayudante de turno.

Registrar el uso de las máquinas

- **Descripción:** Se debe llevar un registro cada vez que se utilice una máquina, en la memoria local de los computadores del laboratorio o en la plataforma *Google Drive*. Esto permitirá contar con datos históricos para futuros análisis.
- **Responsable(s):** Todo ayudante que utilice las máquinas o esté de turno cuando se realicen clases en las que se utilicen.

Protección auditiva generalizada

- **Descripción:** Cada vez que un ayudante utilice una máquina ruidosa, debe utilizar protección auditiva. Además, debe asegurarse de que todas las personas presentes en el laboratorio la utilicen y, de ser necesario, facilitar las EPP. Esta obligación debe ser añadida al reglamento del laboratorio y debe estar señalado de manera visible para todos en el lugar.
- **Responsable(s):** El ayudante de turno que utilice una máquina ruidosa debe pedirle a todos los presentes en el laboratorio en ese momento que utilicen protección auditiva.

El laboratorio debería facilitar dichas EPP.

4.4.4. Propuestas de solución secundarias

A continuación se detallan las soluciones que se deberían implementar en el mediano plazo, ya que requieren de una mayor gestión y no son de vital urgencia.

Bancos de trabajo

- **Descripción:** Diseñar e incorporar bancos de trabajo acondicionados para realizar trabajos de prototipado, con espacio para guardar herramientas y otros elementos que permitan un trabajo cómodo y fluido.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano, Leonardo Madariaga, Mauricio Reyes, Claudio Aravena y Camila Estévez.

Mueble rack

- **Descripción:** Se recomienda incorporar un mueble rack especialmente diseñado para poder situar las impresoras 3D en distintos niveles, sin la necesidad de ocupar espacio perimetral que podría ser utilizado por otras máquinas a lo largo del laboratorio.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano, Leonardo Madariaga, Mauricio Reyes, Claudio Aravena y Camila Estévez.

Protocolo de orden y limpieza

- **Descripción:** Establecer una rutina clara para realizar el orden y la limpieza del lugar a lo largo de toda la jornada.
El objetivo principal es mantener el lugar limpio y ordenado para que el trabajo sea más cómodo y seguro.
- **Responsable(s):** Ayudantes, Sheila Lascano, Mauricio Reyes, personal de aseo del campus y ASEM.

Tablero de accidentes

- **Descripción:** Se recomienda instalar un tablero dentro del laboratorio, en un lugar visible para todos los que estén en él, que indique la cantidad

de días seguidos en los cuales no han ocurrido accidentes con tiempo perdido.

- **Responsable(s):** La instalación debe ser un trabajo conjunto entre Sheila Lascano, Mauricio Reyes y los ayudantes del laboratorio.

La modificación del tablero estará a cargo de los ayudantes.

Almacenamiento de materiales

- **Descripción:** Establecer un lugar adecuado para guardar los materiales sin que se estropeen.

Se debe considerar que los filamentos que se utilizan en las impresoras 3D se deterioran con la luz del sol, por lo que debe ser un espacio que los mantenga alejados de su contacto directo.

Las planchas utilizadas en la cortadora láser no se deterioran significativamente con las condiciones ambientales dentro del laboratorio.

- **Responsable(s):** Sheila Lascano, Leonardo Madariaga, Mauricio Reyes, Claudio Aravena y Camila Estévez.

Delimitación de perímetros

- **Descripción:** Se recomienda marcar los perímetros de las máquinas con un margen de al menos 30 centímetros extra para indicar una zona donde sea obligatorio contar con las EPP correspondientes.
- **Responsable(s):** Ayudantes.

Verificación del botiquín

- **Descripción:** Se recomienda verificar el contenido y estado del botiquín cada inicio de semestre, de ser necesario, informar a la profesora Sheila si falta algo.
- **Responsable(s):** Ayudantes.

Solicitar ayuda al equipo de difusión

- **Descripción:** Se recomienda solicitar apoyo al equipo de difusión del Departamento de Ingeniería Mecánica para dar a conocer la existencia y los propósitos del laboratorio dentro y fuera del mismo departamento.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano o Mauricio Reyes.

Apoyo académico

- **Descripción:** Se recomienda contratar un apoyo académico que se haga cargo del área administrativa del laboratorio a tiempo completo.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano y Leonardo Madariaga.

4.4.5. Ideas no consideradas

Las ideas de mejora que surgieron a lo largo de este documento y que no fueron abordadas a modo de propuestas de solución, quedan como antecedente para una futura aplicación de mejoras.

4.5. Controlar

A continuación se presenta el Plan de Implementación y el Plan de control para cada mejora propuesta y cada variable considerada importante.

Algunas de las mejoras propuestas solo necesitarán del Plan de Implementación, ya que basta con aplicarlas una vez para que la mejora sea efectiva.

Es importante prestar atención durante los primeros meses o semestres de implementación presencial, para identificar la influencia efectiva que tiene cada parámetro en el proceso, la seguridad y el servicio. Con dichas observaciones, es posible que se ratifiquen o se descarten ciertas variables o que aparezcan nuevas.

4.5.1. Plan de Implementación

Dado que no se puede acceder de manera presencial a la universidad debido a la crisis sanitaria, se proponen las siguientes recomendaciones para implementar las mejoras una vez normalizado el funcionamiento del laboratorio:

Charla de seguridad

- **Instrucciones:** Se recomienda realizar una reunión con todo el equipo de trabajo del MakerSpace cuando se retomen las actividades presenciales para discutir esta mejora.

Ya que los ayudantes son los que mejor conocen los peligros y cuidados que se deben tener con cada máquina, herramienta y lugar, la idea es que se genere una lluvia de ideas de lo que es necesario transmitirle a las personas que lleguen a trabajar al laboratorio.

- **Responsable(s):** En la reunión citada por el Director del Laboratorio se debe asignar a un ayudante encargado de tomar las ideas que surjan y redactar los puntos más importantes para transmitirlos a los futuros clientes y ayudantes.

Capacitación estandarizada para los ayudantes

- **Instrucciones:** Se recomienda realizar una reunión con todo el equipo de trabajo del MakerSpace cuando se retomen las actividades presenciales para discutir esta mejora.

Se debe generar una lluvia de ideas para discutir cual es la mejor manera de enseñar a los nuevos ayudantes que se incorporen a trabajar en el laboratorio.

Las instrucciones acordadas en la reunión para cada máquina deben quedar escritas en un documento claro, para realizar las capacitaciones de manera estandarizada.

Esta pauta debe ser acompañada de una capacitación presencial en el laboratorio a modo de ejemplo.

- **Responsable(s):** En la reunión citada por el Director del Laboratorio se debe asignar a un ayudante encargado de tomar las ideas que surjan y redactar los puntos más importantes, para crear un documento pauta.

Buscar apoyo de los encargados de Prevención de riesgos de la universidad

- **Instrucciones:** Se debe ir a las oficinas de los encargados de prevención de riesgos de la universidad para solicitar la instalación del extintor y de las señales de seguridad adecuadas para el laboratorio.
- **Responsable(s):** Mauricio Reyes.

Registro de accidentes

- **Instrucciones:** Se debe crear un archivo en la nube compartida donde cada vez que ocurra un accidente se registre fecha, hora, tipo de accidente, involucrados, medidas tomadas y comentarios generales.
- **Responsable(s):** Camila Estévez.

Encuesta de satisfacción

- **Instrucciones:** Se debe tomar la encuesta utilizada en la etapa *Medir* y adaptarla para ser aplicada a los clientes cada vez que concluya un servicio.

- **Responsable(s):** Camila Estévez.

Horario visible

- **Instrucciones:** Cada inicio de semestre se debe instalar un cartel, puede ser una hoja simple tamaño carta, por fuera de la puerta del laboratorio indicando los horarios en los que se encontrará algún ayudante disponible para atender clientes.

El horario también debe actualizado en la página web del laboratorio:
<http://dimmalab.usm.cl/>

- **Responsable(s):** Mauricio Reyes o alguno de los ayudantes previamente asignado.

Gestión visual

- **Instrucciones:** Se recomienda marcar el suelo con cinta para identificar los lugares donde va ubicado cada elemento móvil, como las cajoneras.

Además, se recomienda marcar las repisas y muebles por fuera para identificar de manera rápida qué hay en su interior, al igual que las cajoneras rojas ya existentes.

- **Responsable(s):** Equipo de ayudantes vigentes al momento de la aplicación. Debe ser hablado en una reunión con todo el equipo del laboratorio.

Fichas de préstamo de herramientas

- **Instrucciones:** Desarrollar un documento que deba ser llenado con los datos de la persona que solicita el préstamo de elementos. Se debe llegar a un acuerdo entre el equipo del laboratorio para acordar qué información solicitar en el documento.

- **Responsable(s):** Se debe discutir el desarrollo de esta ficha en una reunión con todo el equipo de trabajo del MakerSpace y un ayudante asignado en la misma reunión debe redactar el documento.

Registro de inventario digital

- **Instrucciones:** Se debe crear un documento en la nube compartida entre el equipo de trabajo del laboratorio para registrar la existencia y estado de las herramientas y materiales presentes en el laboratorio.

Este registro debe contar al menos con detalle, marca, cantidad y observaciones.

- **Responsable(s):** Camila Estévez.

Instruir a los clientes

- **Instrucciones:** Se recomienda realizar una reunión con todo el equipo de trabajo del MakerSpace para acordar la mejor manera de abordar a los clientes que no sepan utilizar las herramientas.

Lo acordado en la reunión debe quedar por escrito y ser subido a la nube del laboratorio.

- **Responsable(s):** En la reunión se debe asignar a un ayudante que tome nota de las ideas que surjan al respecto y estructurar lo acordado para aplicarlo de manera estandarizada.

Registrar el uso de las máquinas

- **Instrucciones:** Se debe crear una planilla en la plataforma *Google Drive* para que cada vez que un ayudante use una máquina, esto quede registrado.

Se recomienda hacer solo una planilla para todas las máquinas. Se pueden separar los registros por hojas o en una misma tabla se puede especificar de qué máquina se trata.

- **Responsable(s):** Se recomienda hacer una reunión entre los ayudantes vigentes del laboratorio para actualizar el documento en el que se llevaba anteriormente el registro de uso de la cortadora láser y dejarlo en formato digital.

Protección auditiva generalizada

- **Instrucciones:** Se debe hablar en alguna reunión con el equipo de trabajo del MakerSpace, para que todos los ayudantes estén enterados.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano.

Bancos de trabajo

- **Instrucciones:** Diseñar e incorporar bancos de trabajo acondicionados para realizar trabajos de prototipado, con espacio para guardar herramientas y otros elementos que permitan un trabajo cómodo y fluido.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano, Leonardo Madariaga, Mauricio Reyes, Claudio Aravena y Camila Estévez.

Mueble rack

- **Instrucciones:** Se recomienda incorporar un mueble rack especialmente diseñado para poder situar las impresoras 3D en distintos niveles, sin la necesidad de ocupar espacio perimetral que podría ser utilizado por otras máquinas a lo largo del laboratorio.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano, Leonardo Madariaga y Camila Estévez.

Protocolo de orden y limpieza

- **Instrucciones:** Se recomienda realizar una reunión con todo el equipo de trabajo del MakerSpace para definir un protocolo de orden y limpieza con el que todos estén de acuerdo.

Lo acordado en la reunión debe quedar por escrito y ser subido a la nube del laboratorio.

- **Responsable(s):** En la reunión citada por el Director del Laboratorio se debe asignar a un ayudante que tome nota de las ideas que surjan al respecto y estructurar lo acordado para aplicarlo de manera estandarizada.

Tablero de accidentes

- **Instrucciones:** Se recomienda instalar un tablero dentro del laboratorio, en un lugar visible para todos los que estén en él, que indique la cantidad de días seguidos en los cuales no han ocurrido accidentes con tiempo perdido.

Se puede hablar con los encargados de prevención de riesgos de la universidad para solicitar ayuda.

- **Responsable(s):** Sheila Lascano y Mauricio Reyes.

Almacenamiento de materiales

- **Instrucciones:** Se debe realizar una reunión para redistribuir los lugares en donde se guardarán los materiales, considerando sus características particulares.

Además, se recomienda marcar los muebles en los que se encuentren los materiales para ayudar visualmente a ubicarlos cuando se necesiten.

- **Responsable(s):** Se recomienda hacer una reunión con todo el equipo de trabajo del MakerSpace para acordar cómo y dónde guardar los materiales. Mauricio Reyes debe tomar nota de los acuerdos a los que se lleguen.

Delimitación de perímetros

- **Instrucciones:** Se recomienda marcar los perímetros de las máquinas con un margen de al menos 30 centímetros extra para indicar una zona donde sea obligatorio contar con las EPP correspondientes.

Estas marcas se pueden hacer pegando cinta en el piso.

- **Responsable(s):** Equipo de ayudantes vigentes al momento de la aplicación. Debe ser hablado en una reunión con todo el equipo del laboratorio.

Verificación del botiquín

- **Instrucciones:** Se debe hablar en alguna reunión con el equipo de trabajo del MakerSpace, para que todos los ayudantes estén enterados.

- **Responsable(s):** Sheila Lascano.

Solicitar ayuda al equipo de difusión

- **Instrucciones:** Se recomienda solicitar apoyo al equipo de difusión del Departamento de Ingeniería Mecánica para dar a conocer la existencia y los propósitos del laboratorio dentro y fuera del mismo departamento.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano, Mauricio Reyes o Leonardo Madariaga.

Apoyo académico

- **Instrucciones:** Se recomienda contratar un apoyo académico que se haga cargo del área administrativa del laboratorio a tiempo completo.
- **Responsable(s):** Sheila Lascano y Leonardo Madariaga.

4.5.2. Plan de Control

La aplicación de los planes presentados a continuación para cada mejora y variable deben ser postergados inevitablemente hasta que se vuelva a funcionar regularmente. Por esta razón no se asignarán responsables hasta entonces, ya que podría existir una rotación de personal dentro del equipo de trabajo del laboratorio. Sheila Lascano, Directora del Laboratorio de Manufactura Avanzada y Jefe de laboratorio en el MakerSpace, será la persona encargada de asignar roles cuando se pueda acceder nuevamente al laboratorio con normalidad.

