



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS

Máster en Ingeniería Industrial

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Implantación de la metodología Lean 6S en un laboratorio industrial bajo criterios de sostenibilidad e Industria 4.0

Autor:

Carlos RUBIO SANZ

Email:

carlos.rubio@alu.comillas.edu

Director:

Mariano JIMÉNEZ CALZADO

Email:

mjimenez@comillas.edu

Madrid, agosto 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**Implantación de la metodología Lean 6S en un laboratorio industrial
bajo criterios de sostenibilidad e industria 4.0**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico **2021-2022** es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: **Carlos Rubio Sanz**

Fecha: **30 / 08 / 2022**



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: **Mariano Jiménez Calzado**

Fecha: **31 / 08 / 2022**





UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS

Máster en Ingeniería Industrial

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Implantación de la metodología Lean 6S en un laboratorio industrial bajo criterios de sostenibilidad e Industria 4.0

Autor:

Carlos RUBIO SANZ

Email:

carlos.rubio@alu.comillas.edu

Director:

Mariano JIMÉNEZ CALZADO

Email:

mjimenez@comillas.edu

Madrid, agosto 2022

IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN 6S EN UN LABORATORIO INDUSTRIAL BAJO CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD E INDUSTRIA 4.0

Autor: Rubio Sanz, Carlos.

Director: Jiménez Calzado, Mariano.

Entidad colaboradora: Universidad Pontificia Comillas-ICAI.

Español:

La implementación LEAN 5S-6S ha resultado de gran interés dados los beneficios de su uso. Pero ya no puede limitarse a una aplicación desentendida de la industria 4.0 o la sostenibilidad. Sus sinergias son muy significativas, y es por ello que su implementación debe realizarse siempre de forma conjunta. Este proyecto buscará su uso y estudio en uno de los laboratorios de la universidad, el de Fabricación Aditiva.

Palabras clave: LEAN 5S, LEAN 6S, SOSTENIBILIDAD, INDUSTRIA 4.0, PROCEDIMIENTOS, INTEGRACIÓN, SINERGIAS.

1. Introducción:

La implantación de las metodologías LEAN ya no debe realizarse de forma aislada a la industria 4.0 o la sostenibilidad. Del mismo modo, la aplicación de cualquiera de estas dos últimas resulta deficiente si no se realiza con perspectivas a las sinergias que resultan de sus relaciones.

A lo largo de este trabajo se llevará a cabo una evaluación de cada una de estas tres ramas, que sentará las bases para una implantación LEAN con una revisión de elementos de industria 4.0 y sostenibilidad. Para evaluar el impacto, se realizará una serie de auditorías que permitirán un posterior análisis de resultados.

2. Definición del proyecto:

Como toda implantación LEAN, el primer paso consiste en la definición de un equipo. En esta ocasión, estará formado por el alumno y su director. Otros usuarios podrán beneficiarse posteriormente del trabajo, como son los alumnos colaboradores o cualquier otro usuario del espacio.

Como se menciona en la introducción, el primer paso consistirá en una evaluación del estado inicial del espacio de trabajo. Para ello se cuenta con auditorías específicas a cada área, que fijarán un punto de partida. Gracias al trabajo realizado en el curso anterior por otro compañero, se podrán evaluar los avances realizados entre el final de un proyecto y el inicio del actual.

A partir de esta base, se procederá a una revisión de los procedimientos LEAN que se quieren aplicar. Esta revisión incluirá elementos de industria 4.0 y sostenibilidad en los flujos de aplicación. Tras ello, se definirán igualmente estrategias de digitalización y mejora de la sostenibilidad en el espacio de trabajo. Su implementación se llevará a cabo documentando toda la información generada que sea relevante.

Una vez finalizada la implementación, se evaluará el grado de consecución de los distintos objetivos, empleando para ello nuevas auditorías en cada área. El análisis de resultados permitirá comprender qué mejoras introducidas han tenido el efecto deseado, así como evaluar futuras vías de trabajo u otras técnicas de interés.

3. Resultados:

La implantación de la metodología LEAN se lleva a cabo sin mayores complicaciones. Cada una de las S cuenta con su propio

esquema de implantación, que ha sido revisado para incluir elementos de digitalización y sostenibilidad.

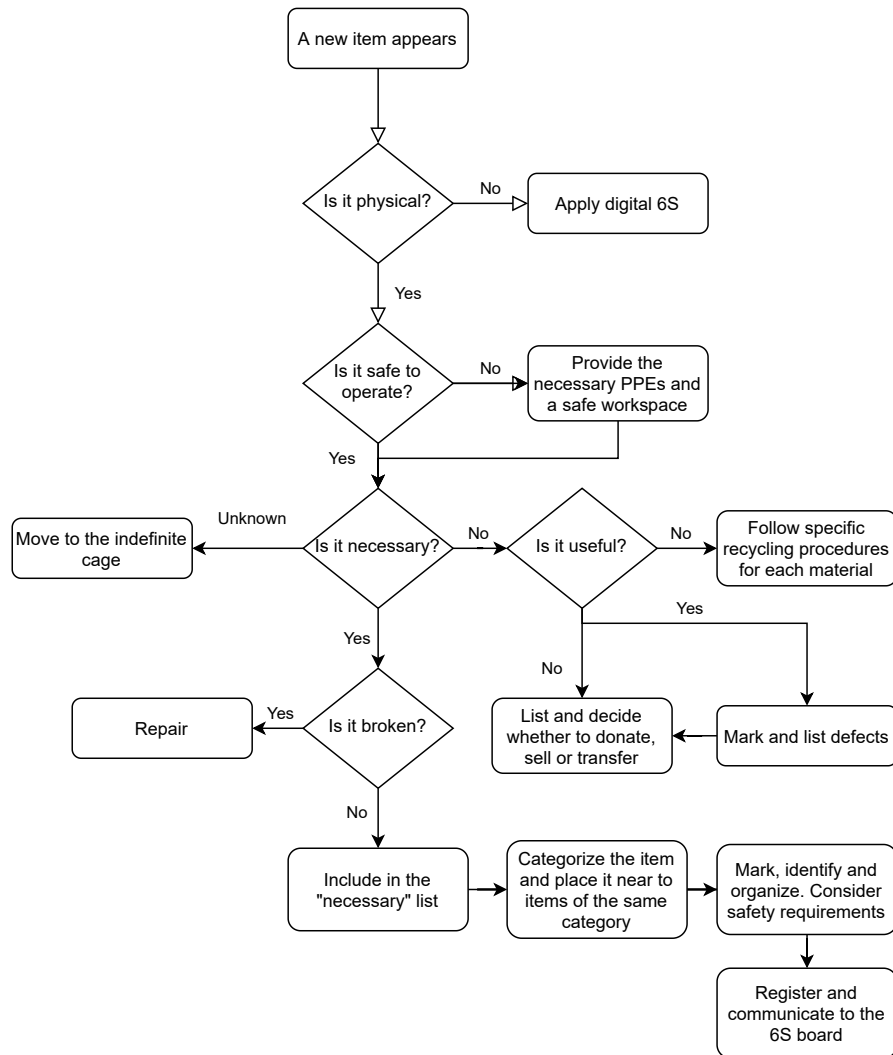


Figura 1: Ejemplo de procedimiento revisado

Las puntuaciones finales obtenidas en cada área son:

- **LEAN:** 8,66 sobre 10
- **Industria 4.0:** nivel 2 (intermedio)
- **Sostenibilidad:** 59,64%

4. Conclusiones:

Se logra una mejora en todos los indicadores de las auditorías, especialmente debidos a la creación e implantación de procedimientos en todos los aspectos estudiados. Se comprueba por tanto la importancia de la documentación y estandarización de procesos, que facilita significativamente al operario la manutención de las mejoras logradas tras este proyecto.

English:

The implementation of LEAN 5S-6S procedures has been of great interest given the positive results obtained over a maintained use. But it can not be limited to an isolated application without taking into account elements from industry 4.0 or sustainability. The synergies created between the three areas are quite relevant, and therefore, any implementation of these areas needs to take the others as part of itself. This project aims to apply and study its use in one of the university's laboratories, the one dedicated to Additive Manufacturing.

Keywords: LEAN 5S, LEAN 6S, SUSTAINABILITY, INDUSTRY 4.0, PROCEDURES, INTEGRATION, SYNERGIES.

1. Introduction:

The LEAN implementation can not be done isolated from industry 4.0 or sustainability. In the same way, the application of any of these other two areas performs badly if it does not take into account all three areas as a whole. The synergies between these provide so many benefits to not be considered.

This project will carry out an initial evaluation based on the three areas, which will lay the foundations for a LEAN implementation, considering elements of industry 4.0 and sustainability as part of its scope. To measure the impact, different audits will be performed and will allow an afterward analysis.

2. Project scope:

As any other LEAN implementation, the first step defines the team. In this occasion, it will consist of the project author and its director. Further users can get benefits from this work, such as the

working students and regular students of the laboratory space.

As mentioned in the introduction, the first step will evaluate the initial conditions of the work area. To do so, specific audits related to each area will be performed, drawing a start line. Thanks to the work done in previous years by other colleagues, a comparison between the endpoint of the previous point and the starting point of this project will be feasible.

Starting over these foundations, a review of the different LEAN procedures that will be applied is done. This review will include elements from digitalization and sustainability into the workflows for its application. Afterward, strategies for the implementation of industry 4.0 and sustainability will be defined. This implementation will generate a series of documentation which will allow us to further understand the changes introduced.

Once the implementation is finished, an evaluation of the improvements in each area will be carried out. For this purpose, it will use again different audits. The results' analysis will provide an understatement of which changes have produced the expected results, as well as evaluate future work lines of techniques of interest.

3. Results:

The implementation of the LEAN methodology is carried out without major complications. Each of the S's has its own implementation scheme, which has been revised to include digitalization and sustainability elements.

The final scores obtained in each area are as follows:

- **LEAN:** 8,66 over 10

- **Industry 4.0:** level 2 (intermediate)
- **Sustainability:** 59,64%

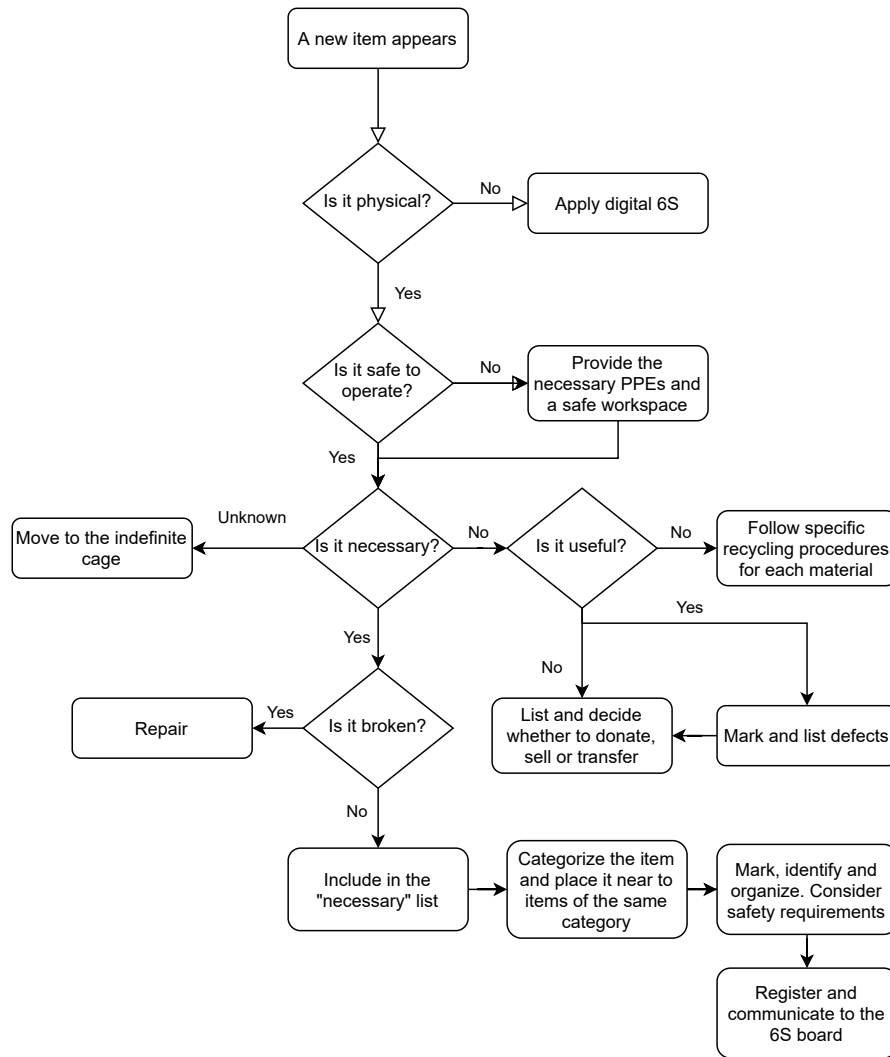


Figura 2: Example of a reviewed procedure

4. Conclusions:

An improvement is achieved in all the indicators of the audits, especially due to the creation and implementation of procedures in all

the aspects studied. The importance of documentation and standardisation of processes is therefore proven, which significantly facilitates the maintenance of the improvements achieved after this project for the operator.