Cabe destacar que el formato para realizar un Plan de Control, presentado en la tabla 2.3 en el capítulo del Marco Teórico, es una planilla para la aplicación y verificación en terreno del plan ya definido. Por lo que se definirá la primera sección de columnas de la sección *Control/Revisión*, omitiendo la asignación de responsables. Esto se muestra en la tabla 4.9.

4.5.3. Medidas y comentarios generales

Los documentos que se detallaron en esta etapa estarán disponibles en la plataforma digital *Google Drive* para que todos los ayudantes e involucrados tengan acceso a ellos.

Tabla 4.9: Plan de Control para las mejoras y variables importantes del proceso.

X-Y	Indicadores de Proceso	Estándares de Desempeño	Item a controlar	Frecuencia de control	Plan de Contingencia	Comentarios
Y1	Nivel de seguridad	0	Ocurrencia de accidentes con tiempo perdido.	Cada vez que se produzca un accidente	Luego de resolver la emergencia, evaluar junto al equipo de trabajo la causa potencial de lo ocurrido.	Lo que se discuta con el equipo debe quedar registrado por escrito.
Y2	Nivel de servicio	>4	Nivel promedio de servicio percibido por los clientes en el período de tiempo analizado.	Dos veces al semestre	Reunión informativa para evaluar por qué los clientes podrían percibir un mal nivel de servicio.	Lo que se discuta con el equipo debe quedar registrado por escrito.
X3	Disponibilidad de máquinas	>85 %	Estado de las máquinas	Dos veces al semestre	Realizar una reunión para evaluar la situación. Si es necesario, contactar al servicio técnico correspondiente.	Lo que se discuta con el equipo debe quedar registrado por escrito.
X5	Nivel promedio de manejo de las máquinas por parte de los ayudantes	>70 %	Resultado de las encuestas de manejo.	Al finalizar cada capacitación	Realizar una nueva capacitación demostrativa para todos los ayudantes vigentes en el período. Luego volver a aplicar el test.	-
X8	Conducta de trabajo	>8	Conducta segura de las personas que estén trabajando.	Cada vez que alguien realice un trabajo en el laboratorio	Detener el trabajo que se esté realizando y corregir lo que se esté haciendo de manera insegura para poder continuar.	Se debe controlar la conducta tanto de los clientes como de los ayudantes.
X10	Nivel de orden y limpieza	>80 %	Estado del laboratorio.	Cada viernes al finalizar el último turno	Fotografiar el estado del lugar para dejar registro. Ordenar/Limpiar dentro de lo posible.	Subir la fotografía a la nube y al grupo de chat del MakerSpace para visibilizar la situación.
-	Registro de accidentes	100 %	Ocurrencia real vs registro digital.	Dos veces al semestre	Actualizar el registro digital.	Informar que se actualizó el registro digital.
-	Préstamo de herramientas	100 %	Documentos físicos vs registro digital.	Dos veces al semestre	Actualizar el registro digital.	Informar que se actualizó el registro digital.
-	Verificar inventario	>80 %	Inventario físico vs registro digital.	Dos veces al semestre	Actualizar el registro digital.	Informar que se actualizó el registro digital.
-	Registro de uso de las máquinas	100 %	Uso real vs registro digital.	Dos veces al semestre	Actualizar el registro digital.	Se debe discutir con todo el equipo sobre el uso que se le ha dado a las máquinas.
-	Verificar el uso de protección auditiva generalizada	100 %	Uso de EPPs auditivas en todos los presentes.	Cada vez que se utilice la ShopBot	Proporcionar EPP a las personas que lo necesiten.	-
-	Verificar tablero de accidentes	Registros iguales	Registro de accidentes vs días marcados en el tablero.	Una vez al mes	Actualizar tablero.	Informar que se actualizó el tablero.
-	Verificar botiquín	>80 %	Elementos dentro del botiquín.	Dos veces al semestre	Informar a Sheila Lascano para regularizar la situación.	Se debe verificar que los elementos que se encuentran dentro del botiquín estén en buen estado y que se cuente con lo necesario para proporcionar primeros auxilios.

5. Estado final del laboratorio

5.1. Préstamo de herramientas

Durante el desarrollo de este proyecto, que inició en abril del 2019 y finalizó en noviembre del 2020 aproximadamente, los ayudantes notaron la necesidad de retomar el uso de las fichas de préstamo de herramientas. Por lo que actualizaron la versión anterior de este documento en septiembre del 2019, como se aprecia en la figura 5.1.

Estas fichas son entregadas en formato físico a los clientes que solicitan el préstamo de herramientas u otros elementos para que completen sus datos y se pueda tener registro del movimiento de elementos dentro del laboratorio. El ayudante de turno es el encargado de la parte de entrega de la solicitud del cliente. Para la devolución de los elementos, nuevamente el ayudante de turno es responsable de registrar que la devolución fue efectiva. No es necesario que el ayudante que cumple cada rol sea el mismo en ambos casos.

Actualmente las fichas físicas se guardan en un archivador dentro del laboratorio. Además, existe un registro digital antiguo, figura 5.2, en el que se podría ir respaldando la información.

5 ESTADO FINAL DEL LABORATORIO

Laboratorio de Manufactura Avanzada
Departamento de Ingeniería Mecánica



Préstamos

Solicitante		
	Entrega	Devolución
Encargado		
Fecha		

Documento	Credencial	TNE	CI	Otro:
-----------	------------	-----	----	-------

Artículo	Cantidad	Comentario

Por medio de este documento el solicitante se compromete a devolver los artículos facilitados en las mismas condiciones en las que estos fueron entregados.

Entrega

Firma Encargado

Firma Solicitante

Devolución

Firma Encargado

Firma Solicitante

Figura 5.1: Formato de ficha para solicitar el préstamo de herramientas. Fuente: Documento creado por los ayudantes del laboratorio, extraído de la plataforma *Google Drive*

5 ESTADO FINAL DEL LABORATORIO

Persona Solicitante	Item	Cantidad	Encargado prestamo	Fecha Prestamo	Encargado Regreso	Fecha Regreso
Diego De Arcas	huincha	1	Eduardo Castillo	03-10-2017	Eduardo Castillo	04-10-2017
Jorge Bustos	Destornillador	1	Rene Perez	11-10-2017	Rene Perez	11-10-2017
Danilo Estay	Huincha	1	Rene Perez	11-10-2017	Rene Perez	12-10-2017
Jose Reyes	Set Lima pequeña	1	Rene Perez	11-10-2017	Rene Perez	12-10-2017
Alvaro	destornilladores pequeños	3	Rene Perez	12-10-2017	Rene Perez	30-10-2017
Paulo Torres	Pie de metro	1	Eduardo Castillo	09-03-2018	Eduardo Castillo	23-10-2018

Figura 5.2: Registro digital de préstamo de herramientas. Fuente: Documento creado por los ayudantes del laboratorio, extraído de la plataforma *Google Drive*

5.2. Inventario digital

Se creó un documento digital en la plataforma *Google Drive*, en una carpeta a la cual tienen acceso todos los ayudantes y los involucrados al laboratorio. En este documento, con formato de hoja de cálculo, se crearon cinco pestañas: *Mueble 1 (012)*, *Mueble 2 (134)*, *Mueble 3 (115)*, *Materiales* y *Bodega*. Tal como se aprecia en la figura 5.3, las hojas de cálculo tienen el mismo formato que los documentos físicos originales (figuras 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5), con la salvedad de las hojas correspondientes a los tres muebles con cajoneras, donde se les agregó una columna para especificar en qué cajón se encuentran los elementos.

5 ESTADO FINAL DEL LABORATORIO

Detalle	Marca	Cantidad	Observaciones	Cajón
Juego de llaves punto coro	Force	2	5086; Falta 10, 10, 13, 14	LLAVES
Llave	Stanley	1	10 in	LLAVES
Juego de llaves allen	AOK	2	25 piezas; Falta 1.5, 1.5, 2, 2.5, 3, 5/64"	LLAVES
Regla 50 cm	Stainless	5	50 cm	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Regla 40 cm	Neolite	1	40 cm	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Regla 15 cm	Olfa	1	15 cm	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Regla 15 cm	Stainless	1	15 cm	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Micrometro digital	Mitutoyo	1		INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Cinta métrica	Sanlon	1	7.5 m	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Escuadra	Diamond brand	1	30 cm	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Escuadra		2	20 cm; Made in Germany	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Regla con círculos		1	1-31 mm de diametro	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Regla cercha		1		INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Pie de metro	Stanley	2		INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Respirador de proyecto de	3M	2	Uno nuevo y uno usado	EPP
Antiparra K2	Redline	1	Certificado anti impacto, ANSI Z87.1 - 20	EPP
Guantes		6 pares	Un par tiene solo manos izquierdas	EPP
Mascarillas		48	Algunas usadas, otras nuevas	EPP

Mueble 1 (012) ▾
Mueble 2 (134) ▾
Mueble 3 (115) ▾
Materiales ▾
Bodega ▾

Figura 5.3: Sistema de registro de inventario.

A la fecha, noviembre 2020, solo la hoja del *Mueble 1 (012)* está actualizada. Esto debido a que no se puede ingresar normalmente a la universidad a causa de la pandemia del COVID-19. Se espera poder actualizar el registro cuando las actividades académicas se puedan retomar con normalidad.

5.3. Nuevos bancos de trabajo y muebles adaptados

Se realizó un trabajo conjunto en el diseño de los bancos de trabajo y los nuevos muebles adaptados entre los responsables designados en la propuesta de mejora de estos elementos: Sheila Lascano, Leonardo Madariaga, Mauricio Reyes, Claudio Aravena y Camila Estévez.

Todos los elementos detallados a continuación fueron fabricados por la empresa *A PUNTO A MUEBLES LTDA.*

Para almacenar los materiales de la cortadora láser, se diseñó un porta planchas móvil para poder mover fácilmente los materiales. Su forma fue inspirada en los revisteros y en archivadores para documentos. Cuenta con dos espacios para poder clasificar las planchas según material o tamaño.

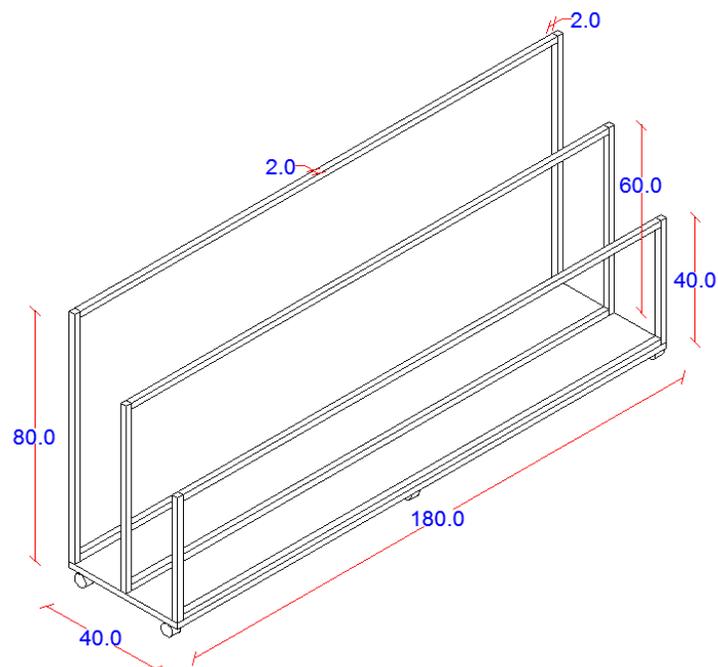


Figura 5.4: Vista isométrica con medidas en centímetros de porta planchas móvil. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

Se diseñaron cuatro bancos de trabajo considerando una altura cómoda del mesón para trabajar de pie. Cada uno cuenta con dos compartimientos superiores para guardar herramientas u otros elementos del laboratorio, una plancha metálica perforada para colgar herramientas de fácil acceso a una distancia cómoda para no cansar los brazos de los clientes de manera innecesaria y una canaleta electrificable para instalar tomas de corriente para herramientas eléctricas.

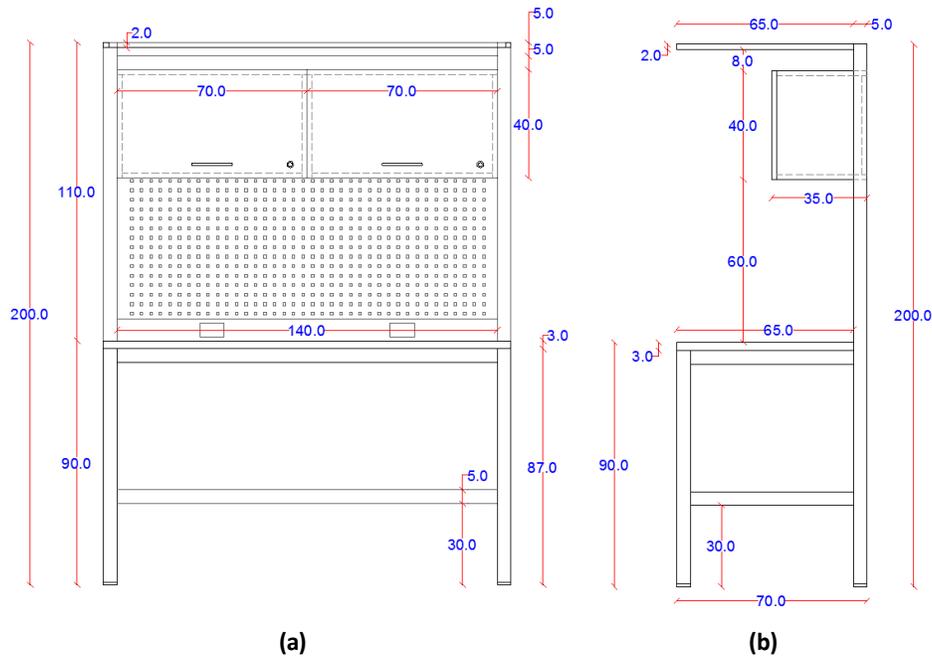


Figura 5.5: Banco de trabajo estándar (a) Vista frontal con medidas en centímetros (b) Vista lateral con medidas en centímetros. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

Estos cuatro bancos de trabajo fueron hechos bajo condiciones estándar. Adicional a ellos, se incluyó una mesa con altura regulable para facilitar el trabajo a personas en silla de ruedas. La altura del mesón varía a través de un tablero digital incorporado.