A mis padres, panas, y profesores

«Un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio»

Índice general

1	Introducción y motivación	1
1.1	Introducción	1
1.2	Justificación	1
1.3	Objetivos	3
1.4	Integración con los ODS	3
1.5	Metodología	4
2	Estado del arte	7
2.1	Metodología LEAN 6S	7
2.2	Industria 4.0	11
2.2.1	Historia	11
2.2.2	Motores	12
2.2.3	Pilares	12
2.3	Sostenibilidad	14
2.4	Interacciones entre las tres áreas	16
2.4.1	LEAN e industria 4.0	16
2.4.2	LEAN y sostenibilidad	16
2.4.3	Industria 4.0 y sostenibilidad	17
2.5	Fabricación Aditiva	17
2.5.1	Historia	18
2.5.2	Fundamentos	19
2.5.3	Tecnologías	21
3	Situación inicial del espacio de trabajo	23
3.1	Reportaje del laboratorio	23
3.1.1	Líquido	24
3.1.2	Polvo	26
3.1.3	Sólido	27
3.1.4	Otros	28
3.2	Auditorías	29
3.2.1	Auditoría LEAN	29

3.2.2	Auditoría industria 4.0	32
3.2.3	Auditoría sostenibilidad	33
3.3	Análisis de resultados	35
3.3.1	Auditoría LEAN	35
3.3.2	Auditoría industria 4.0	36
3.3.3	Auditoría sostenibilidad	37
3.3.4	Comparativas	37
4	Implementación LEAN	39
4.1	Revisión de los procesos bajo criterios de industria 4.0 y sostenibilidad	39
4.1.1	Revisión Seiri + Seiton (seleccionar + ordenar)	39
4.1.2	Revisión Seiso (limpieza)	41
4.1.3	Revisión Safety (seguridad)	43
4.1.4	Revisión Seiketsu (estandarización)	45
4.1.5	Revisión Shitsuke (mantener)	46
4.2	Documentación de cada «S»	48
4.2.1	Seiri - Seleccionar	49
4.2.2	Seiton - Ordenar	51
4.3	Reportaje de la implementación	52
5	Implementación industria 4.0 y sostenibilidad	59
5.1	Breve introducción	59
5.2	Documentación	61
5.2.1	Implementación industria 4.0	61
5.2.2	Implementación sostenibilidad	65
6	Situación final del espacio de trabajo	69
6.1	Reportaje del laboratorio	69
6.2	Auditorías	74
6.2.1	Auditoría LEAN	74
6.2.2	Auditoría industria 4.0	74
6.2.3	Auditoría sostenibilidad	75
7	Resultados: análisis, conclusiones y futuros trabajos	77
7.1	Análisis de resultados	77
7.1.1	Mejoría LEAN	77
7.1.2	Mejoría industria 4.0	82
7.1.3	Mejoría sostenibilidad	83
7.2	Conclusiones	84
7.2.1	Cumplimiento de objetivos	84
7.3	Futuras vías de trabajo	85

7.3.1	Procedimientos LEAN digitales	85
7.3.2	Estudio de otras metodologías	86
7.3.3	Estudio de estándares UNE	86
A	ODS	89
B	Safari inicial	91
C	Documentación generada	101
D	Safari final	115
	Bibliografía	127

Índice de figuras

1	Ejemplo de procedimiento revisado	vi
2	Example of a reviewed procedure	x
1.1	Laboratorio de Fabricación Aditiva de la ETSI-ICAI. Sección de FDM.	2
1.2	Objetivos de Desarrollo Sostenible. Cortesía de la ONU [1].	4
1.3	Gantt de la planificación inicial del proyecto.	6
2.1	Estructura de las herramientas y fundamentos LEAN. Cortesía del DOI-ICAI.	8
2.2	6S en el entorno de trabajo. Cortesía de Oras Group	9
2.3	Los 8 desperdicios o muda. Cortesía de Juan Francisco Pérez Herrera [12]	10
2.4	Pilares de la Industria 4.0. Cortesía de i-Scoop	14
2.5	Escenarios climáticos. Cortesía de OurWorldInData	15
2.6	Ventajas competitivas de la impresión 3D. Cortesía de dap RWTH-Aachen	19
2.7	Visualización de la altura de capa. Cortesía de dap RWTH-Aachen	20
2.8	Esquemas de funcionamiento para cada tecnología. Cortesía de All3DP	22
3.1	Sección SLA (derecha) y DLP (izquierda)	24
3.2	Balda inferior a la mesa de la Form2	25
3.3	Balda inferior a la mesa de la Form3	25
3.4	Área de trabajo MJF	26
3.5	Área de trabajo FDM	27
3.6	Papelera de reciclaje para FDM	28
3.7	Espacio de almacenaje en el área FDM	29
3.8	Leyenda para la puntuación de cada pregunta	30
3.9	Resultados de la auditoría LEAN 6S	32
3.10	Resultados de la auditoría en industria 4.0	33
3.11	Leyenda puntuación de cada pregunta	34
3.12	Leyenda resultado global	34
3.13	Resultados de la auditoría en sostenibilidad	35
3.14	Resumen de resultados de la auditoría LEAN 6S	36
3.15	Leyenda para la interpretación de los resultados en sostenibilidad	37
3.16	En naranja, resultados a fecha de agosto del 2021. En azul, febrero de 2022	38

4.1	Revisión Seiri + Seiton	40
4.2	Revisión Seiso	42
4.3	Revisión Safety	44
4.4	Revisión Seiketsu	45
4.5	Revisión Shitsuke	46
4.6	Planificación general de la implantación	48
4.7	Planificación PDCA para Seiri	49
4.8	Documentación generada en la implementación Seiri	50
4.9	Planificación PDCA para Seiton	51
4.10	Una de las jaulas para fieras	52
4.11	Ejemplos de etiquetado para fieras e innecesarios	53
4.12	Implantación LEAN en el área para líquidos	54
4.13	Ejemplos de trabajo en el laboratorio contiguo (a,b) y en el área de polvo (c,d)	56
4.14	Ejemplos de señalización de seguridad	57
4.15	Auditoría realizada en la quinta S	58
5.1	Pantalla de inicio en Microsoft Planner	60
5.2	Estructura del almacenamiento nube	62
5.3	Ejemplo de visualización Gantt. Cortesía de AMFG	64
5.4	Separación por tipos para FDM	65
5.5	Detalle de las bolsas situadas al lateral	66
5.6	Procedimiento elaborado para el reciclaje	67
6.1	Antes de la implantación	69
6.2	Después de la implantación	70
6.3	Almacenaje antes de la implantación	70
6.4	Almacenaje después de la implantación	71
6.5	Reciclaje antes de la implantación	72
6.6	Reciclaje después de la implantación	72
6.7	Postprocesado antes de la implantación	73
6.8	Postprocesado después de la implantación	73
6.9	Resultados LEAN tras la implantación	74
6.10	Resultados industria 4.0 tras la implantación	75
7.1	Evolución de la implantación LEAN en el último año	78
7.2	Ejemplos de aplicación 1S y 2S	79
7.3	Aplicación Seiso	80
7.4	Ejemplos de aplicación 4S y 5S	81
7.5	Aplicación Safety	82
7.6	Aplicación sostenibilidad	83
A.1	Objetivo 9. Cortesía de la ONU	89

A.2	Objetivo 12. Cortesía de la ONU	90
B.1	Área sólido	91
B.2	Área líquido	92
B.3	Área polvo	92
B.4	Área líquido. Sección DLP	93
B.5	Área líquido. Balda inferior sección DLP	93
B.6	Área líquido. Balda inferior sección SLA	94
B.7	Área líquido. Balda inferior sección DLP	94
B.8	General. Espacio de almacenaje de piezas	95
B.9	General. Espacio de almacenaje de piezas	95
B.10	Área líquido. Papelera	96
B.11	Área sólido. Papelera	96
B.12	Área sólido. Residuos de grandes dimensiones	97
B.13	General. Inecesarios y fieras varias	97
B.14	Área polvo. Sección postprocesado	98
B.15	Área polvo. Sección postprocesado, balda superior	98
B.16	Área polvo. Sección postprocesado, detalle soporte herramientas	99
B.17	General. Jaula para fieras	99
B.18	General. Jaula para fieras	100
D.1	Resultado final área líquido-SLA/DLP	115
D.2	Jaula y fieras	116
D.3	Jaula y más fieras	116
D.4	Espacio liberado	117
D.5	Espacio liberado	117
D.6	Resultado final área líquido-SLA/DLP	118
D.7	Resultado final área líquido-SLA/DLP, postprocesado	118
D.8	Resultado final área líquido-SLA/DLP, postprocesado	119
D.9	Resultado final área líquido-SLA/DLP, almacenaje	119
D.10	Estandarización condiciones del laboratorio	120
D.11	Estandarización presiones chorreadora	120
D.12	Estandarización EPIs	121
D.13	Estandarización residuos	121
D.14	Estandarización elementos varios	122
D.15	Estandarización varios	122
D.16	Estandarización área líquido-SLA/DLP	123
D.17	Estandarización área sólido-FDM	123
D.18	Resultado final área postprocesado polvo-MJF	124
D.19	Elementos de seguridad área polvo-MJF	124
D.20	Elementos seguridad laboratorio	125

D.21 Elementos seguridad SLA-Form3	125
--	-----

Capítulo 1

Introducción y motivación

1.1 Introducción

En este Trabajo Fin de Máster se persigue la implantación de la metodología LEAN 6S como estrategia para que un laboratorio industrial de la universidad esté alineado con los objetivos globales de la agenda de desarrollo sostenible (ODS) y los requisitos mínimos para poder considerarse un laboratorio digital (4.0) [1], [2]. El laboratorio escogido para la implantación es el laboratorio de fabricación aditiva en la ETSI-ICAI.

Este laboratorio cuenta con distintas tecnologías de impresión 3D: FDM, SLA y MJF. Cada uno de estos procesos se basa en unos principios físicos diferentes, requieren de distintos formatos de materia prima, siguen flujos de diseño propios, y generan residuos característicos y distintos entre sí. Esto exige un estudio individual de cada área de trabajo para poder adecuarla según los estándares correspondientes.

El trabajo desarrollado comenzará con un estudio teórico de cada una de las áreas de interés mencionadas, al que seguirá una evaluación del espacio de trabajo previo a la implementación de la metodología LEAN (bajo criterios de sostenibilidad y de industria 4.0). Esto dará pie a la implementación y posterior evaluación de los resultados.

1.2 Justificación

El espacio escogido cuenta con diversas tecnologías de impresión 3D. Cada una de estas se puede clasificar según el estado base de la materia prima que emplea: filamento, polvo o líquido. Los distintos estados base requieren precauciones y

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

procedimientos propios en función de su naturaleza.

Además, el espacio a mejorar es un lugar de trabajo y encuentro para proyectos y actividades llevadas a cabo desde distintos departamentos de la universidad. La variedad tecnológica disponible permite dar cabida a todos ellos, pero es necesario establecer una serie de conductas para la correcta coexistencia de todos ellos.

Cada uno de estos usuarios y máquinas presentes en el laboratorio generan una cantidad de información asociada a su actividad. Esta información, al inicio del proyecto, se recoge principalmente de manera analógica y desestructurada. No existe comunicación alguna entre los distintos equipos informáticos en cuanto a archivos y procesos que se llevan a cabo.

Esta diversidad de materiales, personas, y datos, hace latente la necesidad de implantar una metodología LEAN que permita aclarar y establecer una forma de actuación común en todo el laboratorio. La implementación debe hacerse con vistas a la sostenibilidad y a los criterios de industria 4.0, ya que de lo contrario corre el riesgo de simplemente desplazar la problemática ya existente a otras actividades. Como se puede intuir dado el hincapié en la industria 4.0, la implantación LEAN no debe limitarse únicamente a lo físico, sino también tener en cuenta una dimensión digital de los procesos.



Figura 1.1: Laboratorio de Fabricación Aditiva de la ETSI-ICAI. Sección de FDM.

1.3 Objetivos

Para lograr una implementación satisfactoria en el laboratorio, se definen los siguientes objetivos principales y secundarios para el proyecto:

Objetivos principales:

- Estudio del nivel de implantación de la metodología LEAN 6S en el laboratorio de trabajo.
- Implantación de la metodología LEAN 6S en al menos una tecnología de Fabricación Aditiva.
- Evaluación de posibles soluciones a la monitorización de maquinaria.
- Evaluación de posibles soluciones al control remoto de la alimentación de la maquinaria.
- Evaluación de sistemas de gestión de la producción.
- Evaluación de sistemas de gestión de la información.
- Evaluación de la gestión de residuos provenientes de la fabricación aditiva y sus procesos asociados.

Objetivos secundarios:

- Implementación de soluciones de monitorización de la maquinaria.
- Implementación de soluciones de control de la alimentación de la maquinaria.
- Implementación de un sistema de gestión y reciclado de los distintos residuos.

1.4 Integración con los ODS

El trabajo desarrollado en este proyecto está en consonancia con algunos de los ODS planteados recientemente:

- **Industria, Innovación e Infraestructuras:** el trabajo a realizar representa una aplicación de las últimas metodologías empleadas para la innovación en la industria. Su aplicación permite ahondar en los conceptos y conocimientos sobre Industria 4.0 en un espacio de aprendizaje para los alumnos [1].

- **Producción y Consumo Responsables:** el correcto tratamiento de los residuos está alineado con este objetivo de los ODS. No se puede hablar de sostenibilidad sin un compromiso por el control del ciclo de vida de los materiales empleados para la fabricación de los productos [1].



Figura 1.2: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Cortesía de la ONU [1].

1.5 Metodología

De acuerdo con lo explicado en los apartados anteriores, se diseña una planificación a seguir previo al comienzo del mismo. La primera fase se centra en una comprensión de los avances actuales en cada una de las ramas de interés, que se refleja en el Anexo B y en el siguiente capítulo de este proyecto.

Seguidamente, se lleva a cabo una evaluación de las distintas soluciones de gestión de procesos y empleo de recursos. La evaluación de las soluciones de monitorización y control finalmente pasaron a un segundo plano, ya que se consideró prioritaria la implementación LEAN.

Esta implementación va asociada a una planificación previa, ya que requiere de una serie de elementos a trabajar de antemano. Por último, la elaboración de la memoria y su presentación tienen lugar durante los meses de verano.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

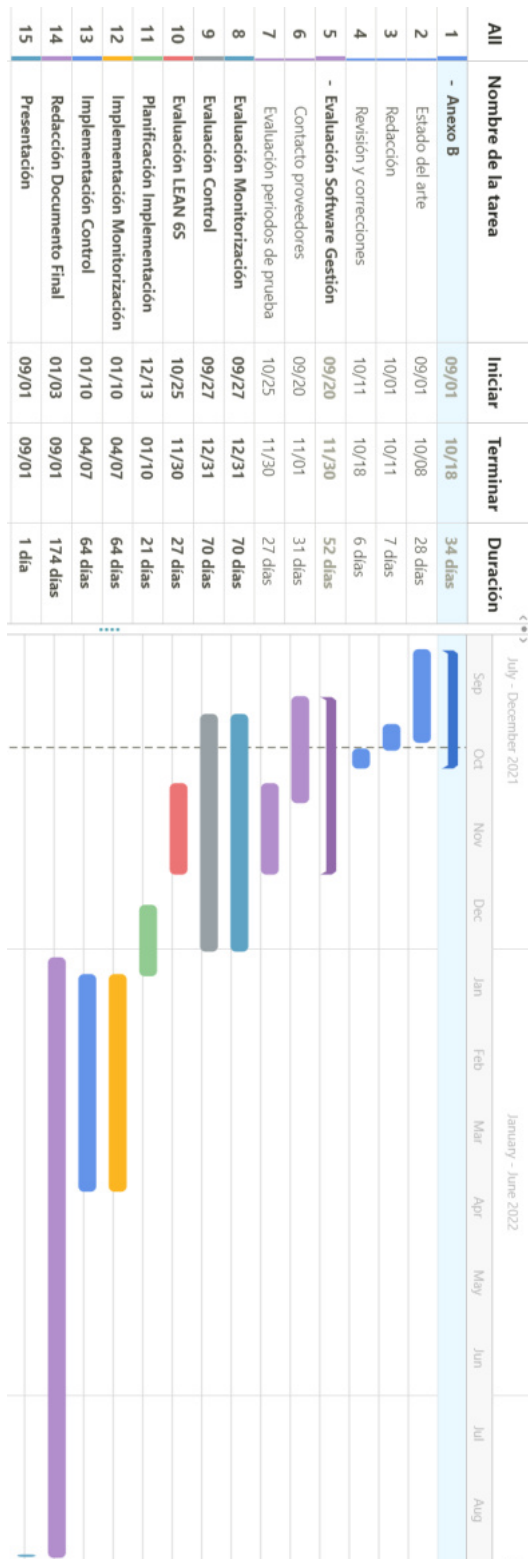


Figura 1.3: Gantt de la planificación inicial del proyecto.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1 Metodología LEAN 6S

La metodología LEAN se define como un proceso versátil, capaz de ajustarse con facilidad a las necesidades del cliente. Para ello se basa en una filosofía de trabajo centrada en la mejora continua, que parte de la conocida como cultura kaizen. Originada en Japón, sus inicios se sitúan en la compañía Toyota [3]. Motivada por la escasez y alta inflación tras el final de la segunda guerra mundial, se busca la creación de un sistema óptimo, adaptado a las necesidades del cliente y que produzca únicamente aquello que sea estrictamente necesario.

Esto lleva entre 1948 y 1975 a la creación del sistema JIT (Just in Time) por los ingenieros Taiichi Ohno y Eiji Toyoda [4]. El sistema JIT busca la eliminación de todo tipo de residuo en el proceso de cara a lograr un flujo óptimo. En este apartado se explican los distintos tipos de residuos a los que alude Taiichi Ohno, así como los principios LEAN que permiten su reducción. Estos conocimientos sientan las bases sobre las Womack y Jones definen en 2005 los cinco principios básicos para definir la metodología LEAN [5].

Además del sistema JIT, la metodología LEAN encuentra su segundo pilar en el Jidoka. Se trata tanto de una herramienta como de un sistema desarrollado con el objetivo de reducir el número de defectos y permitir a un mismo empleado atender diversas máquinas o tareas (separación hombre-máquina) [4]. En sus primeras versiones, se basaba en el uso de «*Poka-yokes*» [4], capaces de detectar la presencia de defectos en la línea de producción. Su segunda generación pasa a incluir elementos auditivos y/o visuales, los cuales son denominados «*Andon*» [6]. La tercera generación no solo es capaz de avisar de la presencia de anomalías, sino que también presta ayuda al empleado a la hora de realizar el diagnóstico mediante

la generación de códigos de error. La cuarta generación, que se encuentra en fase de expansión, abarca los campos del mantenimiento preventivo para actuar sobre las desviaciones con la antelación suficiente [6].

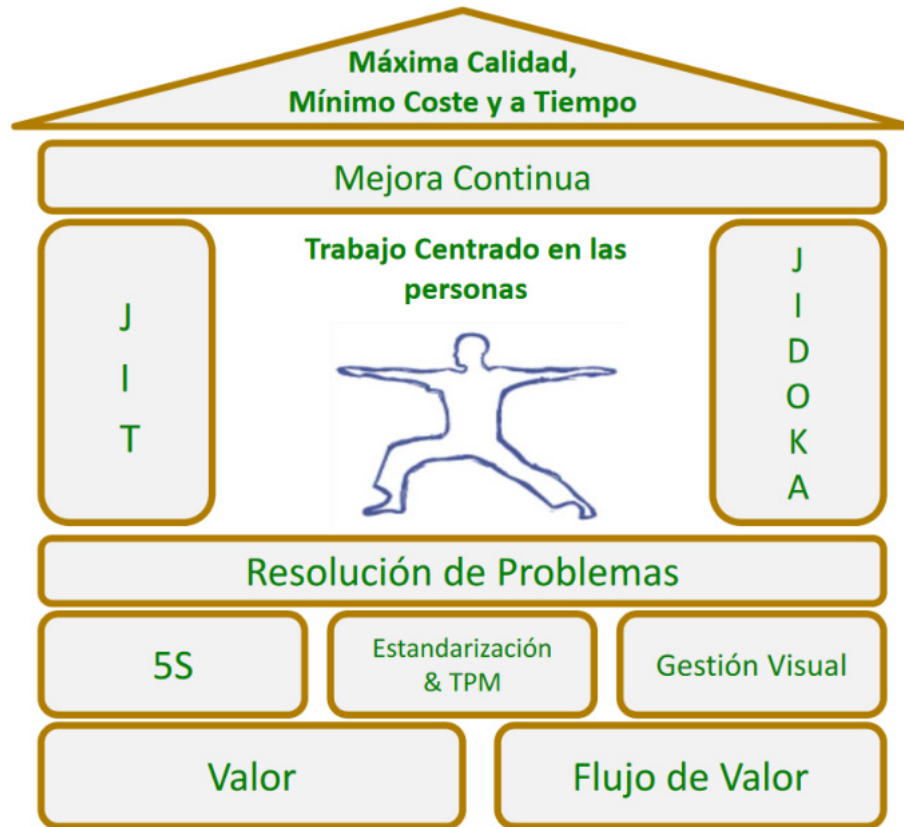


Figura 2.1: Estructura de las herramientas y fundamentos LEAN. Cortesía del DOI-ICAI.

Estos dos pilares, basados en la aplicación de una estandarización según las 5S + Seguridad y la producción nivelada, constituyen la base de la metodología LEAN que se aplica a lo largo y ancho de la industria [7],[8].

El presente TFM se centra en la implantación LEAN 5S + Seguridad (por tanto, 6S). Su nombre proviene de la grafía empleada en el alfabeto latino, ya que todas ellas comienzan por la letra «S» [9],[10]. Estas son:

- **Seiri:** organización, orden, deshacerse de lo innecesario. Solo debe mantenerse aquello que se considere esencial para llevar a cabo la actividad.

- **Seiton:** ordenación de las operaciones, creación de un flujo de trabajo. Las estaciones, el material, los trabajadores etc... Todos ellos deben situarse de cara a evitar flujos innecesarios o que entorpezcan a terceros.
- **Seiso:** limpieza, brillo. El espacio de trabajo debe dejarse en condiciones iguales o mejores de las iniciales. Si se cumple, supone una mejora de las condiciones de trabajo del siguiente usuario.
- **Seiketsu:** control, estandarización. Se debe buscar una intercambiabilidad entre las distintas operaciones del proceso. Esto permite una mayor versatilidad de cara a las necesidades del cliente.
- **Shitsuke:** continuidad, disciplina. Todo lo anterior carece de valor si no resulta en un esfuerzo mantenido en el tiempo.
- **Safety:** seguridad. Cada una de las estaciones debe ser revisada para garantizar el cumplimiento de la normativa de seguridad vigente. El orden y la previsión logrados con las 5S, permiten la implementación de un entorno de trabajo seguro.

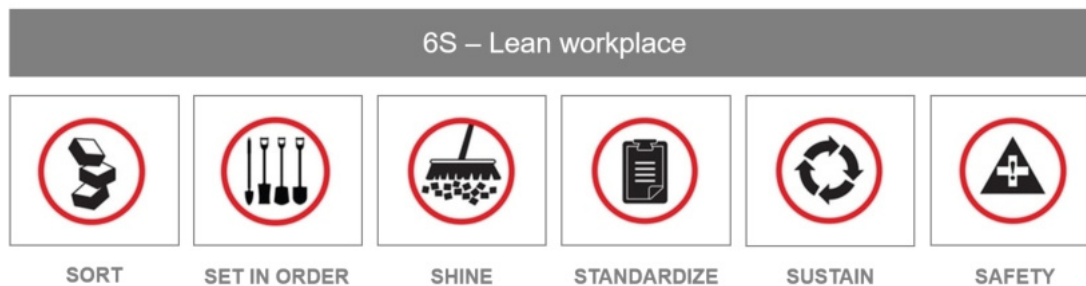


Figura 2.2: 6S en el entorno de trabajo. Cortesía de Oras Group

La implementación debe realizarse en la totalidad de la organización, puesto que de lo contrario pueden no lograrse los objetivos deseados y resultar en una implementación fallida [10].

Los residuos que pueden aparecer en cualquier proceso industrial, y sobre los que se busca reducir su impacto, pueden clasificarse en tres categorías [11]. Estas son:

- **Muri:** «Overburden», en referencia al exceso de recursos en los distintos puestos de trabajo. Estos excesos pueden llevar a una producción por encima de lo que realmente se demanda o de mayor calidad a la necesaria, malgastando

tiempo de los operarios en actividades que no resultan de valor y agravando los cuellos de botella [9].

- **Mura:** «*Unevenness*», en referencia a la falta de regularidad. Un proceso inestable resulta difícil de predecir, dificultando la planificación y asignación de recursos para un funcionamiento correcto. Su eliminación ayudará a mejorar la consistencia y la eficiencia de la producción [9].
- **Muda:** «*Waste*», en referencia a los residuos. Cualquier actividad que, sin generar un valor añadido, esté empleando los recursos de la empresa, se incluye dentro de esta categoría. Estos residuos pueden clasificarse en ocho categorías: talento no utilizado, inventario, movimientos, esperas, transporte, defectos, sobreproducción y sobreprocesamiento [12].



Figura 2.3: Los 8 desperdicios o muda. Cortesía de Juan Francisco Pérez Herrera [12]

De cara a la implementación de la metodología lean, surge la definición dada por Womack y Jones [5] de los principios básicos que deben seguirse para la implementación de una metodología lean:

- Detectar y definir la necesidad del cliente, para producir el producto deseado y evitar desperdicios innecesarios.

- Identificar las actividades y procesos que proporcionan valor de cara a la necesidad del cliente.
- Crear un flujo continuo de suma de valor a lo largo de la cadena de producción.
- Emplear un sistema "pull" para producir la cantidad que necesita el cliente, ni más ni menos. La producción cambia en función de la demanda.
- Garantizar y mejorar el trato con los suministradores, de cara a asegurar un futuro beneficioso para ambas partes.

2.2 Industria 4.0

2.2.1 Historia

La evolución de la industria, al igual que la historia de la humanidad, parece haberse acelerado en los últimos siglos. Por ello, es necesario recorrer las tres revoluciones anteriores previo al estudio de la revolución actual. La primera de todas ellas, tiene su inicio a finales del siglo XVIII [13]. El cambio de paradigma está basado en la introducción de la máquina de vapor a los procesos de fabricación, reemplazando en la mayoría de casos a la fuerza humana y al uso de animales. La mayor densidad energética, gracias al uso del carbón, junto al aumento de la producción, dan lugar a las primeras grandes fábricas y a un aumento del comercio en los países que van industrializándose [14].

La segunda revolución industrial no tiene lugar hasta finales del siglo XIX, con la introducción de un nuevo vector energético: la electricidad [15]. A este nuevo vector también le acompaña una nueva forma de gestionar la producción, ideada por Henry Ford en el año 1913. Este nuevo enfoque de la fabricación permitió mejorar de nuevo la eficiencia de los procesos, a la par que un abaratamiento de los productos fabricados que los hace más accesibles [13].

La tercera revolución industrial no se hizo tanto de esperar, ya que sus inicios se sitúan a finales del siglo XX con la introducción de la electrónica y la computación, que permiten una automatización cada vez mayor de los distintos procesos. Esta automatización se traduce también en una mayor seguridad del trabajador, que puede distanciarse del proceso en sí y dirigir su atención a la gestión de varias actividades. Es decir, se produce una separación del trabajo entre el hombre y la máquina, que ya no requiere de una atención continuada [15] [16].

Por último, la cuarta revolución industrial sitúa sus inicios a principios del siglo actual. La interconexión de los distintos procesos lleva a una digitalización de los sistemas de fabricación, permitiendo una mayor flexibilidad y adaptación de las fábricas a la demanda en cada momento gracias al procesamiento de grandes cantidades de datos [16] [17]. Esta última revolución también se conoce bajo el nombre de Industria 4.0, y sus pilares, motores y tecnologías se detallan a continuación.

2.2.2 Motores

Los motores detrás de la industria 4.0 pueden dividirse en las siguientes categorías: aumento de la competitividad, aumento de la capacidad de innovación y de la productividad, expectativas de los clientes, aumento de la sostenibilidad, factores económicos, oportunidades de innovación en el modelo de negocio, y apoyo a las actividades de gestión [18].