Para que esta mesa móvil cuente con gabinetes superiores, estos se agregaron a un banco estándar extra por la parte posterior. Se puede apreciar el banco con los gabinetes extra en la imagen (b) de la figura 5.6, la imagen (b) de la figura 5.7 y en conjunto con la mesa regulable en la imagen (a) de la figura 5.8.

Todos suman en total seis puestos de trabajo.

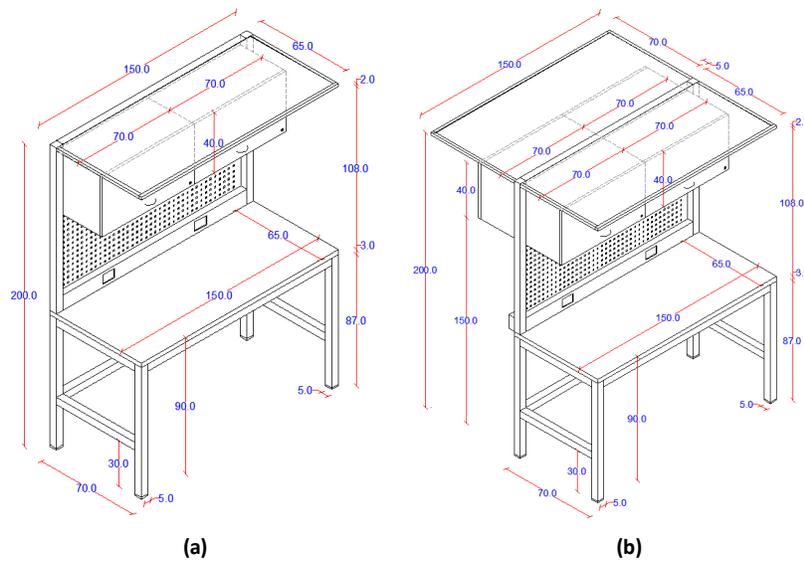


Figura 5.6: Vista isométrica con medidas en centímetros de (a) banco de trabajo estándar (b) banco de trabajo con gabinetes posteriores adicionales. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

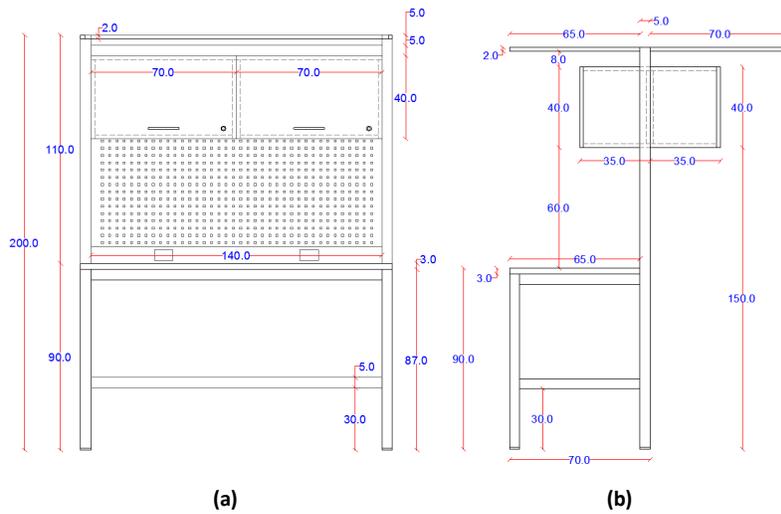


Figura 5.7: Banco de trabajo con gabinetes adicionales (a) Vista frontal con medidas en centímetros (b) Vista lateral con medidas en centímetros. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

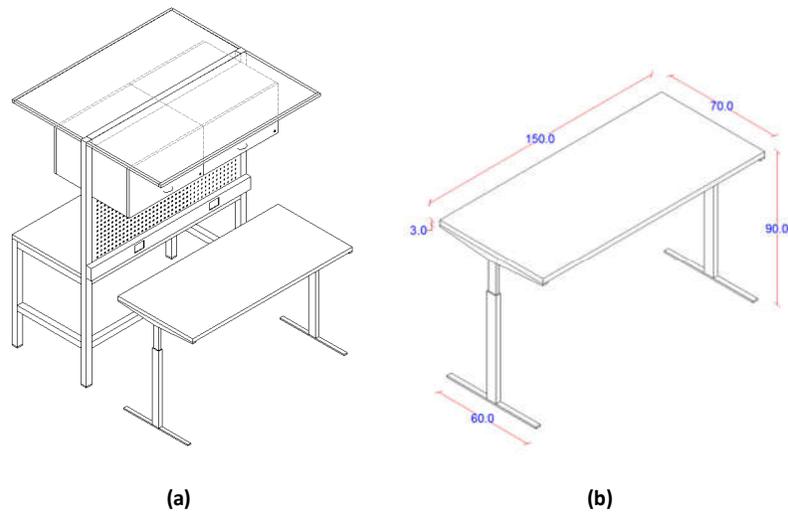


Figura 5.8: Vista isométrica (a) Conjunto banco de trabajo con gabinetes posteriores adicionales y mesa de altura regulable (b) Mesa de altura regulable con medidas en centímetros. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

Para complementar estos puestos de trabajo, se incluyeron seis cajoneras con ruedas. La altura de estas cajoneras les permite entrar sin problemas bajo los mesones, cuando no se estén utilizando, o ubicarlos a un costado del mesón ampliando la superficie de trabajo para, por ejemplo, dejar herramientas o materiales pequeños mientras se esté trabajando.

Cada cajonera cuenta con tres compartimientos que se pueden cerrar con llave.

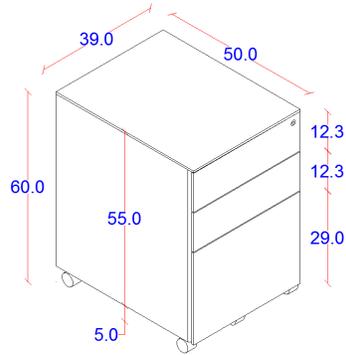


Figura 5.9: Vista isométrica con medidas de las cajoneras. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

Para organizar las impresoras 3D de manera funcional, se diseñó un rack de tres niveles, con nueve espacios y bandejas móviles para tener fácil acceso a cada parte de las impresoras.

Los espacios fueron dimensionados para soportar tanto el modelo *Maker-Bot Replicator 2X* como el *Ultimaker 2 Extended*.

Este mueble permite el almacenamiento de las dos impresoras con las que se contaba hasta el momento en el laboratorio, las cinco impresoras que sumará IDP y dos espacios libres.

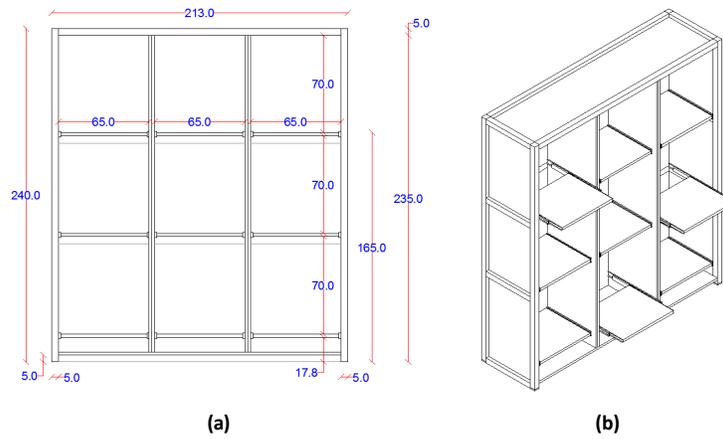


Figura 5.10: Rack para impresoras 3D con bandejas móviles (a) Vista frontal con medidas en centímetros (b) Vista isométrica del rack completo sin medidas. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

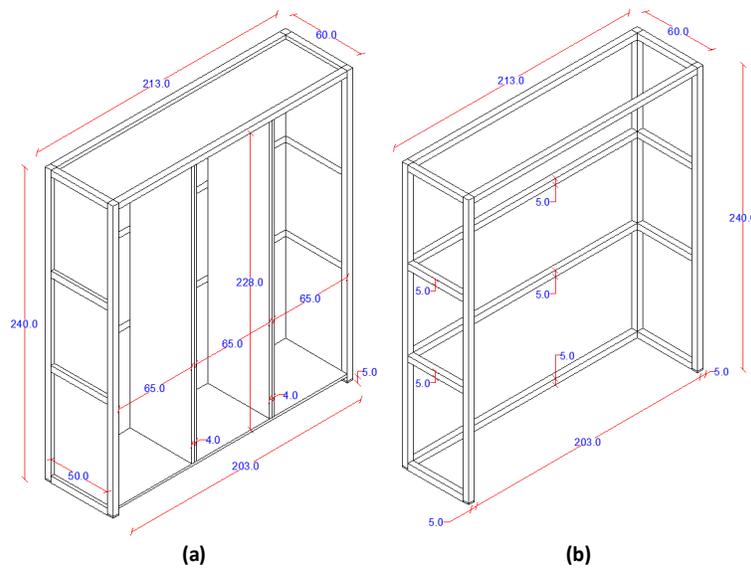


Figura 5.11: Rack para impresoras 3D con bandejas móviles (a) Vista isométrica con medidas en centímetros de la estructura de madera (b) Vista isométrica con medidas en centímetros de la estructura metálica. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

Adicional a los elementos propuestos en la etapa anterior, con el fin de unificar el estilo del espacio, se diseñaron dos mesas mostradas en la figura 5.12, una para ambos computadores y otra para las máquinas ShopBot y Compact Router. Ambas mesas fueron dimensionadas de acuerdo a sus respectivas funciones.

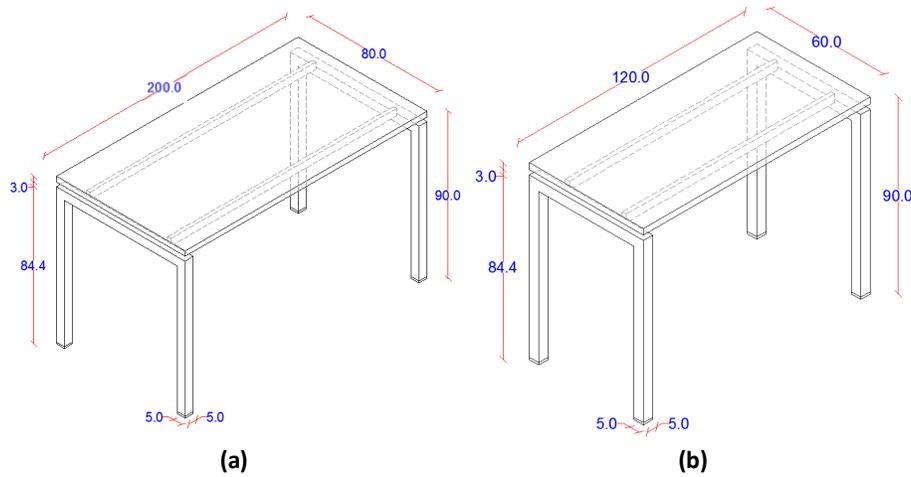


Figura 5.12: Vistas isométricas con medidas de (a)escritorio línea corchete para máquinas (b)escritorio línea corchete para computadores. Fuente: Modelo digital realizado por *A PUNTO A MUEBLES LTDA*

5.4. Apoyo académico

El segundo semestre del 2019, el Departamento de Ingeniería en Diseño de Productos contrató un apoyo académico para ayudar principalmente en lo que respecta a los trabajos de prototipado. Como actualmente el MakerSpace del Departamento de Ingeniería Mecánica es el espacio en el que realizan estas actividades, este apoyo académico puede dedicarse tiempo completo a las actividades y la administración del laboratorio.

5.5. Distribución espacial final e impactos del reacondicionamiento

Entre octubre del 2019 y marzo del 2020 se realizaron una serie de modificaciones en el laboratorio. Como se mencionó al inicio de este trabajo, se cerró el área oriente del espacio para instalar una máquina de sinterización, tal como se aprecia en el plano de la figura 5.13. El cierre de este perímetro restó $19[m^2]$ a los $77,5[m^2]$ que se tenía en un inicio y, al no poder disponer de la oficina aledaña que hubiese agregado $14,3[m^2]$ extras, el área final con la que se cuenta actualmente para realizar los trabajos diarios es de $58,5[m^2]$.

Las remodelaciones también incluyeron el arreglo del cielo falso, cambio de luces del techo y renovación del piso. Sin embargo, el piso nuevo sufrió fracturas y levantamientos de la capa superior por el peso de las nuevas máquinas y otros elementos al poco tiempo. Los daños del piso se pueden apreciar en las fotos de las figuras 8.36 y 8.37. El arreglo de estas fallas está en proceso.

La cortadora láser se ubicó al costado del perímetro cerrado y se perforó la mampara y el muro oriente para instalar el sistema de extracción que necesita para funcionar, tal como se observa en la foto de la figura 8.28. Anteriormente la extracción de esta máquina se encontraba por el costado noreste del lugar, como se aprecia en las fotos de la figura 8.8. Esta extracción estaba instalada con una gran extensión del tubo hacia el techo del edificio, ya que la salida directa de los gases al pasillo exterior molestaba a las personas de laboratorios y oficinas cercanas. Con las nuevas modificaciones, la instalación del tubo extractor hacia el techo será más directa, no molestará a las personas de lugares cercanos y la vista del pasillo exterior no se verá perturbada por el tubo. Al ubicar la máquina en este lugar, ahora se puede acceder de manera fácil y directa a ella, situación que antes no era posible por estar arrinconada.

Gracias a que el Departamento de Ingeniería Mecánica le otorgó al MakerSpace una bodega ubicada en el subterráneo del campus, se pudieron trasladar una serie de elementos mal ubicados. Dentro de las cosas que se dieron de baja se encuentran todas las sillas que habían, las tres mesas centrales, las mesas en las que se encontraban antiguamente las máquinas, los escritorios de vidrio, la estructura grande que estaba ubicada del lado poniente donde se guardaban objetos varios y la mitad de los muebles simples.

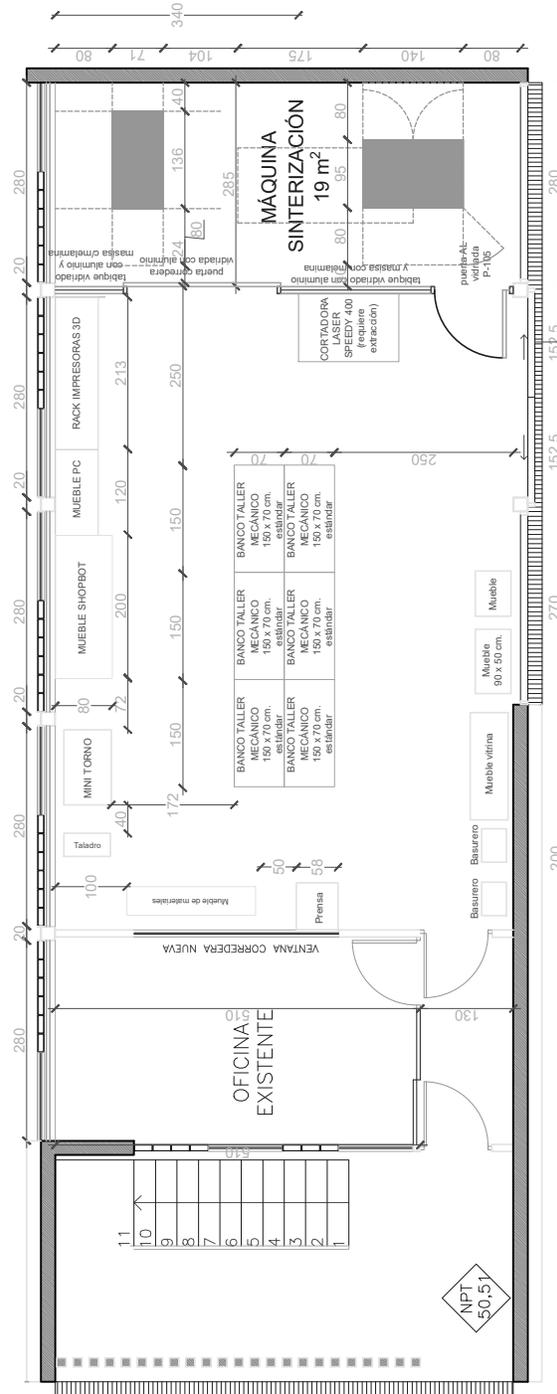


Figura 5.13: Layout del espacio, febrero del 2019. Fuente: Base del arquitecto a cargo de la remodelación con modificación propia

La función que cumplían los muebles simples que fueron quitados ahora la cumplen los compartimientos que tienen los nuevos bancos de trabajo en su parte superior. Las sillas fueron reemplazadas por pisos de plástico negros que son fácilmente apilables. Sin embargo, al no contar con sillas con respaldo, los ayudantes que pasan muchas horas al día en el laboratorio, podrían presentar dolores de espalda y problemas de salud a largo plazo. Esta es una situación que no se consideró al hacer el cambio de asientos, por lo que se debe reevaluar la decisión.

Además de los nuevos muebles que se incorporaron, se instaló un mini torno. El Departamento de Ingeniería Mecánica adquirió este torno hace ya varios meses y estuvo temporalmente en el Taller Metalmecánico, pero fuera de servicio. Con las remodelaciones, se pudo ubicar del lado norte del MarkerSpace, donde tiene acceso a la corriente.

Los resultados obtenidos de los *Diagramas de spaghetti* fueron de gran utilidad para decidir dónde ubicar la ShopBot y la cortadora láser. Ya que en ellos se puede apreciar que la cantidad de movimientos que los ayudantes realizan entre la máquina y el computador con el programa para manejarla son mucho mayores en la ShopBot que en la cortadora láser, donde en la primera se realizan más de 10 movimientos y en la segunda solo 3. Es por esto que se prefirió ubicar la ShopBot más cerca de los computadores.

Con la incorporación de los nuevos bancos de trabajo diseñados especialmente para el trabajo de prototipado, las mesas plegables que existían fueron devueltas al Departamento de IDP.

Se logró conseguir apoyo externo para arreglar las impresoras 3D, tanto la *MakerBot* como la *Ultimaker*, así que ambas están nuevamente operativas. Sin embargo, dado que el acceso a la universidad está suspendido debido a la crisis sanitaria del COVID-19, las impresoras fueron trasladadas del laboratorio para poder utilizarlas. Una de ellas se encuentra en la casa de Mauricio Reyes, apoyo científico del Departamento de Ingeniería Mecánica, y otra en la casa de un alumno memorista que la necesita para avanzar con su memoria de título. Ambas deberían ser devueltas una vez pasada la crisis.

Una mala actualización de software hizo que la cortadora láser fallara de manera permanente. Debido a la crisis sanitaria no se ha podido contactar a los representantes de *Trotec* en Chile, no se sabe si siguen prestando servicios.

Al darse de baja el mueble al que se encontraba adosado el botiquín, este se removió y se guardó en uno de los gabinetes de los nuevos bancos de trabajo. Este no se ha podido reinstalar debido a la crisis.

5.6. Situación 2020 - Propuestas pendientes de aplicación

Como ya se mencionó anteriormente, desde marzo del 2020 el país se encuentra en una crisis sanitaria producto del virus COVID-19. Para evitar el contacto físico y posibles contagios, las actividades académicas presenciales en todo el país fueron suspendidas y cambiadas a modalidad online.

Como ya no se puede acceder a la universidad de manera normal, muchas de las propuestas de mejora no se han podido implementar. Sin embargo, quedan como pendientes y es importante implementarlas apenas se pueda volver a la rutina habitual.

- Desarrollar e implementar una charla de seguridad tanto para los ayudantes nuevos como para los clientes.
- Implementar de manera efectiva la capacitación para los nuevos ayudantes que se incorporen a trabajar en el laboratorio.
- Contactar a los prevencionistas de la universidad para solicitar ayuda con la instalación de las señales de seguridad necesarias para el laboratorio.
- Llevar un registro de accidentes digital en la plataforma *Google Drive* para que todas las personas que trabajan en el laboratorio tengan acceso a él.
- Disponer el horario de funcionamiento de manera visible para que los clientes puedan tenerlo claro.
- Marcar en el piso los perímetros de las máquinas e informar su significado.

- Dejar la instrucción a los ayudantes de prestar apoyo a los clientes en caso de que noten que estos no saben cómo utilizar las herramientas proporcionadas.
- Llevar un registro digital sobre el uso de las máquinas en la plataforma *Google Drive* para que todas las personas que trabajan en el laboratorio tengan acceso a él.
- Disponer de protección auditiva para todos los presentes cuando un ayudante tenga que usar la máquina ShopBot.
- Incorporar una rutina de orden y limpieza para mantener el espacio en óptimas condiciones para trabajar. Además, se debe registrar el nivel de orden y limpieza cada día según los parámetros definidos por los ayudantes.
- Incorporar un tablero que indique la cantidad de días sin accidentes e tablero de accidentes
- Regularizar la situación del botiquín y revisar su estado cada inicio de semestre.
- Contactar al grupo de difusión del Departamento de Ingeniería Mecánica y solicitar ayuda para dar a conocer el MakerSpace dentro de los alumnos de la carrera.

Aunque estas mejoras queden pendientes, las personas involucradas ya fueron comunicadas y están dispuestas a colaborar con la implementación.

5.7. Proyecciones futuras

Sobre la base del funcionamiento mejorado del laboratorio, surgieron las siguientes ideas para que el MakerSpace siga mejorando y creciendo:

- Ya que se va a comenzar a utilizar más documentación física, sería bueno definir un espacio en los muebles del laboratorio para guardar de manera ordenada esta información. Si no se tiene cuidado con la documentación física, puede perderse información y las mejoras no serían sostenibles en el tiempo.

- Incorporar un tablero que indique los trabajos que se encuentran pendientes de realiza, los trabajos en curso y los finalizados.
- Incorporar actas para el manejo de inventario de materiales.
- Agregar un extintor extra en el sector de la máquina sinterizadora.
- Planificar la manera en la que se dictarán los cursos dentro del laboratorio.
- Evaluar y proponer en base a los nuevos datos recopilados, cual sería la mejor forma de operar.
- Incorporar una máquina de manufactura aditiva de metales.
- Incorporar una aspiradora en cada puesto de trabajo para mantenerlos limpios.
- Reubicar los acondicionadores de aire.
- Organizar eventos o programas para dar a conocer el laboratorio.
- Se podría incorporar el sistema de préstamos a través de la página web del laboratorio con sistema de multas por atraso o no devolución de elementos.

Si se cuenta con el apoyo del área de infraestructura del campus, se pueden considerar las siguientes ideas para modificar y/o ampliar:

- Instalar un espacio de descanso para los ayudantes de turno.
- Si se logra desocupar la oficina aledaña al laboratorio, esta podría ser utilizada como pañol y/u oficina de apoyo para los ayudantes y el apoyo académico.
- Construir una oficina de $14,3[m^2]$ al lado de la ya existente, como se muestra en la figura 5.14, para el apoyo académico y/o los ayudantes del laboratorio.
- Si se construye la oficina extra donde se encuentra la escalera, también se podría disponer del mismo espacio de $14,3[m^2]$ que existe en el segundo piso del edificio, sobre esta oficina nueva.

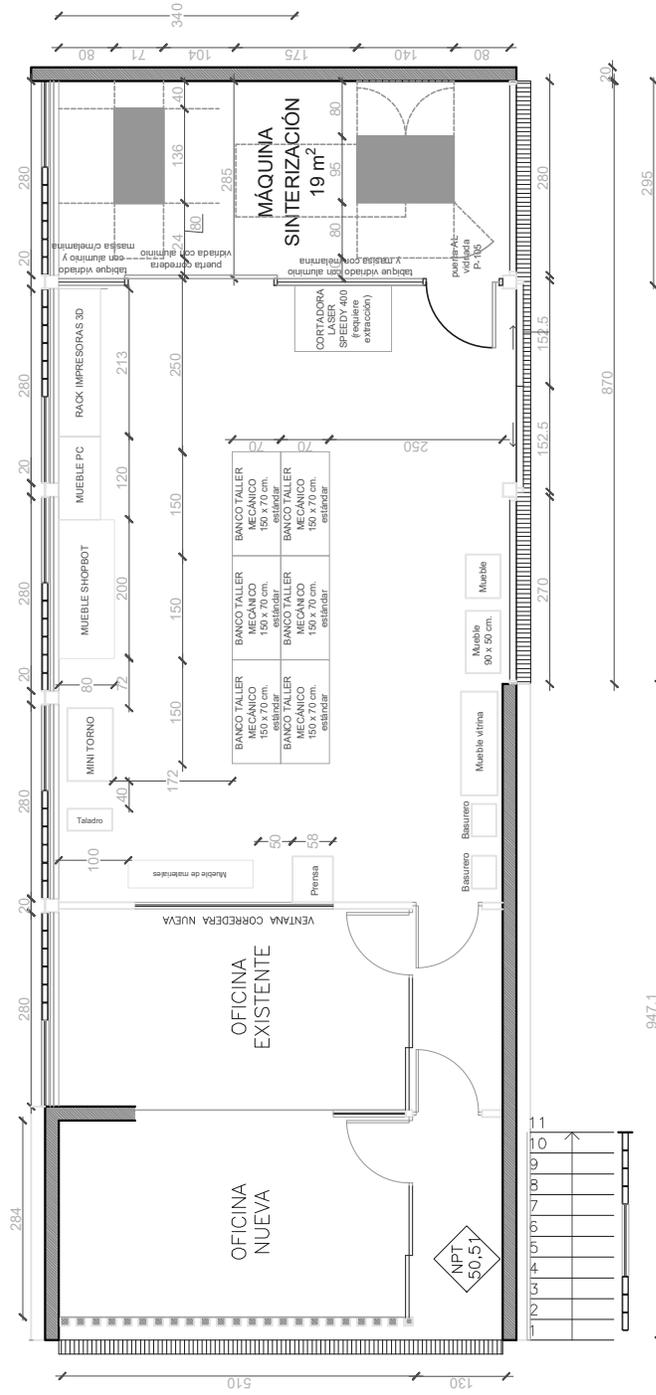


Figura 5.14: Propuesta de cambios en el layout para incluir una nueva oficina en el segundo piso. Fuente: Base del arquitecto a cargo de la remodelación con modificación propia

- Se podría considerar tomar parte del espacio del segundo piso, actualmente utilizado por la *Sala de Proyectos*, y trasladar los computadores con programas especiales que se encuentran ahí a la sala de computadores de *Gráfica*.
- También se puede considerar la opción de construir sobre la pequeña terraza que hay afuera del portón metálico, al sur del laboratorio. Como segunda opción, se podría arreglar el piso de la terraza y construir un techo sobre ella para agregar área de trabajo.

5.8. Focus Group

El día 24 de noviembre del 2020 se realizó una reunión vía *Zoom* con profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica, profesores del Departamento de Ingeniería en Diseño de Productos y una ayudante del MakerSpace. En esta reunión se expusieron los resultados de este trabajo, las mejoras implementadas, las mejoras pendientes y las proyecciones a futuro, para luego dar la palabra a los asistentes para que comentaran y opinaran sobre lo que se propuso.

A continuación se presenta una recopilación de lo más importante que se habló:

- El acceso a los documentos del laboratorio que se encuentran en *Google Drive* podría compartirse a las secretarías del Departamento de Ingeniería Mecánica, para que se tenga acceso a los registros de manera centralizada.
- Los manuales de las máquinas deberían estar todos disponibles en la nube compartida en caso de ser necesarios. Así se le puede pedir a los ayudantes nuevos que estudien parte de los manuales para ahorrar tiempo de trabajo en el laboratorio. De todas maneras, esto no puede reemplazar completamente la capacitación práctica, ya que es necesario explicar en terreno los riesgos de trabajar con cada máquina.
- Todas las normas de conducta que se transmitan a los clientes y a los ayudantes, conductas que se les pida en la charla de seguridad, deben estar por escrito también. Esto para que no existan malos entendidos a la hora de hacer cumplir esas normas. Una opción es hacer que los

clientes y los ayudantes firmen un documento para expresar por escrito que están de acuerdo con las normas que deben seguir.