Las empresas se ven forzadas a una mejora continua para mantener su posición en el mercado. Los ciclos de vida de los distintos productos se han visto reducidos, aumentando el peso de la fase de diseño que debe ser lo más eficiente posible. La creatividad y la productividad pasan por tanto a ser factores decisivos para la empresa, que ya no puede confiar en los sistemas de producción tradicionales. Estos sistemas no siempre tienen en cuenta el impacto medioambiental de los mismos, factor por el cual los clientes cobran cada día una mayor conciencia. Todo esto, junto a los factores económicos que afectan a toda empresa, llevan a una innovación constante en el modelo de negocio [19] [20].

2.2.3 Pilares

La implantación de la industria 4.0 necesita de una serie de tecnologías, las cuales se consideran sus pilares. Son tecnologías no necesariamente novedosas (por ejemplo, la Fabricación Aditiva tiene sus orígenes en la década de 1980), pero que se redescubren en su aplicación bajo el paraguas de la industria 4.0. Gracias a los distintos avances y a sus interconexiones, las tecnologías que conforman los pilares también se han beneficiado de un mayor desarrollo durante los últimos años.

Los pilares de la industria 4.0 son [18]:

- **Internet of Things:** conocido también en español como internet de las cosas, comprende los distintos dispositivos con capacidad de recogida de datos y que se encuentran conectados a la red [21][22].

- **Big Data y Analítica:** el volumen de datos generado por los distintos dispositivos requiere de herramientas específicas para su gestión y comprensión [21][22].
- **Computación en nube:** la potencia para procesar estos datos ya no tiene por qué reflejarse en un sistema físico de la misma capacidad, si no que existe la posibilidad de realizar todos los esfuerzos de cálculo en servidores remotos a un coste menor [21][22].
- **Ciberseguridad:** todo este proceso de digitalización y procesamiento de la información requiere de medidas de seguridad adaptadas a las necesidades de la industria [21][22].
- **Integración vertical y horizontal:** la cadena de valor busca expandirse mediante la colaboración entre empresas (integración horizontal) a la par que se busca albergar tanto valor como sea posible dentro de la misma empresa (integración vertical) [21][22].
- **Robótica:** la automatización iniciada en el campo de la robótica sigue avanzando, llegando hasta el punto de la comunicación y el intercambio de información entre los distintos sistemas [21][22].
- **Realidad Aumentada:** se busca añadir información al mundo físico mediante la superposición de elementos visuales que ayuden a la comprensión y análisis del entorno por parte del trabajador [21][22].
- **Fabricación Aditiva:** en contra del enfoque substractivo tradicional, la fabricación aditiva se basa en la adición capa a capa de material, llevando a reducciones en los tiempos de fabricación en ciertas aplicaciones [21][22].
- **Simulación:** gracias a la gran cantidad de datos que se puede obtener, existe la posibilidad de simular los distintos procesos previo a su realización, reduciendo la necesidad de ensayos a nivel físico como única fuente de información [21][22].

De los pilares mencionados, este TFM se basa en los principios de la integración de la información y en su almacenamiento y manejo en nube de un modo seguro. Estos dos pilares servirán de apoyo para el desarrollo de las actividades del laboratorio en el ámbito de la impresión 3D. El IoT se plantea desde un marco teórico, ya que se investigan las distintas opciones existentes para la sensorización del espacio de trabajo. La mayor interconectabilidad que se busca alcanzar, facilitará las labores del día a día en el laboratorio. Como se verá en un siguiente capítulo, esta integración de los pilares de la industria 4.0 no puede llevarse a cabo sin un

estudio LEAN previo [23], ya que lo único que se logra es desplazar la casuística de los problemas encontrados [24]. De igual modo, se observará la relación de ambas con la sostenibilidad, uno de los motores en la industria 4.0.



Figura 2.4: Pilares de la Industria 4.0. Cortesía de i-Scoop

En materia regulatoria, cabe destacar la implantación del estándar UNE-0061-2019 [2] al ámbito de la industria 4.0. La ausencia de una norma que permitiera identificar los espacios 4.0 hacía difusa su identificación, que se basaba, al igual que parte de este TFM, en auditorías creadas por terceros.

2.3 Sostenibilidad

Por último pero no menos importante, la sostenibilidad se ha convertido en un tema de actualidad tal como queda reflejado en los ODS marcados por la ONU [1].

Se hace por tanto patente una necesidad de gestionar los recursos de la manera más eficiente posible; no sólo durante su fabricación, si no durante el ciclo de vida completo del producto.

El impulso actual por la sostenibilidad se inicia en 1968, al celebrarse por primera vez una cumbre internacional centrada en el medio ambiente: la conferencia de la biosfera [25]. En este encuentro se discute por primera vez el uso racional de los recursos disponibles, ligando la gestión de la tierra y el agua a estas políticas. A partir de 1995 se establecen las conocidas como "Conferencias ONU sobre el cambio climático", de frecuencia anual como marco en el que continuar el trabajo iniciado. De entre estas caben destacar las celebradas en Kyoto (1977) [26] y París (2015) [27], donde se establece un compromiso por gran parte de los países por fomentar políticas de descarbonización en sus respectivas economías.

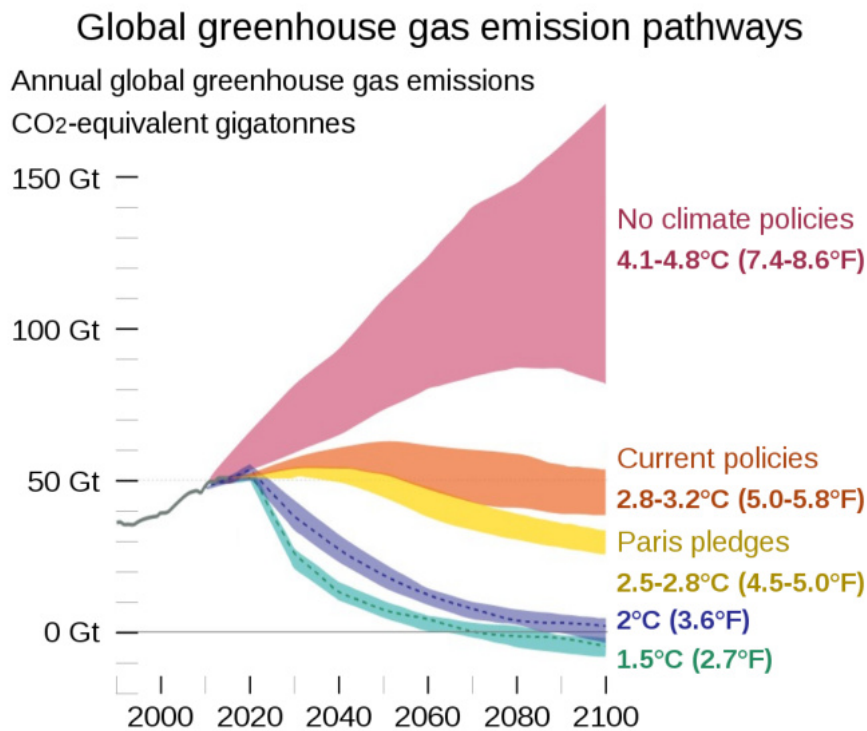


Figura 2.5: Escenarios climáticos. Cortesía de OurWorldInData

La integración de la sostenibilidad en los procesos de fabricación está ligada a los motores de la implantación 4.0 [28], tal como se observa en el apartado anterior. Del mismo modo, la metodología LEAN ha evolucionado para integrar elementos de sostenibilidad en su flujo de trabajo, resultando por tanto en tres

ramas complementarias [29]. El impacto sobre la sostenibilidad debe también ser evaluado en sus tres dimensiones: social, económica y medioambiental [25][30].

En el caso concreto de este TFM, la gestión de residuos derivados de la fabricación aditiva resulta complicada debido a la escasez de documentación y procedimientos tanto por parte de autoridades como de fabricantes.

2.4 Interacciones entre las tres áreas

Como se ha podido entrever a lo largo de los apartados anteriores, las tres ramas mencionadas hasta el momento guardan fuertes correlaciones en su correcto funcionamiento y adaptación.

2.4.1 LEAN e industria 4.0

La implementación LEAN no puede ni debe limitarse a los elementos físicos del espacio de trabajo. Esta herramienta debe emplearse igualmente en lo digital, y es un requisito previo a la digitalización de los procesos [23]. Los beneficios del LEAN sobre la industria 4.0 pueden observarse en especial a la hora de realizar la implantación digital, puesto que se reduce el riesgo de fracaso [31].

Esta relación es bidireccional, ya que el LEAN también sale beneficiado en su interacción con la industria 4.0. El empleo de la sensorización, integración, e IoT, permiten mejorar los sistemas Kanban y acortar los ciclos de cada producto [32].

El uso de sistemas de realidad aumentada es igualmente útil para la mejora de la eficiencia en los sistemas JIT, TPM, y Poka Yoke entre otros. En conjunto, se logra una mejora significativa en la prevención de errores, trazabilidad, y calidad de servicio [33][34].

2.4.2 LEAN y sostenibilidad

La relación entre estos dos ámbitos se da en las tres formas de la sostenibilidad: económica, social y medioambiental. Se pasa a considerar la sostenibilidad incluso como una nueva frontera para el LEAN, que debe adaptar su funcionamiento para mejorar sus resultados [35][36].

En el ámbito económico, la interacción entre ambas áreas ayuda a la reducción de gastos innecesarios, mejorando los rendimientos y aumentando los beneficios de la empresa [37]. La adopción de la metodología LEAN en las empresas también ha demostrado una mayor consecución de los objetivos de sostenibilidad marcados, reduciendo su impacto medioambiental [38][39][40]. Por último, respecto al impacto social, se detecta una mejora en las condiciones de trabajo de los empleados, con tasas de accidentes reducidas y una mayor participación en la toma de decisiones [41][42].

2.4.3 Industria 4.0 y sostenibilidad

Por último pero no menos importante, la relación entre las tecnologías de la industria 4.0 y la sostenibilidad han evolucionado de la mano en los últimos años. Al igual que el LEAN, su relación se desarrolla en las tres dimensiones de la sostenibilidad [35].

Por la parte medioambiental, la sensorización mediante IoT y la gestión de grandes cantidades de datos puede emplearse para la reducción del consumo energético de las empresas, la trazabilidad de los residuos o la mejora en la implantación de una economía circular [39][32]. La dimensión económica resulta beneficiaria directa de estas aplicaciones mencionadas. Los distintos ahorros producidos se traducen en una reducción del gasto, a la par que en un aumento de los ingresos [39][43]. El aspecto social no resulta tan claro, ya que al igual que en las revoluciones industriales anteriores, existe un gran número de profesiones que se ven amenazadas. Aun así, se apunta a una mejora de las condiciones de vida a nivel general para la sociedad [32].

2.5 Fabricación Aditiva

Esta última sección del estado del arte se incluye dado el contexto tecnológico en el que el laboratorio escogido desarrolla su actividad. Por tanto, se limitará a dar unas pinceladas sobre la historia de la Fabricación Aditiva (FA en adelante), las tecnologías presentes en el laboratorio, y los distintos materiales que se pueden emplear.

2.5.1 Historia

La primera prueba de concepto asociable a la FA tiene lugar en 1981. Hideo Kodama plantea las bases para la tecnología conocida como estereolitografía (SLA por sus siglas), cuyo principio de funcionamiento consiste en el curado mediante fotopolimerización de una resina termoplástica. En 1983, Chuck Hull logra la que se considera la primera pieza obtenida mediante métodos aditivos [44].

La primera empresa del sector es Stratasys, fundada por Chuck Hull en el año 1989. Durante las siguientes décadas, se prosigue el desarrollo de las tecnologías conocidas a la par que se investigan nuevas técnicas y materiales. Algunos ejemplos son la fabricación FDM y el mayor abanico de materiales que se va abriendo. Esta técnica, patentada en el mismo año, resulta la más extendida a nivel no industrial a día de hoy [44].

El gran problema al que se enfrentaba la FA radicaba en el sistema de patentes y en el alto coste de la maquinaria. No es hasta principios de 2014 cuando se produce la liberación de la tecnología FDM, seguida posteriormente por otras como la SLS. Gracias a este nuevo acceso no restringido a la tecnología, se produce una explosión de empresas, modelos, y foros de usuarios, que aceleran significativamente la expansión de la impresión 3D fuera de los ámbitos industriales habituales [45].

Entre los distintos factores, cabe destacar la influencia de los movimientos «Maker». Estas comunidades, basadas en el «Open-source» y «Open-hardware» logran producir las primeras impresoras basadas en FDM de muy bajo coste, denominadas RepRap [46]. Este proyecto permite al usuario descargar su manual de fabricación de una impresora 3D a partir de elementos comerciales de fácil acceso tanto para la estructura como para la electrónica asociada a la máquina. A medida que avanza la década, gracias a la irrupción de modelos bajo coste prefabricados (el usuario ya no tiene que fabricar desde cero la impresora), el movimiento pierde fuerza y parece estancarse. No obstante, en los últimos años surgen nuevos proyectos como las impresoras Voron, que buscan un rediseño de las capacidades de la impresión FDM centrada en el uso no industrial pero ofreciendo alta precisión y velocidad [47].

Es importante distinguir entre las expectativas que se han vertido sobre la impresión 3D y los alcances reales que tiene la tecnología a día de hoy. A comienzos de década, se pensaba erróneamente que la fabricación aditiva era capaz de replicar cualquier diseño sin límite alguno, ni en la forma ni en el material. Los alcances de la técnica pueden haber provocado desilusión y decepción en este aspecto, pero no deben ocultar los progresos que se han ido logrando en distintas áreas de aplicación [44].

Poniendo de ejemplo el sector de la medicina, la impresión 3D ha logrado ampliar el catálogo de materiales y técnicas necesarias para ofrecer soluciones biocompatibles con el cuerpo humano. El uso de estructuras de tipo «lattice», estructuras celulares regulares y de espesores muy finos, permite la creación de «scaffolds» sobre los cuales crecer y cultivar tejido orgánico. Otros campos de aplicación muestran avances respecto a la sostenibilidad, como ocurre con la bioimpresión de hongos [48][49].

2.5.2 Fundamentos

La fabricación aditiva ofrece una serie de beneficios respecto a las técnicas tradicionales. Estas son: reducción de peso sin coste adicional, aumento de la complejidad sin coste adicional, y aumento de la personalización sin coste adicional.