- Se podría incorporar el uso de poleras, polerones o pecheras con el logo del MakerSpace para los ayudantes dentro del laboratorio. Así se demostraría de mejor manera su autoridad dentro del espacio y sería fácil identificarlos.
- Se podría conectar un teléfono con anexo al MakerSpace para que la comunicación con el Departamento de Ingeniería Mecánica y el de Ingeniería en Diseño de Productos. Debido a que antiguamente este espacio era un grupo de oficinas la conexión física ya existe, solo faltaría conectar un teléfono y habilitarlo. Esto se debe solicitar a la Dirección de Tecnologías de la Información.
- La oficina aledaña al laboratorio se le facilitó al profesor Danilo Estay de manera temporal. La universidad debería estar encargada de proporcionar una oficina con los mismos estándares y condiciones que cualquier otro académico. Por lo tanto, se debe conversar con el profesor y con las autoridades del campus para ubicarlo en otro lugar.
- El Departamento de Ingeniería Mecánica y el de Ingeniería en Diseño de Productos acordaron el uso compartido del MakerSpace para fines académicos. Sin embargo, no existe nada escrito que formalice la situación, lo que puede traer problemas con la universidad en el largo plazo, ya que IDP no cuenta con laboratorio formal. Dentro de los planes de infraestructura del Campus San Joaquín existe un proyecto para construir un nuevo edificio que sumará laboratorios y salas de clases. Si se construye un nuevo laboratorio exclusivo para el uso docente de Ingeniería en Diseño de Productos, la universidad podría desestimar la necesidad de contar con el MakerSpace debido a la similitud de ambos espacios.

Para evitar que esto ocurra y beneficiar a ambas partes, se propuso hacer una alianza formal entre el Departamento de Ingeniería Mecánica y el de Diseño de Productos para, independiente de si el MakerSpace se traslada o no, seguir como un único espacio con objetivos similares. De esta manera la fuerza para postular a fondos y adquirir más y mejores máquinas aumentaría considerablemente.

También se propuso incluir al Departamento de Arquitectura en esta alianza, ya que manifestaron a la universidad la necesidad de tener un laboratorio de "Robótica y construcción", lo que supone funciones similares a las de un MakerSpace.

- Si se formaliza esta alianza, se podría también optar a mejores y más grandes espacios para trasladar el MakerSpace.
- Otra propuesta que se planteó respecto a la alianza entre carreras, y si se puede acceder a nuevos espacios dentro de la universidad, es crear una red de laboratorios en lugar de un gran laboratorio. Dejando un lugar con impresoras 3D, otro con cortadoras láser y otro para trabajos manuales.
- Respecto al documento de préstamo de herramientas, se recomendó agregar el ROL y la carrera del solicitante dentro de los datos requeridos. También se sugirió agregar la descripción del estado del elemento que se está facilitando, para así tener un seguimiento del estado y el deterioro de las herramientas.
- Además de registrar el uso de las máquinas en la nube, se recomendó agregar el tiempo de uso que se le da y la fecha en la que se adquirió la máquina.
- Se recomendó incorporar el uso de tarjetas en cada máquina indicando cuando se hicieron los últimos mantenimientos. Esta para tenerlo visible además de registrarlo en la nube.
- Se recomendó clasificar las herramientas por color según el uso que se les da.
- Agregar un código QR en cada máquina para acceder a la información histórica de esta. La idea es tener la información de manera digital y de fácil acceso.
- La universidad cuenta con un convenio con la empresa *Fractal*, el cual permite tener acceso al uso completo de su software de mantenimiento. El uso de este software se está implementando actualmente en el Taller Metalmecánico y también podría ser implementado en el MakerSpace. Esto permitiría gestionar los datos de mantenimiento de las

máquinas de manera digital y online a través de códigos QR. Incluso se podría trabajar la implementación de este software en una memoria de pregrado.

- Se propuso utilizar la sala de computación en la que se realizan clases de Gráfica para Ingeniería como un anexo del laboratorio. En esta sala se podría trasladar todo el trabajo digital para tratarlo de manera centralizada. Además, existe la opción de trasladar algunas de las impresoras 3D para que los alumnos tengan un primer acercamiento a lo que es la tecnología de manufactura aditiva.

Esta sala de computación tiene capacidad para alrededor de 30 alumnos.

- Se propuso crear cápsulas de video explicativas para introducir a los nuevos ayudantes en el uso de las máquinas. La idea es que estos videos estén disponibles en la nube para que todos los participantes del laboratorio tengan acceso a ellos.
- Se recomendó utilizar un buzón de sugerencias para que cualquier persona pueda dar su opinión respecto a cómo se hacen las cosas dentro del MakerSpace.
- Se podría instalar un interruptor dentro del laboratorio para prender y apagar el ventilador que se instale en el techo para la extracción de la cortadora láser.
- Se debe dejar claro a todos los profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica que el MakerSpace no es una bodega ni un espacio para instalar cualquier cosa sin permiso, se debe aclarar que es un laboratorio con reglas propias que se deben cumplir.
- El laboratorio cuenta con una página web, <http://dimmalab.usm.cl/>. Actualmente esta página tiene información de qué es el laboratorio, qué se hace en el, cuál es el equipo de trabajo, entre otras cosas. Pero se podría aprovechar para poner los horarios en los que el espacio está disponible, cuando está cerrado y cuando hay clases.

También se podría utilizar para que las personas que quieran asistir al laboratorio llenen un formulario programando su asistencia y se tenga un mayor control de las personas que acuden al lugar.

Se puede utilizar para visibilizar cualquier información que se necesite.

Todas estas opiniones y comentarios sirven para iniciar nuevamente el ciclo de mejora continua, atacando nuevos puntos importantes.

5.8.1. Diferencias entre el *FabLab* y el *MakerSpace*

Muchos de los asistentes expresaron la necesidad de definir factores diferenciadores entre MakerSpace y el *FabLab*, laboratorio del mismo campus. Si la universidad llegara a considerar que no tiene sentido tener dos espacios tan similares en el campus, podrían dejar de invertir fondos en alguno de ellos.

A continuación se aclaran estas diferencias y se definen los enfoques y funciones de cada espacio:

FabLab

El *Laboratorio de Fabricación*, abreviado como *FabLab* por su nombre en inglés, nació en la universidad con el objetivo de brindar un espacio para el desarrollo de proyectos académicos o personales, objetivo que se mantiene hasta el día de hoy.

Al ser un espacio dentro de la universidad, es muy fácil para los alumnos acceder a él y les ahorra la molestia de tener que pagar o postular de manera externa para acceder a espacios similares.

Una característica propia del FabLab es que no es administrado por ningún departamento en particular, está a cargo directamente de la administración general de la universidad. Lo que les permite funcionar de manera independiente, sin seguir los objetivos ni estándares de un departamento.

Este espacio es de libre acceso para los alumnos de la universidad, pero también pueden acceder personas o empresas externas. Se encuentra ubicado cerca del casino y las salas "A" del campus, lugar de gran visibilidad.

MakerSpace

El Laboratorio de Manufactura Avanzada, es un espacio que pertenece al Departamento de Ingeniería Mecánica. Su objetivo es disponer un espacio

adecuado, con herramientas y apoyo técnico para el desarrollo de prototipos para toda la comunidad universitaria.

El enfoque de trabajo está fuertemente inclinado a la docencia y la investigación. Actualmente el laboratorio presta servicios al Departamento de Ingeniería en Diseño de Productos para que se realicen clases de prototipado.

Se ubica en el primer piso del edificio de Ingeniería Mecánica, al lado de los estacionamientos y los laboratorios de Ingeniería Eléctrica. Este lugar es muy poco concurrido, por lo que no tiene mucha visibilidad dentro del campus.

Diferencias entre los laboratorios

Ambos espacios tienen el objetivo de brindar un espacio físico adecuado para el desarrollo de proyectos, con herramientas, conocimiento técnico, apoyo calificado y, en algunas ocasiones, materiales. También cuentan con equipamiento similar, como impresoras 3D y corte láser. Sin embargo, la principal diferencia entre ambos laboratorios es el enfoque que tienen. Ambos comparten el enfoque académico, pero el *FabLab* está más abierto hacia lo comercial e industrial, mientras que el *MakerSpace* está más enfocado a la investigación y a la docencia. En el *FabLab* se suelen hacer talleres de distintas cosas ligadas a la fabricación y en el *MakerSpace* es un espacio donde se realizan clases de prototipado.

6. Conclusiones

Al inicio de este documento se planteó el objetivo principal de este proyecto junto a los objetivos específicos. El éxito de este trabajo se refleja en el cumplimiento o no cumplimiento de estos.

La ejecución de las mejoras propuestas fue mermado por la crisis sanitaria que afecta tanto al país como al mundo. Sin embargo, una parte de ellas se lograron concretar antes de la crisis y otras durante ella de manera virtual. Además de esto, la aplicación de estrategias en torno a las necesidades del laboratorio es exactamente lo que se hizo a lo largo de todas las etapas de la metodología DMAIC. Por lo tanto, objetivo general si se cumplió.

Adicional a lo anterior, el objetivo de este trabajo se planteó con la idea de incorporar a la rutina del laboratorio la filosofía de la mejora continua. Como este fue el primer proyecto que se aplicó de manera efectiva, existen documentos de propuestas de mejora planteados en el ramo de *Fundamentos de mejora continua* de la universidad que no llegaron a concretarse, se centraron los esfuerzos en eliminar, o en su defecto reducir al máximo, la grasa presente en el proceso, la rutina y la distribución espacial.

El proceso, considerado como todas las actividades que se realizan en el laboratorio para cumplir con las peticiones de los usuarios, fue lo que más se pudo trabajar, ya que las mejoras que se alcanzaron a implementar lo permitieron. Sin embargo, se debe considerar que el proceso de adaptación a estos cambios aún no se puede concretar debido a la emergencia. Así que se debe tener cuidado cuando se retomen las actividades normales, para que no se pierdan las mejoras implementadas y por implementar.

La rutina de trabajo de los ayudantes fue el factor que menos se logró modificar. Esto se debe a que el laboratorio no está funcionando de manera normal, los ayudantes no asisten a la universidad y no se pueden poner en práctica las propuestas planteadas en este trabajo. Aún así, las ideas les fueron expuestas y se espera que sean implementadas cuando se retomen las actividades normales. Pero por ahora es incierto.

El primer paso de este trabajo fue recopilar toda la información que fuera posible, por lo que se realizó un diagnóstico de las condiciones iniciales del espacio, materiales y máquinas. Como no existía una base de datos única y concreta, se recopiló información de las plataformas digitales disponibles, como los archivos compartidos de *Google Drive*, de los archivos físicos encontrados en el laboratorio y de la misma experiencia de estar presente mientras ocurren las cosas.

De estas tres fuentes de información, la mejor de ellas la observación presencial. Esta modalidad de haber "introducido" a una persona externa al lugar de los hechos para ver y registrar las cosas que ocurren, fue, por ejemplo, lo que pudo ayudar a identificar el problema de seguridad que se presentaba cuando los clientes no sabían cómo utilizar las herramientas o usar de manera adecuada las EPP.

Una vez recopilada toda la información posible, se entró a la aplicación de la metodología DMAIC de mejora continua. Durante las tres primeras etapas se trabajó para ordenar esta información y transformarla en datos que pudieran evidenciar los factores que influyen en el proceso, ya sea de manera positiva o negativa. Lo que marcó un precedente para comenzar a registrar datos sobre lo que ocurre en el laboratorio de manera más estructurada.

Respecto al espacio, se consideraron las necesidades más urgentes para su organización. El primer requerimiento solicitado fue despejar $19[m^2]$ para cerrar e instalar la nueva máquina de sinterización. Adicional a esto, no se pudo disponer de la oficina adyacente al laboratorio, reduciendo a $58[m^2]$ el área total para organizar el resto del laboratorio. A pesar de que esto fue un impacto fuerte para la organización del espacio, se logró una distribución funcional.

Como el laboratorio pertenece a la universidad, todo lo que hay en su interior también pertenece a ella. Por lo que, si se tenía la intención de dar de baja algún pasivo, primero se debía pedir con una solicitud formal. Trámite que puede ser bastante lento o, incluso, no considerado. Por eso, la asignación de una bodega para el laboratorio fue de gran ayuda para despejar espacio que estaba siendo utilizado sin sentido por muebles u objetos que no aportaban al proceso. Esto será de mucha ayuda en el futuro en caso de que se requieran realizar cambios en el espacio y guardar elementos.

Al despejar el espacio de los elementos que no aportan valor se pudo redistribuir el espacio incorporando nuevos muebles para una óptima distribución de las máquinas y bancos de trabajo adaptados a las necesidades de los clientes. Esta nueva distribución a su vez permite tener acceso a la cortadora láser por todos sus lados y la extracción ya no irrumpe en el pasillo de acceso a los laboratorios cercanos.

Aún existen elementos que no aportan valor dentro del laboratorio, pero estos deben ser verificados por los ayudantes para evaluar qué hacer con ellos, sin embargo, gran parte del trabajo ya está hecho.

Una situación que no se consideró al momento de hacer los cambios, es que los ayudantes, al pasar muchas horas al día dentro del laboratorio, podrían sufrir de dolor de espalda al no tener sillas con respaldo. Actualmente no se está trabajando de manera presencial en el laboratorio para verificar que esta situación sea así, pero es algo que se debe tener en cuenta.

A pesar del éxito general que significó remodelar el espacio, no se deben relajar los esfuerzos por mejorar, ya que aún falta implementar una serie de arreglos, como reubicar el botiquín y disponer el extintor de manera correcta, entre otras cosas.

Con el fin de mantener las mejoras, se propone un plan de control para las variables más críticas en la etapa de *Control*. Para el resto de las variables, se puede continuar registrando la información con los planes definidos en el *Plan de medición* de la etapa *Medir*.

Por otro lado, antes de aplicar mejoras sobre lo ya propuesto en este trabajo, es necesario esperar a que los cambios sean aceptados completamente por las personas que trabajan en el laboratorio. Se deben evaluar los impactos positivos y negativos provocados. Así, a partir de esta nueva base, se puede iniciar nuevamente un ciclo de mejora continua.

7. Recomendaciones

Durante el desarrollo de este trabajo, quedó en evidencia la poca data existente respecto a lo que pasa dentro del laboratorio. Al no existir data, es casi imposible poder sacar conclusiones en base a hechos verificables. Es por esto que uno de los cambios más importantes es llevar un registro de uso de máquinas, de accidentes, de préstamo de herramientas, entre otros. Ya que, aunque esto no traiga un beneficio inmediato al funcionamiento del laboratorio, los datos podrán evidenciar el cómo se encuentra el proceso.

Por otro lado, se logró identificar un grupo de causas raíces que influían fuertemente en el desarrollo de las actividades y los resultados obtenidos. Sin embargo, debido al tiempo y a las condiciones sanitarias adversas, quedó un conjunto de factores que se plantearon como hipótesis y no se logró verificar el efecto que tenían en el proceso y sus resultados. Es de suma importancia que se realice esta verificación cuando se retomen las actividades académicas de manera normal.

Cuando se realizan cambios en un espacio y/o en la manera de trabajar de las personas, siempre se tiene que considerar el factor de Gestión del cambio. Si se implementa una cantidad muy grande de cambios, existe la posibilidad de no tener éxito debido a la resistencia de las personas. Por esta y otras razones es que la implementación de las mejoras debe ser de la manera más gradual posible.

Para lograr esta implementación paulatina es que nunca se abordan absolutamente todas las ideas de mejora. Por otro lado, el concepto de Mejora continua, como su nombre lo dice, es una filosofía que busca mejorar de manera constante, ya que siempre puede existir una manera de hacer mejor las cosas. Con esto en mente, la idea para un futuro sería realizar un nuevo proceso DMAIC, o alguna otra metodología de Mejora continua, para hacer que las cosas en el laboratorio de manufactura avanzada funcionen cada vez mejor.

Este trabajo fue el primer paso para incorporar esta filosofía dentro del laboratorio, razón por la cual surgieron muchas ideas de mejora y no todas pudieron ser implementadas. Sin embargo, una vez que se pueda acceder con normalidad al campus y se implementen las mejoras que quedaron pendientes, se pueden rescatar las ideas de mejora no abordadas, las ideas de proyección del laboratorio y las ideas propuestas en el *Focus Group* realizado con el Departamento de Ingeniería Mecánica y el Departamento de Ingeniería en Diseño de Productos.

8. Anexos

8.1. Registro visual del MakerSpace



Figura 8.1: Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.



Figura 8.2: Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.

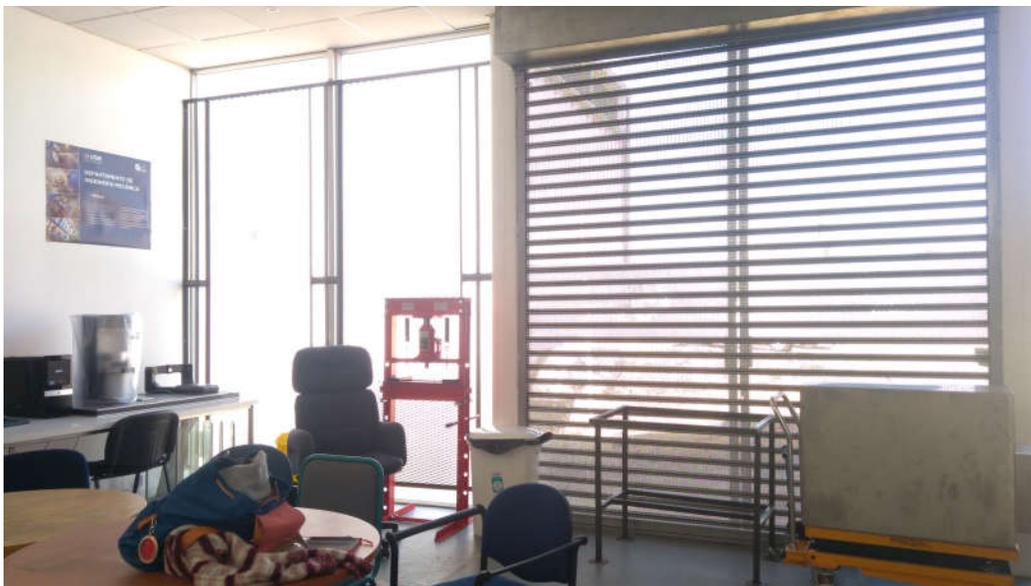


Figura 8.3: Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.



Figura 8.4: Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.



Figura 8.5: Registro del espacio al día 13 de mayo del 2019.



Figura 8.6: Registro del espacio al día 24 de junio del 2019.



Figura 8.7: Registro del espacio al día 24 de junio del 2019.



Figura 8.8: Registro de la extracción de la cortadora láser vista por fuera del laboratorio, 10 de septiembre del 2019 (a) Salida directa del tubo de extracción por una perforación en la ventana (b) Continuación del tubo por el costado exterior oriente del laboratorio (c) Final del tubo por la parte superior del edificio.



Figura 8.9: Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.



Figura 8.10: Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.



Figura 8.11: Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.

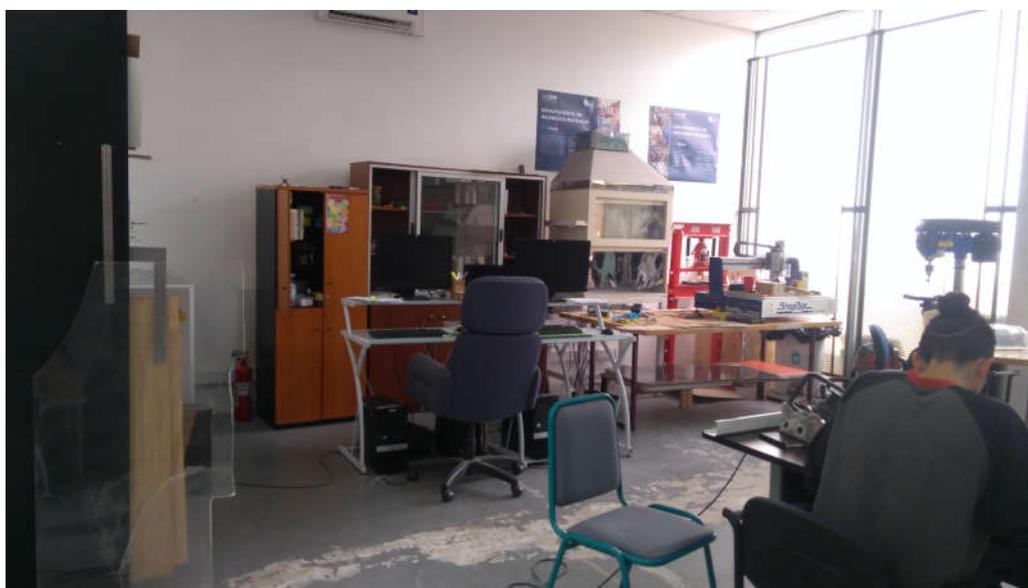


Figura 8.12: Registro del espacio al día 9 de octubre del 2019.



Figura 8.13: Registro del espacio al día 11 de octubre del 2019.



Figura 8.14: Registro del espacio al día 11 de octubre del 2019.



Figura 8.15: Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.



Figura 8.16: Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.



Figura 8.17: Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.



Figura 8.18: Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.



Figura 8.19: Registro del espacio al día 16 de octubre del 2019.



Figura 8.20: Registro del espacio al día 11 de noviembre del 2019.



Figura 8.21: Registro del espacio al día 11 de noviembre del 2019.



Figura 8.22: Registro del espacio al día 11 de noviembre del 2019.



Figura 8.23: Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.



Figura 8.24: Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.



Figura 8.25: Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.



Figura 8.26: Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.



Figura 8.27: Registro del espacio al día 21 de febrero del 2020.



Figura 8.28: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.29: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.30: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.31: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.32: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.33: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.34: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.35: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020.



Figura 8.36: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020, fracturas en el piso.



Figura 8.37: Registro del espacio al día 12 de marzo del 2020, fracturas en el piso bajo la caja de la máquina sinterizadora.

8.2. Cálculo de los precios por el uso de las máquinas complejas

Para el cálculo de estos valores, se dispone de una planilla modificable en la plataforma de Google Drive a la cual todos los ayudantes del laboratorio tienen acceso. Todos los valores de las monedas están actualizados al día 14 de octubre del año 2019, valores en la tabla 8.1.

Tabla 8.1: Valores de monedas al día 14 de octubre del 2019. Fuente: Planilla "Finanzas" del equipo de ayudantes en la plataforma de *Google Drive*.

USD	622,13	[CLP]
Euro	735,55	[CLP]
UF	26.664,16	[CLP]

La manera en la que se calculan los cobros por hora es la misma para las tres máquinas, solo varían los valores de cada variable involucrada, lo cual se explica de manera matemática a continuación:

- P_M = Precio de la máquina [CLP]
- VU = Vida útil estimada [años]
- d = Tasa de descuento [-]
- PMT = "Payment", costo de contar con la máquina [CLP/h]
- P = Potencia que consume la máquina [kW]
- C_{EC} = Costo de la electricidad [CLP/kWh]
- C_{EU} = Costo de electricidad por hora de la máquina [CLP/h]
- C_M = Costo por el uso de la máquina [CLP/h]
- C_D = Costo de diseño [CLP/h]
- f_t = Factor de trabajo [-]
- f_f = Factor por pérdida de material al utilizar la máquina [-]

- M_d = Costo del material desperdiciado por prueba o falla de la máquina [CLP]
- h = Horas de uso [h]
- dec = Descuento [-]
- $C_T(h)$ = Costo total a pagar [CLP]

$$PMT = P_M \cdot \frac{((1+d)^{VU})d}{(1+d)^{VU} - 1} \quad (8.1)$$

$$C_{EU} = P \cdot C_{EC} \quad (8.2)$$

$$C_M(h) = h \cdot (PMT + C_{EU}) \quad (8.3)$$

$$C_D(h) = f_t \cdot UF \cdot h \quad (8.4)$$

$$C_T = C_M(h) + (C_D(h) \cdot (1 - dec)) + (f_f \cdot M_d) \quad (8.5)$$

Tabla 8.2: Tabla de valores fijos para cada máquina.

Variable	Unidad	Cortadora láser	MakerBot	Ultimaker
P_M	[USD]	-	2500	3000
P_M	[CLP]	35.000.000	1.555.325	1.866.390
VU	[año]	20	10	10
d	[-]	0,05	0,05	0,05
PMT	[CLP/h]	320,6	23,0	27,6
P	[kW]	0,120	0,221	0,250
C_{EC}	[Euro/kWh]	0,128	0,128	0,128
C_{EC}	[CLP/kWh]	94,2	94,2	94,2
C_{EU}	[CLP/h]	11,3	20,8	23,6
$C_M(1)$	[CLP]	332	44	51

Tabla 8.3: Tabla de valores variables utilizados para calcular los costos de la tabla 3.1.

Variable	Unidad	Cortadora láser	MakerBot	Ultimaker
f_t	[-]	0,15	0,50	0,50
f_f	[-]	0	1,10	1,10
$C_D(1)$	[CLP]	4,000	13,332	13,332
M_D	[CLP]	0	0	0
dec	[-]	0,2	0,2	0,2

Tabla 8.4: Tabla de valores variables utilizados para calcular los costos de la tabla 3.2.

Variable	Unidad	Cortadora láser	MakerBot	Ultimaker
ft	[-]	0,15	0,25	0,25
ff	[-]	1.00	1,20	1,20
CD(1)	[CLP]	4.000	6.666	6.666
MD	[CLP]	10.000	0	0
dec	[-]	0	0	0

Los valores de las tablas 8.3 y 8.4 dependen del criterio de cada ayudante, ya que ellos deben decidir cuanto cobrar por sus horas de trabajo.

En el plano de la figura 8.40 se marcó un mueble grande que guarda elementos que no se utilizan para realizar trabajos, se utiliza como una especie de "bodega" para dejar elementos de los que nadie se quiere deshacer, pero que a nadie le sirven. También se marcó el horno y la prensa, ya que no son utilizados por las personas que trabajan en el laboratorio.

Además de lo anterior, se marcaron seis espacios donde se identificaron desperdicios y se estimaron sus respectivas dimensiones:

1. Este espacio es utilizado para dejar prototipos abandonados por clientes, objetos de origen desconocido para los que trabajan en el laboratorio y restos de materiales que no son utilizables. El área estimada de este espacio es de $2,63[m^2]$.
2. Aquí se encuentra el extintor pero, al estar descuidado y sin ningún tipo de regulación, no es seguro utilizarlo. El área estimada de este espacio es de $0,42[m^2]$.
3. Esta marca corresponde a un prototipo de gran tamaño abandonado por un cliente. El área estimada de este espacio es de $0,96[m^2]$.
4. Un grupo de clientes que estuvo trabajando en la manufactura de prototipos académicos, abandonó una gran cantidad de restos de materiales en esta zona. El área estimada de este espacio es de $0,60[m^2]$.
5. Objetos que los ayudantes no saben a quién pertenecen. El área estimada de este espacio es de $0,30[m^2]$.
6. Caja de cartón que contiene un envío para un profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica. El área estimada de este espacio es de $0,21[m^2]$.

Todo lo enumerado anteriormente es considerado como desperdicio, ya que se encuentran en el laboratorio por al menos tres meses sin aportar ninguno de los procesos.

8.4. Datos tabulados disponibilidad de ayudantes

En las siguientes tablas se presentan las distribuciones horarias de los ayudantes del laboratorio para el primer y segundo semestre del año 2019:

Tabla 8.5: Cantidad de ayudantes por intervalo de tiempo a la semana para el primer semestre del 2019. Fuente: Elaboración propia con información extraída de documentos internos de los ayudantes

Intervalo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 - 09:30	0	0	0	0	0
09:30 - 10:00	0	0	0	0	0
10:00 - 10:30	0	0	0	0	2
10:30 - 11:00	1	1	1	0	2
11:00 - 11:30	1	1	2	1	2
11:30 - 12:00	1	1	2	1	1
12:00 - 12:30	1	1	2	1	1
12:30 - 13:00	1	1	2	1	1
13:00 - 14:00	ALMUERZO				
14:00 - 14:30	1	2	1	1	1
14:30 - 15:00	2	2	1	1	1
15:00 - 15:30	2	2	1	2	1
15:30 - 16:00	2	2	1	1	0
16:00 - 16:30	2	2	1	1	0
16:30 - 17:00	2	2	1	1	0
17:00 - 17:30	0	1	1	1	0
17:30 - 18:00	1	2	2	1	0
18:00 - 18:30	1	2	2	1	0
18:30 - 19:00	1	2	2	1	0
19:00 - 19:30	1	1	0	0	0
19:30 - 20:00	0	0	0	0	0

Tabla 8.6: Cantidad de ayudantes por intervalo de tiempo a la semana para el segundo semestre del 2019. Fuente: Elaboración propia con información extraída de documentos internos de los ayudantes

Intervalo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 - 09:30	0	0	0	0	0
09:30 - 10:00	0	0	0	0	0
10:00 - 10:30	0	0	2	0	1
10:30 - 11:00	0	0	2	0	1
11:00 - 11:30	0	0	2	1	3
11:30 - 12:00	3	0	2	3	4
12:00 - 12:30	3	0	2	3	4
12:30 - 13:00	3	0	0	3	2
13:00 - 14:00	ALMUERZO				
14:00 - 14:30	4	0	0	2	3
14:30 - 15:00	4	0	0	2	3
15:00 - 15:30	4	0	0	2	2
15:30 - 16:00	1	0	1	3	2
16:00 - 16:30	0	0	1	2	2
16:30 - 17:00	0	0	2	2	0
17:00 - 17:30	0	1	1	2	0
17:30 - 18:00	0	1	1	1	0
18:00 - 18:30	0	0	1	1	0
18:30 - 19:00	0	0	1	1	0
19:00 - 19:30	0	0	0	1	0
19:30 - 20:00	0	0	0	1	0

Tabla 8.7: Horas diarias en las que existe al menos un ayudante disponible en el laboratorio. La primera columna corresponde a la programación del primer semestre del año 2019 y la segunda columna al segundo semestre de este mismo año. Fuente: Elaboración propia con información extraída de documentos internos de los ayudantes

Días	2019-1 [hora/día]	2019-2 [hora/día]
Lunes	7,5	3,5
Martes	8,0	1,0
Miércoles	7,5	6,0
Jueves	7,0	8,0
Viernes	4,5	5,5
PROMEDIO	6,9	4,8

8.5. Datos y estimaciones para el cálculo de la disponibilidad de las máquinas

Para calcular el promedio de disponibilidad del total de las máquinas principales, se ponderará su importancia según la frecuencia aproximada con la que los ayudantes las utilizan.