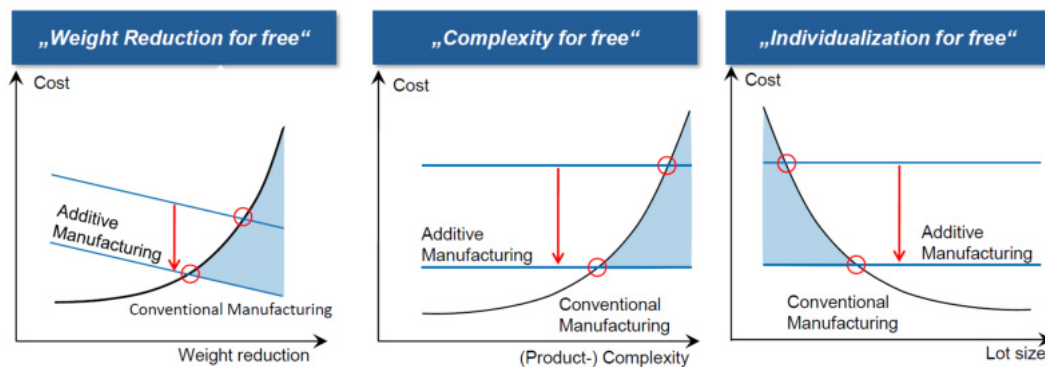


Figura 2.6: Ventajas competitivas de la impresión 3D. Cortesía de dap RWTH-Aachen

Si bien estas ventajas pueden resultar muy atractivas, la impresión 3D requiere de unos ciertos procedimientos para poder lograr resultados satisfactorios. Del mismo modo, se encuentra sujeta a ciertas limitaciones físicas como cualquier otro proceso. Como se puede comprobar en el nombre que reciben estas tecnologías, el principio de funcionamiento común a todas ellas se reduce a la adición de capas individuales de material. El flujo de trabajo tiene ciertas peculiaridades a tener en cuenta, por lo que se debe seguir una filosofía de «diseño para impresión 3D».

Durante la fabricación existen dos parámetros fundamentales y extrapolables a las distintas tecnologías: la altura de capa y el diámetro del extrusor o diámetro del láser empleado. Estos dos parámetros son los de mayor influencia de cara al acabado y calidad final de la pieza [50].

La altura de capa afecta directamente al principal defecto asociado a la fabricación aditiva: el efecto escalera. Dada la naturaleza aditiva del proceso, resulta imposible ajustar la geometría para seguir superficies curvas con exactitud. El error generado se manifiesta como una mayor rugosidad superficial de la pieza, que puede llegar a ser fácilmente visible [51].

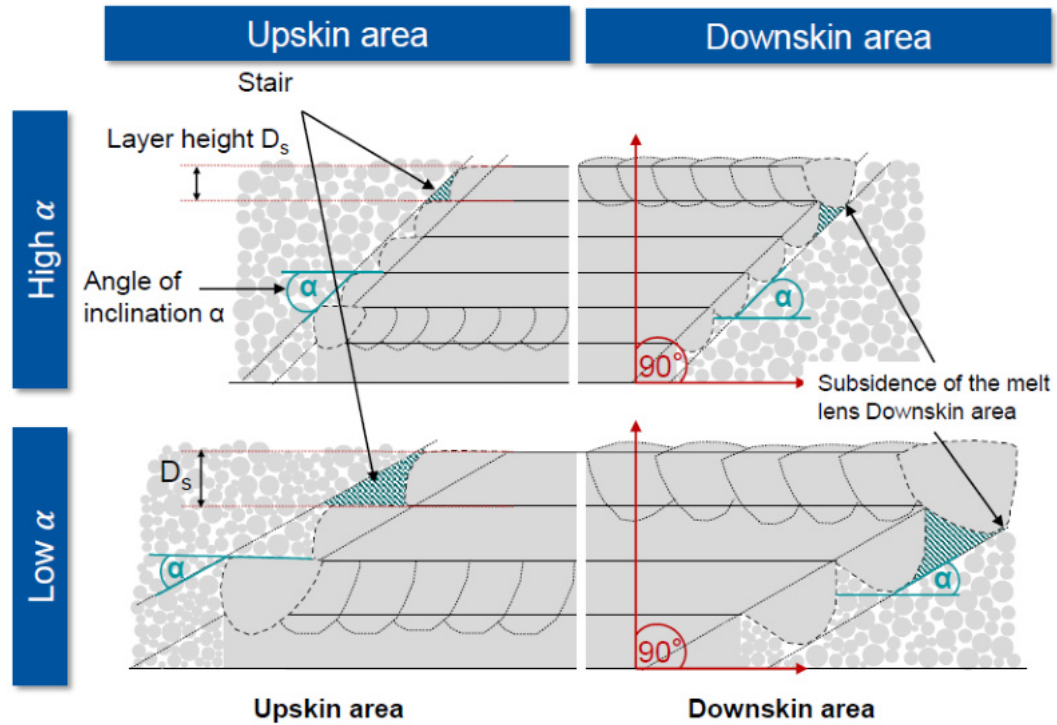


Figura 2.7: Visualización de la altura de capa. Cortesía de dap RWTH-Aachen

El diámetro del extrusor o de la fuente de energía determinará el detalle mínimo fabricable en el plano perpendicular al mismo. Debe alcanzarse un compromiso entre la calidad y los tiempos, que aumentarán exponencialmente cuanto mayor sea la calidad deseada.

Un gran olvidado dentro de los procesos de fabricación aditiva es el postprocesado final que requiere cada pieza. La gran mayoría requerirá una eliminación de soportes (mecánica, química o manual [52]), un consecuente repaso de las superficies de contacto con los soportes, lacados, pintura... Estos procesos deben ser considerados de cara a una correcta estimación del resultado y costes finales.

2.5.3 Tecnologías

Las distintas tecnologías existentes a día de hoy pueden clasificarse según distintos criterios. Concretamente, se seguirá la clasificación marcada por la ISO 52900 [53]. Dado que el objetivo de trabajo de este TFM simplemente se desarrolla en un entorno de utilización de la impresión 3D, solo se procederá a explicar en detalle aquellas tecnologías presentes en el laboratorio (FDM, SLA, MJF, DLP).

FDM

La fabricación FDM («*Fused Deposition Modeling*») está basada en la extrusión de material termoplástico a altas temperaturas, generalmente por encima de los 200°C [54]. Es la tecnología más extendida a día de hoy, especialmente para el pequeño usuario que busca una inversión mínima. La variedad de materiales es elevada, al igual que la cantidad de proveedores y el rango de precios disponible. Dependiendo de la máquina, las capacidades en cuanto a resolución pueden ser importantes, pero el diámetro del extrusor no es capaz de alcanzar los diámetros que se emplean en las técnicas de proyección de energía.

SLA

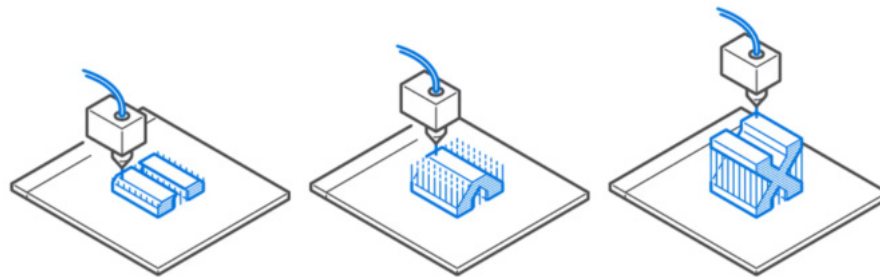
A diferencia del FDM, el SLA («*Stereolithography*») y las tecnologías siguientes basan su funcionamiento en la proyección de una fuente de energía [55]. En el caso del SLA, esta fuente la constituye un láser con la capacidad de acelerar el proceso de curado en el material sobre el que incide. No requiere temperaturas muy elevadas para su funcionamiento, ya que el material base es una resina. Su mayor problema reside en la propia resina, que es una fuente de suciedad y requiere un postprocesado adicional tras la impresión (eliminación de soportes y curado, como mínimo) [56].

DLP

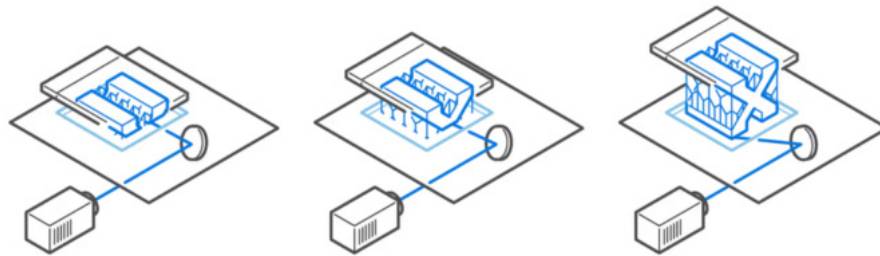
Similar a la tecnología SLA, la DLP («*Direct Light Processing*») requiere de una resina como materia prima. La diferencia fundamental se encuentra en la proyección de la luz, ya que proyecta máscaras de luz en lugar de un láser. Cada máscara representa una capa completa de la pieza, por lo que el proceso de fabricación puede resultar más rápido en función de la configuración. El contra se encuentra en la resolución, que depende del tamaño mínimo de píxel alcanzable por el proyector [54].

MJF

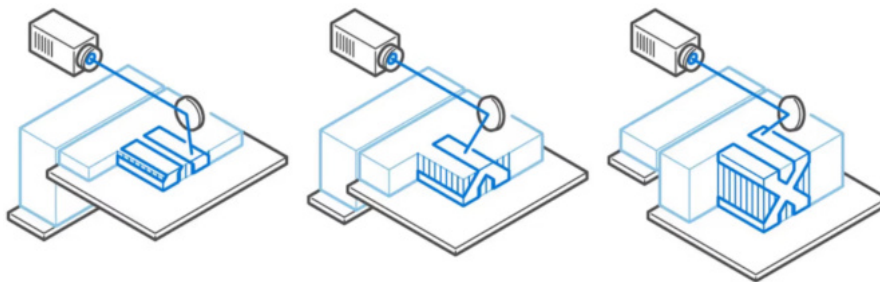
La tecnología MJF («*Multi Jet Fusion*») se basa en la fusión selectiva de material. Para ello, calienta el polvo hasta temperaturas próximas a su temperatura de fusión, de modo que el láser simplemente aporta el calor restante para superar el cambio de estado [57]. Siendo un proceso de altos gradientes térmicos, es necesario emplear agentes que aumenten o reduzcan la absorción de energía en función del contorno de la pieza. Este uso de aditivos permite también incluir colorantes, dando lugar a piezas a todo color [58].



(a) Tecnologías FDM



(b) Tecnologías VAT



(c) Tecnologías L-PBF

Figura 2.8: Esquemas de funcionamiento para cada tecnología. Cortesía de All3DP

Capítulo 3

Situación inicial del espacio de trabajo

3.1 Reportaje del laboratorio

Es necesario realizar un reportaje inicial del espacio de trabajo que sirva como punto de comparación al final del proyecto. Para ello se emplean dos herramientas a lo largo de este capítulo:

- **Safari fotográfico:** especialmente relacionado con la metodología LEAN, consiste en una documentación visual del espacio de trabajo que permite una comparación sencilla del antes y el después. En este capítulo se realiza a fecha de 21 de diciembre del 2021.
- **Auditorías:** aplican a las tres áreas de trabajo y están diseñadas para cada una de ellas. Un punto adicional de estas es que ya se han realizado estudios similares en este mismo espacio, por lo que existe la posibilidad de realizar un breve histórico con la evolución de las distintas implantaciones. En este capítulo se realizan a lo largo de la primera quincena de febrero.

Este capítulo se realiza un breve safari de los elementos más destacados del laboratorio, de cara a dar al lector una imagen aproximada del mismo y de los elementos en los que se ha realizado un mayor cambio. Para mayor facilidad, se dividirá el capítulo en función de la tecnología base (líquido, polvo, sólido) y otros espacios como puede ser el de almacenamiento. El resto de imágenes no mostradas pueden encontrarse en el anexo final.

3.1.1 Líquido

Como se ha podido observar en los capítulos anteriores, la sección de líquido engloba a las tecnologías basadas en el principio de fotopolimerización. El laboratorio cuenta con un total de tres máquinas en este aspecto: una Form2, una Form3 (ambas tecnología SLA) y una máquina DLP.



Figura 3.1: Sección SLA (derecha) y DLP (izquierda)

De derecha a izquierda, se observa la Form3, la Form2 y finalmente la DLP. Entre ambas máquinas SLA se cuenta con una estación de limpieza para la primera fase del postprocesado, que se finaliza con un curado en la estación contigua. Esta zona resulta un foco de suciedad, ya que las distintas resinas empleadas suelen manchar el área de trabajo durante el primer proceso de limpieza y eliminación de soportes. No existe un espacio claramente delimitado y fácil de limpiar para llevar a cabo estas acciones, de la misma forma que resulta difuso el espacio en el que poder depositar las piezas ya finalizadas o que están a la espera de avanzar a una fase posterior.

En la parte inferior de las mesas existe una balda sobre la cual se depositan parte de las distintas resinas y materiales de repuesto necesarios tanto para la máquina como para la estación de limpieza. Como se puede comprobar en la imagen, no existe un orden claro para los distintos elementos ni ningún indicador que permita identificar con facilidad el desorden. Las cajas y los espacios no cuentan con ningún

tipo de identificación relativa al lugar y función que les corresponde.



Figura 3.2: Balda inferior a la mesa de la Form2

Las cajas situadas bajo la Form3 sí cuentan con una rotulación que permite identificarlas, pero faltan elementos indicadores de su posición y que sean fácilmente detectables en cuanto se encuentren fuera de lugar.