- **4:** Tres o más veces cada dos semanas.
- **3:** Dos veces cada dos semanas.
- **2:** Una vez al mes.
- **1:** Una vez cada tres meses o menos.

Tabla 8.8: Usos y fallas registradas entre mayo y octubre del 2019 con pesos asignados.

Máquina	Uso	Fallas	Manejo exitoso	Peso
Cortadora láser	10	0	10	4
ShopBot	5	0	5	3
Ultimaker	2	2	0	1
MakerBot	0	0	0	1
Compact Router	0	0	0	1

Con los datos de la tabla 8.8, se tiene que el promedio ponderado de la disponibilidad es de 5,5[-]. Si se considera un el caso ideal, en el que ninguna máquina falle al ser utilizada, con una disponibilidad máxima de 5,7[-], se obtiene un porcentaje de disponibilidad del 96,46%. Esto mismo, expresado de manera matemática, se puede explicar de la siguiente forma:

- D = Disponibilidad promedio
- D_{100} = Disponibilidad máxima
- U = Uso
- F = Falla
- ME = Manejo exitoso
- P = Peso
- i = Variable que identifica de que máquina son los valores
- n = Cantidad total de máquinas

$$ME = U - F \quad (8.6)$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n ME_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (8.7)$$

$$D_{100} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (8.8)$$

$$X_3 = \frac{D}{D_{100}} \quad (8.9)$$

Las máquinas *Compact Router* y *MakerBot* no fueron utilizadas en ningún momento durante este período.

8.6. Resultados encuesta del nivel de manejo de las máquinas por parte de los ayudantes

Dentro de un grupo de 13 ayudantes y ex ayudantes, se tomó una muestra de 8 personas, lo que corresponde a la cantidad de ayudantes que se encontraban vigentes en el período del segundo semestre del 2019. Estas personas respondieron un formulario con preguntas sobre su nivel de manejo de las máquinas complejas que frecuentemente se utilizan en el laboratorio. A continuación se presentan los resultados:

Año de ingreso a la USM

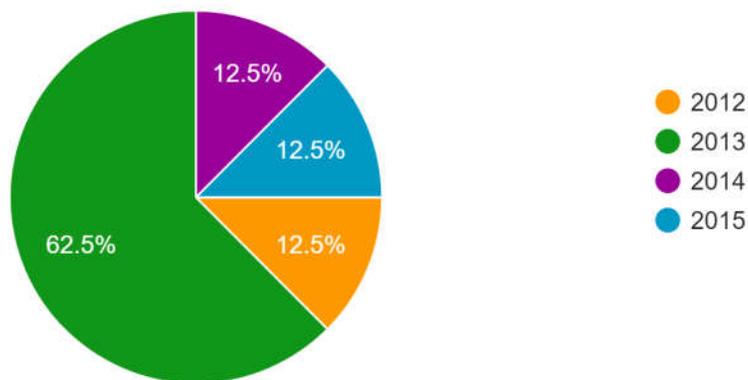


Figura 8.41: Porcentaje de ayudantes que ingresaron a la universidad cada año. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Cuántos semestres ha sido ayudante en el Maker?

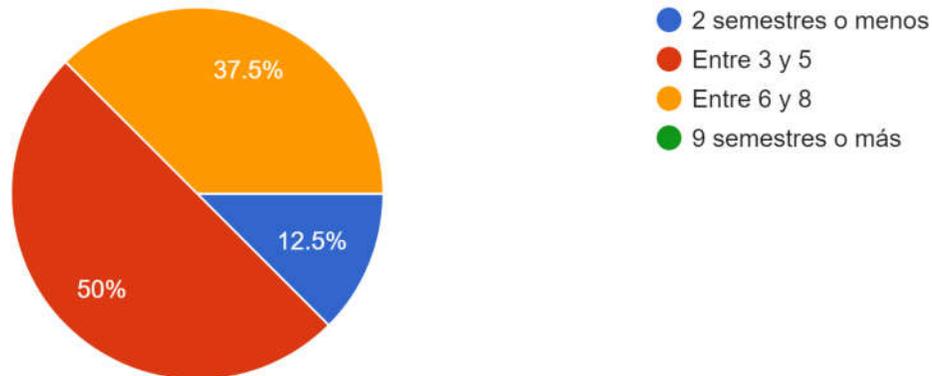


Figura 8.42: Continuidad de los ayudantes en el laboratorio. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Qué tan bien sabe manejar la cortadora láser?

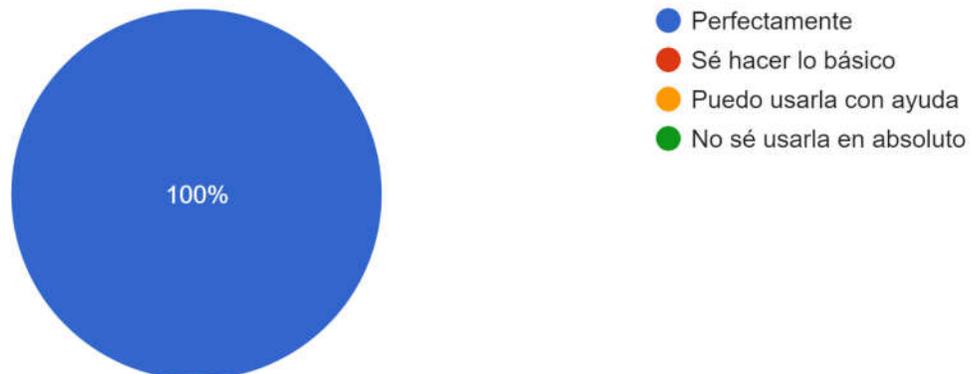


Figura 8.43: Nivel de manejo de la máquina cortadora láser. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Qué tan bien sabe manejar la ShopBot?

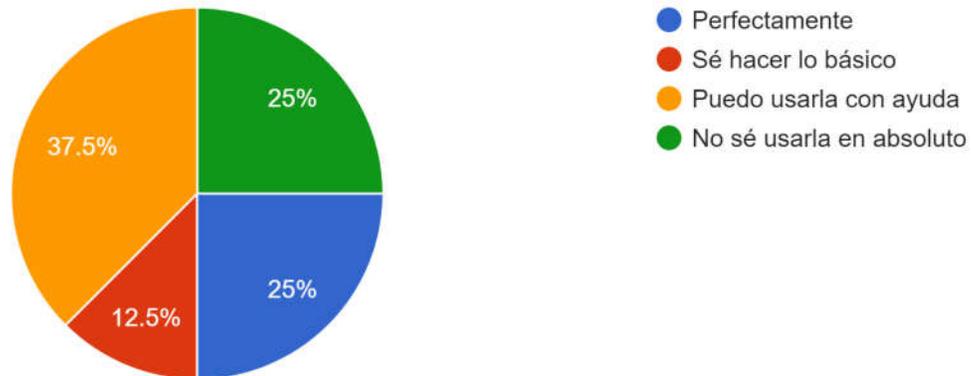


Figura 8.44: Nivel de manejo de la máquina ShopBot. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Qué tan bien sabe manejar la Ultimaker?

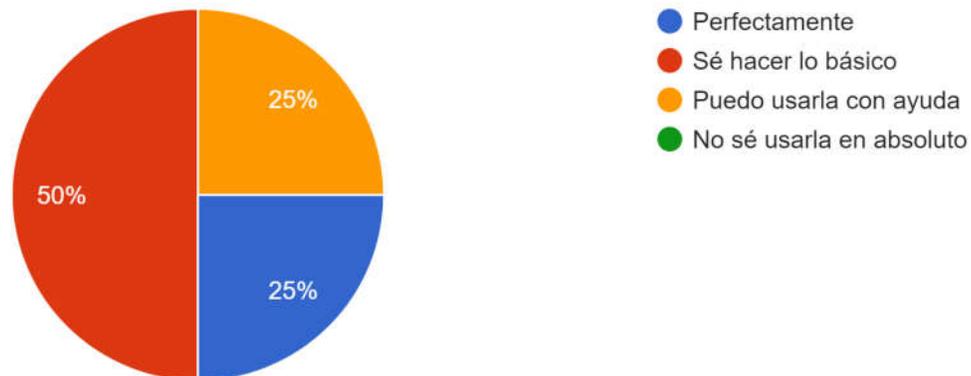


Figura 8.45: Nivel de manejo de la impresora Ultimaker. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Qué tan bien sabe manejar la MakerBot?

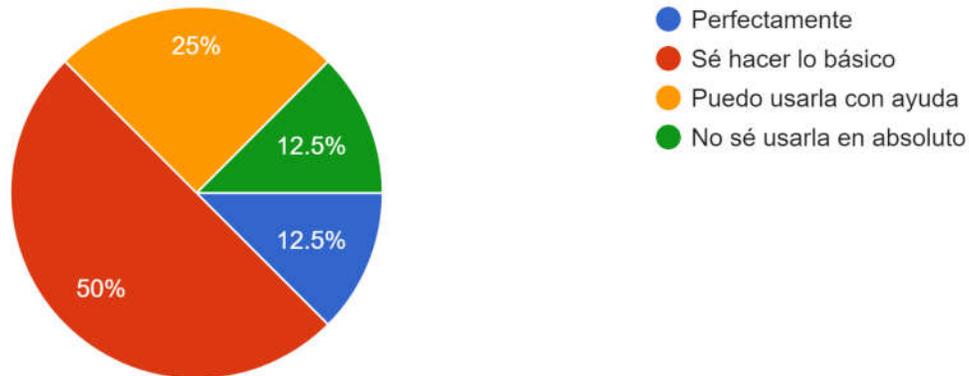


Figura 8.46: Nivel de manejo de la impresora MakerBot. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Qué tan bien sabe manejar la Compact Router?

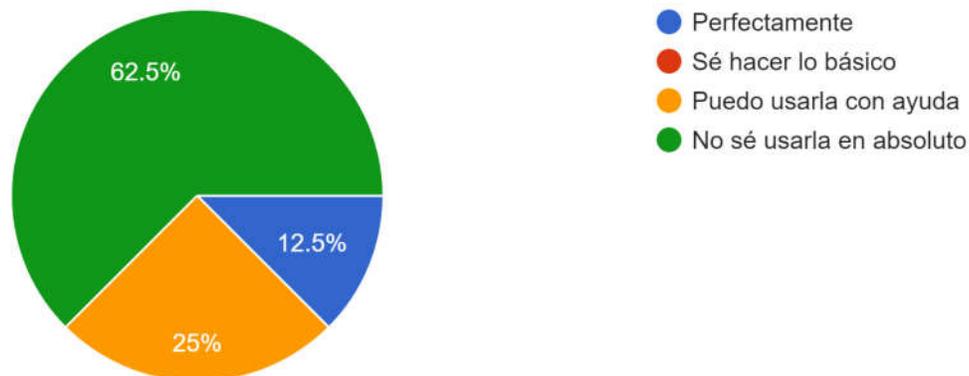


Figura 8.47: Nivel de manejo de la máquina Compact Router. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

Para realizar un promedio ponderado y así obtener un nivel de manejo promedio de máquinas, primero se asignan los siguientes valores para cada respuesta, dependiendo del porcentaje de buen trabajo que se puede realizar:

- *Perfectamente*: 100 %
Puede realizar cualquier trabajo en la máquina.
- *Sé hacer lo básico*: 75 %
Puede realizar la mayoría de los trabajos que se le piden si son simples.
- *Puedo usarla con ayuda*: 50 %
Puede realizar los trabajos si hay otro ayudante que lo esté supervisando, pero estando solo, no puede realizar trabajos.
- *No sé usarla en absoluto*: 0 %
No puede realizar trabajos en esta máquina en ninguna situación.

Con los valores anteriores, y considerando el mismo criterio de pesos que en la tabla 8.7 para cada máquina, se realiza el promedio ponderado:

Tabla 8.9: Datos para el cálculo del promedio ponderado del nivel de uso de las máquinas principales.

Máquina	Peso	Nivel de uso promedio	Valor ponderado
Láser	4	100 %	40 %
Shopbot	3	53,12 %	15,9 %
Ultimaker	1	75 %	7,5 %
Makerbot	1	62,5 %	6,25 %
Compact router	1	25 %	2,5 %

Finalmente, el nivel promedio de manejo de máquinas es de un 72,19 %.

La manera matemática de explicar esto se detalla a continuación:

- i = Variable que identifica a que máquina pertenecen los valores
- n = Cantidad total de máquinas
- j = Variable que identifica a que ayudante corresponden los valores
- m = Total de respuestas en la encuesta

- NU_{ij} = Nivel de uso que tiene un ayudante j en la máquina i
- NU_i = Nivel de manejo promedio de la máquina i
- P = Peso
- VP = Valor ponderado

$$NU_i = \frac{\sum_{j=1}^m NU_{ij}}{m} \quad (8.10)$$

$$VP_i = \frac{P_i \cdot NU_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (8.11)$$

$$X_5 = \sum_{i=1}^n VP_i \quad (8.12)$$



Figura 8.49: Ubicación de la señal "MANTENGA LIMPIO Y ORDENADO".

8.8. Resultados encuesta del nivel de servicio

Los últimos días del mes de septiembre del 2020 se difundió una encuesta por redes sociales sobre el nivel de satisfacción de los clientes del MakerSpace. Esta fue respondida por 10 personas. A continuación se presentan las preguntas y los resultados:

Año de ingreso a la USM

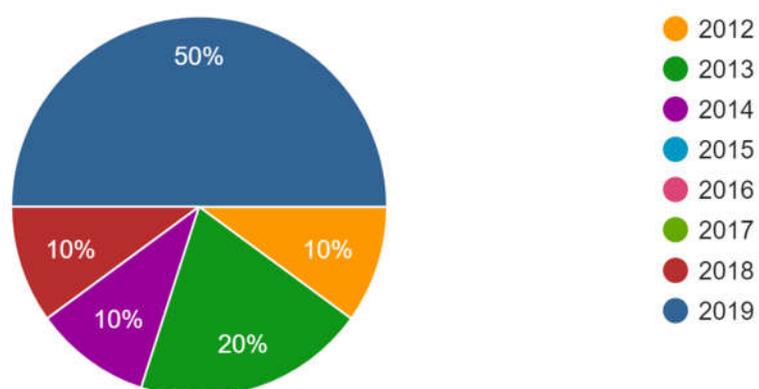


Figura 8.50: Porcentaje de clientes que ingresaron a la universidad cada año.
Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿A qué carrera pertenece?

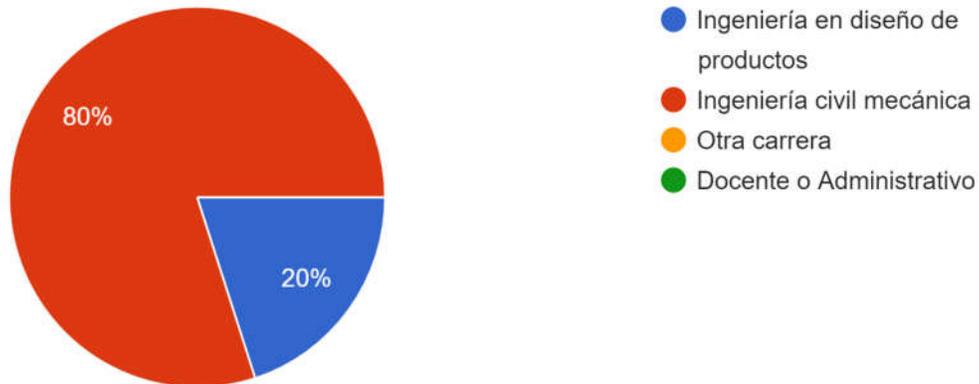


Figura 8.51: Carrera a la cual pertenecen los clientes expresado en porcentaje.
Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Qué trabajo(s) ha realizado o solicitado en el MakerSpace?

- Cortar una tabla con la máquina láser
- Corte láser
- Ninguno
- Proyecto Intro a la Ingeniería
- Cortar siluetas como círculos, piezas de ensamblaje, juntas y otros en madera
- Pedri herramientas
- Proyectos de diseño mecánico, utilizando la cortadora láser
- Corte láser de plancha de acrílico para proyecto de tesis
- Realizamos en grupo el Turbomec de Intro a Mecánica. Utilizamos la cortadora para hacer engranajes, la caladora y pegamento industrial.
- Memoria

¿Qué le pareció el trato de parte de las personas que trabajan en el lugar?

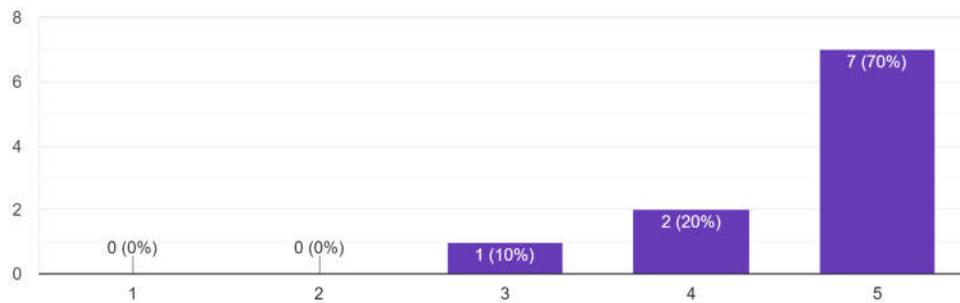


Figura 8.52: Trato que perciben los clientes de parte de las personas del laboratorio, donde 1 es deficiente y 5 es excelente. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

¿Cómo calificaría su experiencia general en el Makerspace?

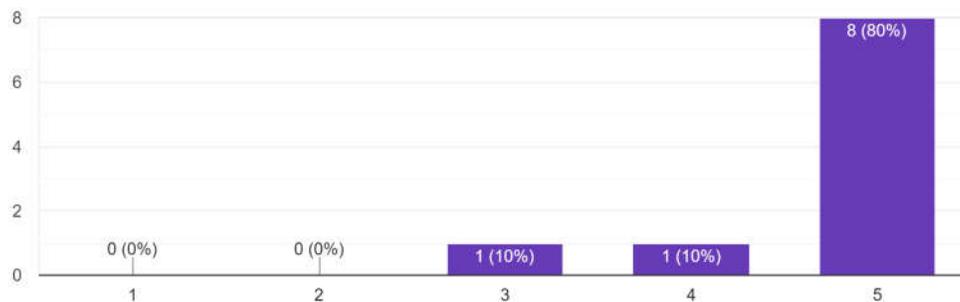


Figura 8.53: Nivel de servicio general percibido por los clientes, donde 1 es una mala experiencia y 5 es una excelente experiencia. Fuente: Generado de manera automática por *Google Forms*

Comente brevemente su experiencia, si tiene algo que destacar o si cree que exista algo que se pueda mejorar

- La verdad muy bien, no se demoraron nada y me trataron muy bien

- He ido solo una vez para realizar corte láser, había una persona en el lugar y fue muy amable. Creo que deberían distribuir mejor el espacio y tratar de mantener más el orden y limpieza del lugar.
- Ha sido nula mi experiencia, principalmente por lo poco que sé del espacio, o no se han “publicitado” o simplemente no me he enterado
- Los compañeros encargados del maker muy amables y dispuestos a ayudar, proponiendo ideas o críticas al trabajo para ir mejorando.
- muy buena disponibilidad de su gente, en ese tiempo no sabía manejar herramientas CAD y ellos mismos realizaron los modelos que necesitábamos
- La mayoría tiene muy buena disposición para resolver dudas y ayudar
- las personas que trabajan ahí tienen buena disposición, saben hacer su trabajo y cumplen con lo pedido
- Muy buena disposición de la gente que atiende. La atención es rápida. Además prestan ayuda para el uso de herramientas. Lo que se podría mejorar es el tamaño del espacio disponible para trabajar.
- Las personas que estaban ahí fueron super amables. Nos ayudaron con el programa para crear engranajes y siempre que pedíamos ayuda o consejo estaban felices de ayudar. Además siempre estuvieron preocupados de que usáramos guantes y protección de ojos.
- Falta un sistema de control de ingreso y salida de las herramientas y materiales

Para esta métrica se toman los resultados de las preguntas *“¿Qué le pareció el trato de parte de las personas que trabajan en el lugar?”* y *“¿Cómo calificaría su experiencia general en el Makerspace?”*. Así el nivel promedio de trato por parte de las personas del MakerSpace es de 4,6 y el nivel general de servicio es de 4,7.

Las respuestas abiertas de las otras preguntas serán tratadas en la etapa Analizar del DMAIC.

8.9. Datos utilizados para los diagramas de Pareto

Tabla 8.10: Tabla de datos con pesos asignados a cada hipótesis del análisis general.

Hipótesis	Peso	Peso acumulado	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Falta de bancos	5	5	6,1 %	6,1 %
Mal funcionamiento PC	5	10	6,1 %	12,2 %
Func. programas	5	15	6,1 %	18,3 %
Máquinas en mal estado	5	20	6,1 %	24,4 %
Encargado administrativo	4	24	4,9 %	29,3 %
Materiales mal guardados	4	28	4,9 %	34,1 %
Conocimiento máquinas	4	32	4,9 %	39,0 %
Charla de seguridad	3	35	3,7 %	42,7 %
Registro de préstamo	3	38	3,7 %	46,3 %
Registro de inventario	3	41	3,7 %	50,0 %
Falta de repuestos	3	44	3,7 %	53,7 %
Mala ventilación	3	47	3,7 %	57,3 %
Programas sin licencia	3	50	3,7 %	61,0 %
Clientes herramientas	3	53	3,7 %	64,6 %
Señales de seguridad	2	55	2,4 %	67,1 %
Disp. Ayudantes	2	57	2,4 %	69,5 %
Registro de máquinas	2	59	2,4 %	72,0 %
Ruido de máquinas	2	61	2,4 %	74,4 %
Asistencia de ayudantes	2	63	2,4 %	76,8 %
Espacios no delimitados	2	65	2,4 %	79,3 %
Extintor	2	67	2,4 %	81,7 %
Separación de residuos	2	69	2,4 %	84,1 %
Base de datos	2	71	2,4 %	86,6 %
Botiquín	2	73	2,4 %	89,0 %
Mal uso de muebles	2	75	2,4 %	91,5 %
No existen roles	2	77	2,4 %	93,9 %
Gestión visual	1	78	1,2 %	95,1 %
Plan de mantenimiento	1	79	1,2 %	96,3 %
Registro de accidentes	1	80	1,2 %	97,6 %
No hay lavamanos	1	81	1,2 %	98,8 %
Pertenencias	1	82	1,2 %	100,0 %

Tabla 8.11: Tabla de datos con pesos asignados a cada hipótesis del análisis del nivel de seguridad.

Hipótesis	Peso	Peso acumulado	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Charla de seguridad	5	5	17,2 %	17,2 %
Uso herramientas	4	9	13,8 %	31,0 %
Ayudantes instruidos	4	13	13,8 %	44,8 %
Pauta de seguridad	3	16	10,3 %	55,2 %
Señales de seguridad	3	19	10,3 %	65,5 %
Máquinas no delimitadas	3	22	10,3 %	75,9 %
Ruido	2	24	6,9 %	82,8 %
Registro de accidentes	2	26	6,9 %	89,7 %
Botiquín	2	28	6,9 %	96,6 %
Extintor	1	29	3,4 %	100,0 %

Tabla 8.12: Tabla de datos con pesos asignados a cada hipótesis del análisis del nivel de servicio.

Hipótesis	Peso	Peso acumulado	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Especificaciones correctas	5	5	15,2 %	15,2 %
Plazos	5	10	15,2 %	30,3 %
Orden y limpieza	4	14	12,1 %	42,4 %
Horarios	4	18	12,1 %	54,5 %
Asistencia	4	22	12,1 %	66,7 %
Comodidad	3	25	9,1 %	75,8 %
Maquinas buenas	3	28	9,1 %	84,8 %
Materiales	2	30	6,1 %	90,9 %
Buen trato	2	32	6,1 %	97,0 %
Lavamanos	1	33	3,0 %	100,0 %

Referencias

- [1] Eugenio Heiremans. *TALLER DE SEGURIDAD EN MAESTRANZA, Manual del Participante*. Asociación chilena de seguridad. 2020. URL: https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Paginas/Taller_de_seguridad_en_maestranza_Manual_del_Participante.aspx (visitado 23-09-2020).
- [2] Eduardo Andres Mellado Oyarzún. *Catálogo de señales*. Asociación chilena de seguridad. 2020. URL: https://www.academia.edu/10510662/Cat%C3%A1logo_de_se%C3%B1ales (visitado 08-09-2020).
- [3] Nelson Álvarez. “Curso Fundamentos del mejoramiento continuo.” En: (2018).
- [4] Mónica Casalet. “Manufactura avanzada: características, estrategias internacionales: Impacto de la MA en la aeronáutica.” En: *Santiago de Chile: ECLAC* (2016).
- [5] Carlos R Colindres. “Makerspaces: un novedoso servicio a ser considerado por bibliotecas públicas y académicas”. En: *Infoboletín ABES* 1.1 (2015).
- [6] Maria Esperanza López Duque. “La trilogía del lenguaje, cuerpo y emoción en la transformación organizacional”. En: *Scientia et technica* 1.44 (2010), págs. 101-106.
- [7] H Gutiérrez Pulido. “Calidad total y productividad.” En: (2010).
- [8] Humberto Gutiérrez Pulido y Román De la Vara Salazar. “Control estadístico de calidad y seis sigma”. En: *Editorial Federico Engels Ciudad de la Habana* (2009).
- [9] Herbert William Heinrich y col. “Industrial Accident Prevention. A Scientific Approach.” En: *Industrial Accident Prevention. A Scientific Approach*. Second Edition (1941).
- [10] Organización Internacional De Normalización ISO. “ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad — Conceptos y vocabulario”. En: (2000).
- [11] John P Kotter y col. “Leading change: Why transformation efforts fail”. En: (1995).

- [12] Mario Krieger y José S Méndez. *Sociología de las organizaciones: una introducción al comportamiento organizacional*. Pearson education Buenos Aires, 2001.
- [13] José Luis Meliá. *El Modelo tricondicional*. 2007.
- [14] Fundación Internacional ORP. *LA IMPORTANCIA DE LAS CHARLAS DE SEGURIDAD EN LAS EMPRESAS*. Fundación Internacional ORP. 2019. URL: <https://fiorp.org/la-importancia-de-las-charlas-de-seguridad-en-las-empresas/> (visitado 07-10-2020).
- [15] William M Tsutsui. “W. Edwards Deming and the origins of quality control in Japan”. En: *Journal of Japanese Studies* 22.2 (1996), págs. 295-325.
- [16] Jon Warner. *Gestión del cambio: Perfil de competencias. Cuaderno de auto-diagnóstico*. Editorial Universitaria Ramón Areces, 2009.
- [17] Lonnie Wilson. *How to implement lean manufacturing*. McGraw Hill Professional, 2009.