Figura 3.3: Balda inferior a la mesa de la Form3

Es necesario realizar una aclaración en este punto en relación a la impresora situada a la derecha. La máquina no se ha tenido en cuenta de cara a la situación

inicial ni al trabajo desarrollado ya que se trata de una cesión temporal que finaliza antes de la implantación del proyecto. Por ello, esta y los elementos asociados se ignoran a lo largo de esta memoria de cara a facilitar su comprensión.

3.1.2 Polvo

La única tecnología disponible en el laboratorio dentro de esta categoría es la MJF. Se trata de una técnica que requiere maquinaria que ocupa grandes dimensiones, por lo que solo se cuenta con una unidad, la HP 580C.



Figura 3.4: Área de trabajo MJF

De izquierda a derecha, es posible observar los distintos elementos que componen esta área de trabajo: la impresora, un espacio de almacenamiento, la unidad de limpieza (aire a presión con desbaste mediante partículas) y el área de trabajo y herramientas.

Si bien la unidad de líquido presentaba focos de suciedad, en la sección de polvo la propia impresora resulta una fuente constante de partículas en suspensión. El material base empleado, debido a su reducido diámetro, flota con facilidad y se esparce a lo largo de todo el laboratorio. Es por ello, como se puede observar en las imágenes de la subsección anterior, que la maquinaria de líquido se encuentra

cubierta por cajas cuando no se está fabricando ninguna pieza. De esta forma se reduce la cantidad de material que termina depositándose sobre los elementos ópticos. Es importante extremar las precauciones en este espacio y emplear siempre los elementos de protección individual marcados.

3.1.3 Sólido

Al igual que la sección de polvo, solo se cuenta con una tecnología en el laboratorio bajo esta categoría. Pero a diferencia de esta, el número de máquinas disponibles es mayor, y pueden clasificarse entre impresoras industriales, de gran formato, o para usuarios particulares.



Figura 3.5: Área de trabajo FDM

De izquierda a derecha, se cuenta con una Stratasys-768 (uso industrial), una DT 600+ (grandes dimensiones) y una Prusa MK3 (usuarios particulares). Entre estas dos últimas se encuentra la cuba de ultrasonidos, necesaria para la eliminación de soportes de la Stratasys.

Este espacio genera los residuos más sencillos de manejar, ya que no manchan más allá de los restos sólidos que puedan salir despedidos durante la eliminación manual de soportes. El mayor problema se encuentra en la separación de materiales,

ya que cada uno de ellos emplea distintos rangos de temperatura durante sus procesos de reciclado. La impresora DT puede generar residuos de gran tamaño en caso de error a mitad de trabajo. Estos residuos no cuentan con ningún procedimiento asignado que facilite su reciclaje.

3.1.4 Otros

Esta subsección recoge los espacios que no se han podido tratar en los puntos anteriores.

Recordando el apartado anterior, la ausencia de elementos para el fácil reciclado de los residuos es problemática. Si bien existen papeleras designadas en función del formato base del residuo, en ningún caso se diferencia en función del material.



Figura 3.6: Papelera de reciclaje para FDM

Aparte de esto, cabe mencionar también la ausencia de elementos identificativos generalizada en los distintos espacios de almacenamiento. Sirva como ejemplo la estantería en la que se encuentra situada la Prusa.



Figura 3.7: Espacio de almacenaje en el área FDM

3.2 Auditorías

Las auditorías permiten obtener una imagen más objetiva y medible del espacio de trabajo. Para ello, se dividen en función de las tres ramas de trabajo, y sus resultados podrán compararse con valores anteriores y posteriores.

3.2.1 Auditoría LEAN

La auditoría LEAN se basa en la variante que considera las 6S (seleccionar, ordenar, limpiar, estandarizar, sostener, seguridad). Las preguntas empleadas están basadas en el trabajo de N. Sukdeo [59]. Los únicos cambios realizados han sido de cara al formato, que se ha estandarizado en una hoja de cálculo. El idioma de la misma es inglés. Cada «S» cuenta con un total de cinco preguntas, puntuadas del cero al cuatro. El total obtenido se puede referenciar al máximo para obtener un porcentaje de aplicación global y de cada «S».

Score	Stage of readiness
0	Not at all
1	Little done in that respect
2	It is done but not systematically
3	This is being done with some consistency
4	There is an ability to mantain it

Figura 3.8: Leyenda para la puntuación de cada pregunta

A continuación se detallan traducidas las distintas preguntas:

- **Seiri - seleccionar:**

- ¿Se encuentra el suelo del área de trabajo libre de objetos y materiales?
- ¿Se pueden reconocer con facilidad elementos y materiales innecesarios?
- ¿Existe un estándar claro para deshacerse de los innecesarios?
- ¿Se almacenan los elementos de acuerdo a su frecuencia de uso?
- ¿Hay una sensación de espacio ordenado generalizada?

- **Seiton - ordenar:**

- ¿Cuentan todos los elementos con etiquetas identificativas?
- ¿Las áreas de almacenaje se encuentran debidamente señalizadas?
- ¿Existen líneas de separación claras?
- ¿Existen áreas específicas para la deposición de residuos, piezas fallidas, etc.?
- ¿Están ordenados de manera clara y recta los cables, tuberías, etc.?

- **Seiso - limpieza:**

- ¿Se encuentran los suelos libres de derrames?
- ¿Se realizan operaciones de inspección y mantenimiento?
- ¿Hay una persona designada para las operaciones de limpieza?
- ¿Existe una identificación clara de la herramienta adecuada para cada proceso?
- ¿Se encuentran las paredes, suelos, ventadas, despachos... lo suficientemente limpios?

- **Seiketsu - estandarizar:**

- ¿Los niveles de ventilación son adecuados?
- ¿Los niveles de iluminación son adecuados?
- ¿Existen hojas de comprobación para la aplicación 6S?
- ¿Se encuentran estandarizadas las 6S?
- ¿Se encuentran estandarizadas las etiquetas, avisos...?

- **Shitsuke - mantener:**

- ¿Se cuenta con un entrenamiento para los procesos estandarizados de operación?
- ¿Se encuentran las herramientas y materiales almacenados correctamente?
- ¿Se mantienen y actualizan regularmente los distintos procedimientos?
- ¿Apoya la dirección el 6S mediante reconocimiento, recursos y liderazgo?
- ¿Tienen los empleados una actitud positiva e interés sobre el 6S?

- **Safety - seguridad:**

- ¿Existen planos, señalización y equipamiento para una correcta evacuación del espacio?
- ¿Existen procedimientos adicionales de salud y seguridad?
- ¿Se emplean los EPIs correspondientes?
- ¿Es la seguridad un elemento claro y visible para todos los trabajadores?
- ¿Existen entrenamientos regulares sobre salud y seguridad para los trabajadores?

Los resultados obtenidos pueden observarse en la siguiente figura 3.9, si bien no se realizará un análisis ni comparativa de los mismos hasta el siguiente apartado.

Auditoría LEAN 6S

Elemento	Descripción	Puntuación
1	SORT - SEIRI	
1.1	Is the floor area free of unwanted items and materials?	4
1.2	Unnecessary items and materials can be easily recognised	2
1.3	Clear standards to dispose of unused items and material	2
1.4	Are items stored according to frequency of use?	3
1.5	Is there a general clutter free appearance?	3
	Total:	14
2	SET IN ORDER - SEITON	
2.1	Do all items and shelves have identification labels?	3
2.2	Storage areas should have marked indicators	3
2.3	Separation lines are certain and clear	2
2.4	Are specified areas demarcated for garbage, rejects, waste, etc?	3
2.5	Are all cables, wire, pipes, etc, neat and straight?	3
	Total:	14
3	SHINE - SEISO	
3.1	Floors should be free of spillages	4
3.2	Equipment maintenance combined with inspection	3
3.3	Person responsible for cleaning operations	3
3.4	Is the use of adequate cleaning tools evident?	4
3.5	Are floors, walls, windows, doors, offices, etc, maintained at a high level of cleanliness?	4
	Total:	18
4	STANDARDISE - SEIKETSU	
4.1	Is there proper and adequate ventilation?	4
4.2	Is there proper and sufficient lighting?	4
4.3	Are standard checklists used to regularly inspect 6S?	0
4.4	Are all 6S precedures standardised?	2
4.5	Are labels, notices, etc, standardised?	1
	Total:	11
5	SUSTAIN - SHITSUKE	
5.1	Adequate training on standard operating procedures?	1
5.2	Tools and parts are stored correctly	3
5.3	Updated and regularly reviewed procedures	2
5.4	Does top management provide support to 6S by recognition, resources and leadership?	4
5.5	Do employees show positive interest in 6S activities?	2
	Total:	12
6	SAFETY	
6.1	Use location maps with emergency exits, firefighting equipment, etc?	4
6.2	Are occupational health and safety procedures adhered to?	2
6.3	Do employees use the proper PPEs?	4
6.4	Is safety measure and signage clearly visible to workers?	3
6.5	Are there regular health and safety training for workers?	1
	Total:	14

Figura 3.9: Resultados de la auditoría LEAN 6S

3.2.2 Auditoría industria 4.0

Para la auditoría de industria 4.0 existen dos herramientas distintas. Por una parte, el formulario creado por Impuls [60] permite una evaluación online sencilla del nivel de implantación. Hasta hace un par de años, esta era la única herramienta

disponible. Sin embargo, la publicación de la nueva norma UNE 0061-2019 aporta un estándar sobre el cual es posible medir el nivel de implementación de industria 4.0. De cara a una mayor sencillez del estudio, se ha empleado únicamente la herramienta online.

El resumen de los resultados de la herramienta online puede observarse a continuación:

IMPULS

Industrie 4.0-Readiness-Check
17.02.2022 15:19

Evaluation of Industry 4.0 Readiness Check

Thank you for taking the time to complete the VDMA Industry 4.0 Readiness Check. Your results and your comparison group are outlined below. We also highlight specific measures you can take to improve and expand your Industry 4.0 readiness.

Overall evaluation

Your company is ranked at level 1 in the overall evaluation.

Your readiness scores in the six dimensions of Industry 4.0 are as follows:

- Strategy and organization: Level 2
- Smart factory: Level 1
- Smart operations: Level 2
- Smart products: Level 0
- Datadriven services: Level 0
- Employees: Level 2

Overall (weighted): 1.213 in keeping with level 1



The six dimensions are evaluated according to the numbers from the IMPULS study and are weighted as follows: Strategy and organization: 0.254, Smart factory: 0.143, Smart operations: 0.102, Smart products: 0.185, Data-driven services: 0.138, Employees: 0.179

Figura 3.10: Resultados de la auditoría en industria 4.0

3.2.3 Auditoría sostenibilidad

Por último, se realiza una auditoría centrada en la sostenibilidad y basada en el trabajo de Vimal y S. Vinodh [61]. Esta auditoría consta originalmente de

un total de treinta y cinco elementos, algunos de los cuales se han eliminado al considerarse no aplicables. Cada uno de los elementos se puntúa siguiendo la siguiente escala, que ha sido corregida al ser la original poco concisa e incluso confusa.

Rating	Judgement
0	No intention to solve the issue
(0-1.5]	Management is aware of the issue
(1.5-3]	Initiatives have been proposed to improve
(3-4.5]	Initiatives have been put into practice
(4.5-6]	Partial achievements have been accomplished
(6-7.5]	An minimization plan has been proposed to integrate different initiatives
(7.5-9]	A minimization plan has been implemented throughout the organization
(9-10]	Sustainability has been improved throughout the organization

Figura 3.11: Leyenda puntuación de cada pregunta

Sobre las puntuaciones individuales de cada pregunta, se realiza finalmente la media de las mismas de cara a obtener un índice global de sostenibilidad. Este se evalúa por último según la siguiente escala.

Rating (%)	Process sustainability level
(0-15]	Not sustainable
(15-30]	Slowly sustainable
(30-50]	Fairly sustainable
(50-65]	Sustainable
(65-85]	Very sustainable
(85-100]	Extremely sustainable

Figura 3.12: Leyenda resultado global

En el detalle de los resultados, se puede observar que las preguntas no aplicables se han marcado resaltándolas en naranja. Para el resto de preguntas, la puntuación asignada puede encontrarse a su derecha.

Auditoría Sostenibilidad

Elemento	Descripción	Puntuación
1	Whether frequent survey have been conducted to know market position?	6
2	Whether standard operating procedures for all operations are available?	9
3	Whether dedicated teams are available for monitoring and observation of equipment performance	5
4	Whether all operations are equipped with in-line monitoring mechanism?	8
5	Whether management strategy enables tie up with other organisation to use resources, rendering assistance etc.?	5
6	Whether initiatives have been taken to continuously assess lead time?	7
7	Whether effective maintenance strategies have been used to prevent failure?	2
8	Whether the inspection plans are being updated frequently?	5
9	Whether brainstorming activity is periodically conducted to improve testing efficiency?	8
10	Whether proper instructions are being communicated for safety handling, use and transportation of materials?	6
11	Are the recycled materials being properly assessed?	8
12	Are the available facilities sufficient to cope up with demand?	3
13	Can the products manufactured be reconditioned or reassembled?	5
14	Whether teams are dedicated to formulate in-house technologies and principles?	0
15	Whether scientific tools/techniques have been used to optimise environmental resource consumption?	1
16	Whether green house gas, eutrophication, acidification and energy consumption indicators are being measured?	4
17	Whether the organisation is following proper technique to segregate degradable and nondegradable wastes?	4
18	Whether appropriate methodology is being used for waste processing?	1
19	Whether the organisation conducts self energy audit to improve efficiency?	0
20	Whether the scope for renewable energy production and usage is explored?	3
21	Are the energy conservation topics being included in the training agenda of organisation?	6
22	Whether the materials used are environmentally friendly?	2
23	Whether the organisation intends to develop in-house cleaner technologies?	0
24	Is the organization interested in adopting DfE principles?	8
25	Whether clean development mechanism practice has been effectively followed?	0
26	Whether carbon foot-print level has been measured	8
27	Whether consumption of minerals, fossil fuels and rare earth elements are being quantified?	9
28	Does the organisation show interest to ensure equity and motivation to retain staff?	9
29	Whether socio-economic culture is prevailing in the organisation?	9
30	Whether the organisation is strictly following the usage of personal protection equipment?	9
31	Whether the organisation is providing training in advanced manufacturing processes and evaluation for continuous improvement?	9
32	Does the organisation follows an evaluation scheme for continuous improvement?	9
33	Does the organisation involve employee in decision making?	9
34	Does the organisation present its yearly report on sustainability?	9
35	Whether the organisation is green labelling all the manufactured products?	9

Figura 3.13: Resultados de la auditoría en sostenibilidad

3.3 Análisis de resultados

3.3.1 Auditoría LEAN

Observando los resultados del apartado anterior, se puede deducir que el nivel de implantación de la metodología LEAN 6S en el espacio de trabajo es media. Siendo veinte la puntuación máxima de cada apartado, se puede apreciar que la mayoría puntúan por encima de trece. Si se traduce la puntuación a escala decimal,

el **resultado global** de aplicación es **6,92**.

Sort - Seiri	14
Set in order - Seiton	14
Shine - Seiso	18
Standardise - Seiketsu	11
Sustain - Shitsuke	12
Safety	14
Total (average) / out of 10	6,92

Figura 3.14: Resumen de resultados de la auditoría LEAN 6S

A nivel particular, destaca la aplicación de la limpieza («*Shine, Seiso*»), que únicamente encuentra ligeras debilidades en la asignación de personal para la limpieza y en la combinación de mantenimiento e inspección de la maquinaria.

En la otra cara de la moneda se encuentra la estandarización («*Standardize, Seiketsu*»). Dada la novedad de esta implantación LEAN 6S, claramente no se cuenta con procedimientos de revisión de las mismas. Tampoco existe un uso generalizado de los procedimientos LEAN, del mismo modo que las etiquetas y documentos tampoco se encuentran estandarizados.

3.3.2 Auditoría industria 4.0

La implantación de la industria 4.0 es mínima en el laboratorio. Los sistemas de gestión de archivos de cada dispositivo no se encuentran interconectados por almacenamiento en nube, las opciones para la sensorización de la maquinaria son reducidas. El flujo de trabajo se refleja vagamente en el uso de Microsoft Planner, pero sin una visualización práctica del mismo.

Todos estos factores explican la puntuación obtenida, que sitúa al laboratorio en el **nivel 1 (principiante)**. La digitalización alcanza una puntuación intermedia en algunos aspectos, como pueden ser los empleados, la organización, o las pequeñas tareas del día a día. Esto se debe a la mínima implantación de herramientas digitales, que sigue ausente en los otros aspectos.

Sirvan de ejemplo los servicios basados en la información y los productos inteligentes. La puntuación obtenida en estos los sitúa en el nivel de desconocimiento total.

3.3.3 Auditoría sostenibilidad

La puntuación en sostenibilidad es aceptable, con un resultado de **50,71%**. Esto sitúa al laboratorio como **Sustainable**. Esta puntuación debe manejarse teniendo siempre en cuenta que un número elevado de preguntas ha tenido que ser eliminado, dado que no aplicaban al flujo de trabajo del laboratorio.

Rating (%)	Process sustainability level
(0-15]	Not sustainable
(15-30]	Slowly sustainable
(30-50]	Fairly sustainable
(50-65]	Sustainable
(65-85]	Very sustainable
(85-100]	Extremely sustainable

Figura 3.15: Leyenda para la interpretación de los resultados en sostenibilidad

3.3.4 Comparativas

Gracias al trabajo realizado por E. Folqué [62], es posible realizar una comparación de los niveles de implantación en el año 2021 respecto a los resultados obtenidos.

Comenzando por los más sencillos, el nivel de implementación de industria 4.0 se mantiene en **la misma puntuación** (nivel 1, principiante). Esto se debe a que no se ha llevado a cabo ningún cambio de gran calado en el tiempo entre ambos estudios, y es en parte uno de los focos de trabajo de este proyecto.

Por la parte de sostenibilidad, en 2021 se obtuvo una puntuación de **39%**, **fairly sustainable**. Dado que el estudio anterior también consideró la eliminación de aquellas preguntas no aplicables a los flujos de trabajo del laboratorio, puede concluirse que se ha realizado una mejora en los procesos de sostenibilidad.

Como puede observarse en la figura 3.6, se han añadido elementos para el reciclaje de los residuos, si bien aun cabe un margen considerable de mejora. Los residuos se separan en este punto también en función de su estado base, facilitando su gestión y haciendo patente las protecciones necesarias para su manejo.

Por último pero no menos importante, la implantación LEAN observa ligeras mejoras en algunos ámbitos.

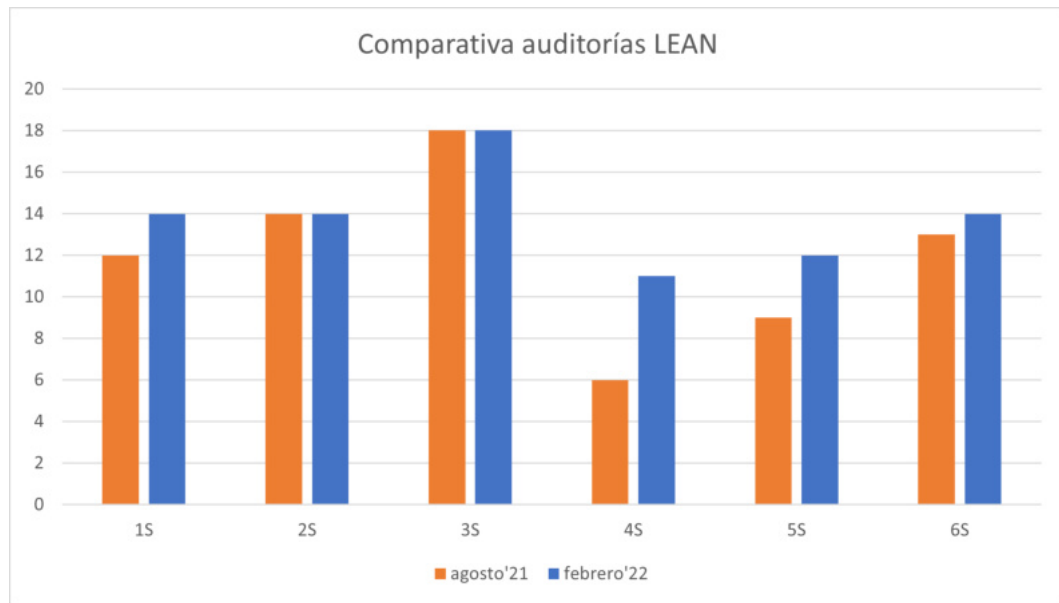


Figura 3.16: En naranja, resultados a fecha de agosto del 2021. En azul, febrero de 2022

Cabe destacar la mejora en la cuarta y quinta S (estandarización y sostener), que aun así se mantienen como los apartados que requieren una mayor atención. Esta leve mejora es debida a una concienciación de la necesidad de efectuar cambios, motor en parte de este proyecto. Tras la finalización del mismo, se volverá sobre estos resultados iniciales de cara a realizar una evaluación final sobre el éxito de la implantación.

Capítulo 4

Implementación LEAN

4.1 Revisión de los procesos bajo criterios de industria 4.0 y sostenibilidad

Como se deduce del estado del arte, existe una necesidad patente de incluir la sostenibilidad dentro de los procesos LEAN, ya que esta se ha convertido en el nuevo horizonte a seguir [35]. Por ello, este capítulo de implementación comenzará por revisar los distintos flujos de trabajo para el LEAN según criterios de industria 4.0 y sostenibilidad. Esta complementariedad ayudará a mejorar las puntuaciones obtenidas en las distintas auditorías, a la par que refuerza un sostenimiento de las mismas.

En este apartado se desarrollará el nuevo enfoque ideado para la primera S (Seleccionar) y su flujo de trabajo para la implantación. Se observarán y explicarán los cambios propuestos en su estructura, analizando su relación con la industria 4.0 y la sostenibilidad.

REFERENCIAR ANEXO FINAL!!!

4.1.1 Revisión Seiri + Seiton (seleccionar + ordenar)

El nuevo flujo de trabajo propone ligeras modificaciones orientadas a un aumento de la seguridad en el espacio de trabajo, al igual que una mayor consideración de los procesos de reciclaje en la eliminación de las fieras.

Se extiende la responsabilidad del equipo para la correcta señalización de los elementos defectuosos de los que quiere liberarse, de forma que el reciclado incluya elementos de seguridad mediante señalización.

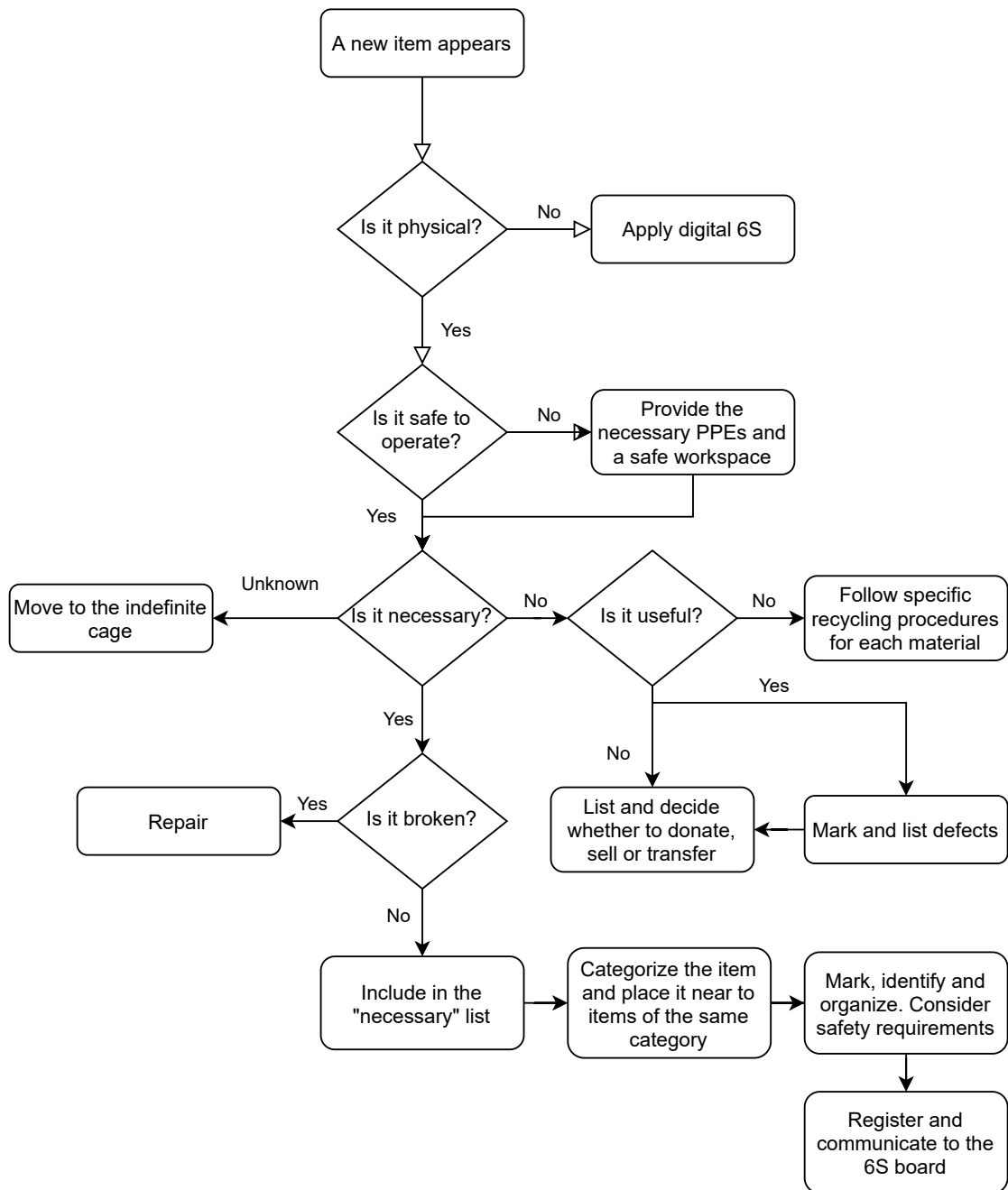


Figura 4.1: Revisión Seiri + Seiton

El nuevo proceso incluye elementos de industria 4.0, al considerar la posibilidad de que un elemento digital pueda ser procesado bajo sus propias 6S digitales.

La seguridad es un elemento presente, ya que se busca garantizar que el operario

4.1. Revisión de los procesos bajo criterios de industria 4.0 y sostenibilidad

use en todo momento los EPIs adecuados para el manejo del elemento. El reciclado toma parte con elementos de sostenibilidad, que deberá considerar procedimientos específicos en función del material base. Se hace igualmente hincapié en la reparación de los elementos que tengan utilidad. Para aquellos que vayan ser donados, se marcan los defectos para que su manejo se haga en condiciones de seguridad.

Por último, el almacenamiento final debe realizarse en condiciones de luz y humedad adecuadas, asegurando que su colocación en una estantería es lo más ergonómica posible.

Ventajas:

Las ventajas de esta aplicación residen en la eliminación de los elementos innecesarios bajo criterios de seguridad y sostenibilidad. Las fieras también se separan satisfactoriamente.

El área de almacenaje queda uniformada, a la par que se facilita su acceso. El espacio queda mejor optimizado.

Obstáculos:

Se debe vigilar que los EPIs provistos sean siempre los adecuados de cara a una manipulación de los distintos elementos con el nivel de protección adecuado.

Puede existir un riesgo de acumulación de fieras en la jaula. Es por ello que un correcto mantenimiento de estas actividades a lo largo del tiempo será clave para evitarlo. El espacio de almacenaje es limitado, por lo que la separación y categorización debe realizarse correctamente.

Indicadores:

Se proponen los siguientes parámetros para poder medir la eficiencia de la implantación: número de items innecesarios, número de items en la jaula, superficie liberada.

4.1.2 Revisión Seiso (limpieza)

Al igual que en el apartado anterior, esta revisión de la limpieza buscar incluir elementos de digitalización y seguridad a lo largo del mismo.

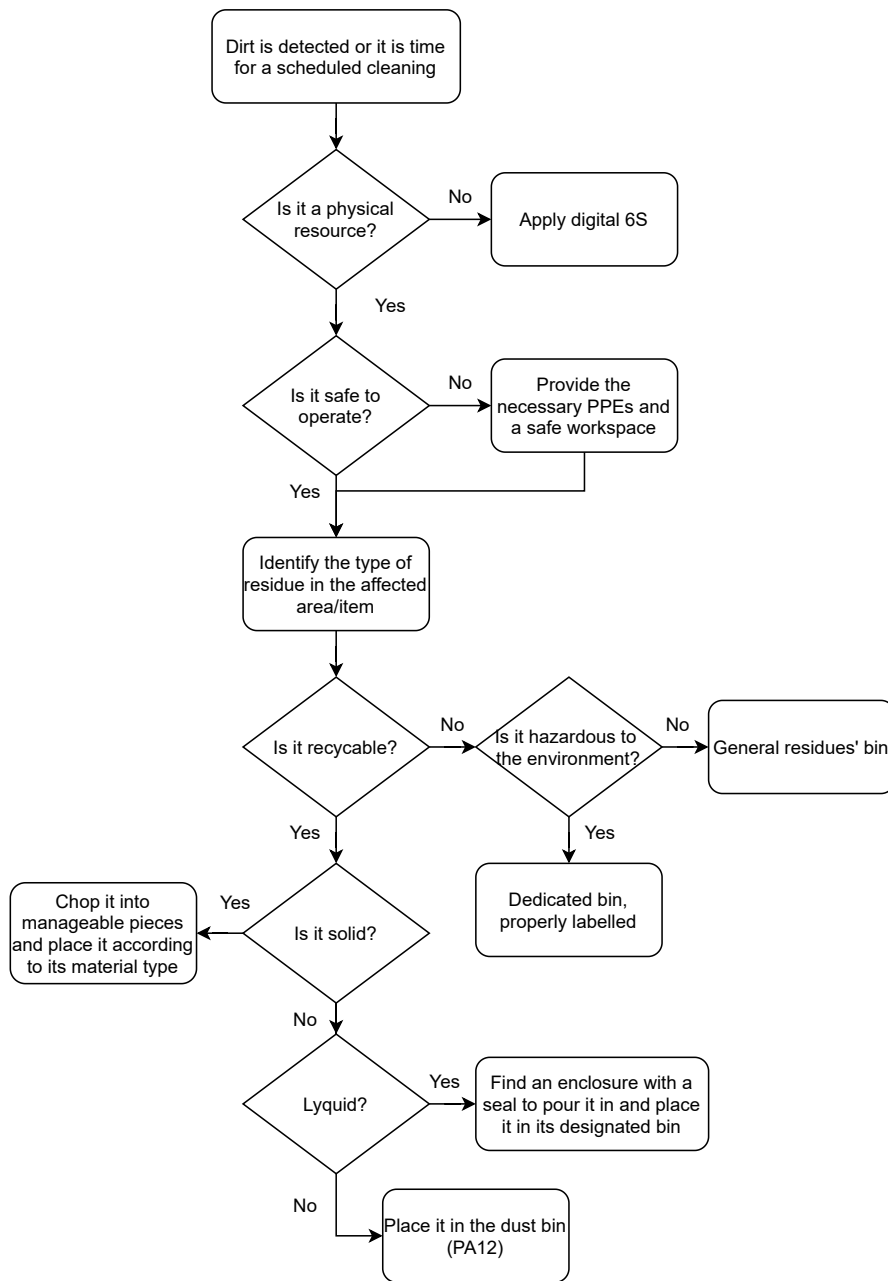


Figura 4.2: Revisión Seiso

La implementación de la digitalización y de la seguridad se realiza del mismo modo que en el esquema anterior.

Ventajas:

Tras su implementación, se observa una reducción en la sensación de suciedad en el espacio de trabajo. El área de trabajo se limpia tras su uso en caso de que sea necesario, lo cual facilita el trabajo del siguiente usuario.

Obstáculos:

La gran variedad de usuarios en el laboratorio dificulta la identificación de los autores del desorden. En ocasiones no queda completamente clara la responsabilidad para las tareas de limpieza.

Indicadores:

Se proponen como indicadores la frecuencia de las limpiezas, el número de usuarios que han empleado un espacio (como indicador para programar la siguiente limpieza) y la evaluación general de la limpieza en el espacio de trabajo.

4.1.3 Revision Safety (seguridad)

La revisión de la seguridad está centrada en la aplicación de los distintos estándares CE y EPIs necesarios.

Ventajas:

Una correcta aplicación de este elemento garantiza unas condiciones de trabajo con la mayor seguridad posible. Un espacio de trabajo seguro predispone al operario a realizar sus tareas con mejor ánimo.

Obstáculos:

Algunas de las máquinas proceden de empresas no europeas que únicamente cubren el mínimo necesario para poder ser vendidas. Se debe guardar que el nivel de protección del usuario esté siempre revisado de acuerdo a los riesgos identificados. Estos riesgos pueden provenir no solo de la maquinaria, sino también derivados del uso diario del espacio.

Indicadores:

Como indicadores se propone la existencia de un cartel en cada máquina que indique los EPIs necesarios, la presencia de estos mismos, el número de accidentes y su respectiva gravedad.

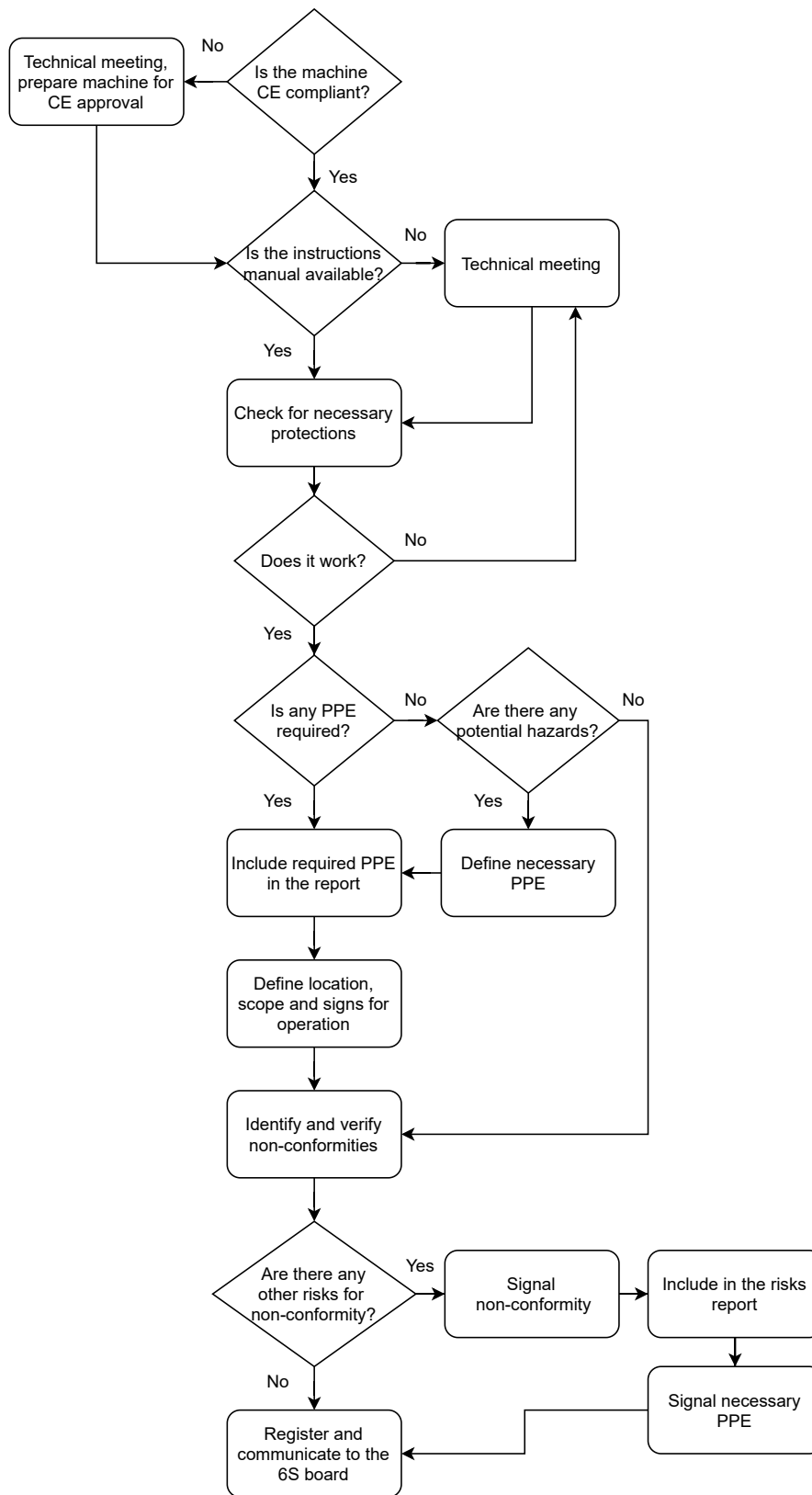


Figura 4.3: Revisión Safety

4.1.4 Revisión Seiketsu (estandarización)

La revisión de la estandarización no incluye grandes cambios. La única novedad se encuentra en una redirección al flujo 1S+2S, ya que se considera el adecuado de cara a la clasificación y colocación de los elementos no normalizados.

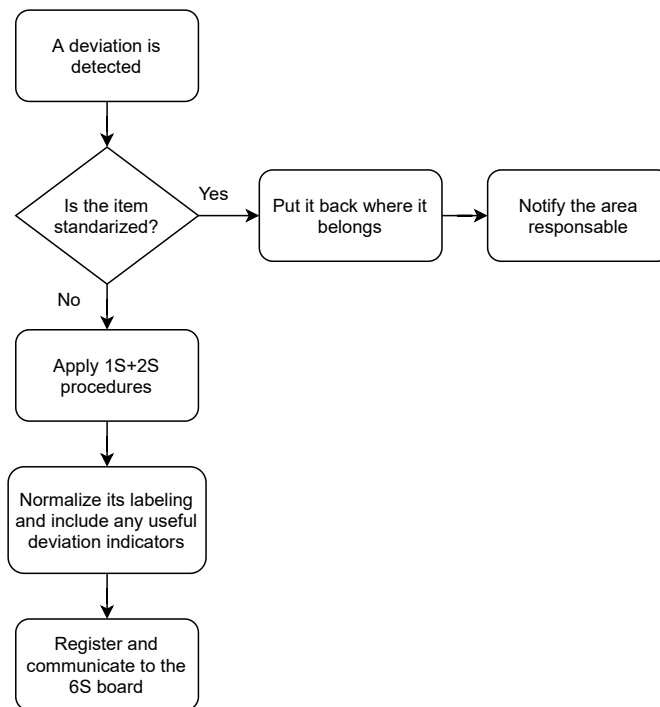


Figura 4.4: Revisión Seiketsu

Ventajas:

La existencia de este procedimiento permite lidiar con elementos fuera de lugar y también con aquellos aun no identificados. Su aplicación es fundamental de cara a mantener el nivel LEAN del espacio de trabajo, ya que detecta visualmente cualquier anomalía.

Obstáculos:

La estandarización debe realizarse con cabeza y de forma realista. Un exceso de identificadores visuales terminaría por llevar a mayor confusión al usuario. Aplicando los mismos principios LEAN, estos elementos deben limitarse a aquellos estrictamente necesarios y de utilidad clara.

Indicadores:

Como indicadores se propone el número de elementos sin normalizar, el número de elementos fuera de lugar o anomalías detectadas, el número de elementos nuevos señalizados.

4.1.5 Revisión Shitsuke (mantener)

Por último pero no menos importante, se elabora un esquema muy simple para la implantación del Shitsuke. El esquema simplemente refleja los pasos que se siguen habitualmente, sin mayores cambios.

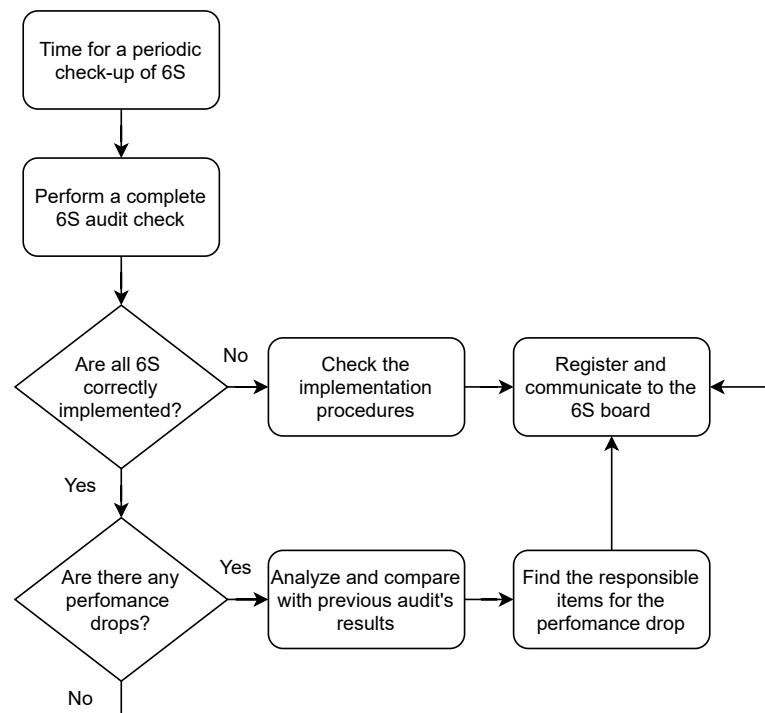


Figura 4.5: Revisión Shitsuke

Ventajas:

La creación de este diagrama cierra el círculo en cuanto a procedimientos para una implementación LEAN 6S.

4.1. Revisión de los procesos bajo criterios de industria 4.0 y sostenibilidad

Obstáculos:

No se ha encontrado bibliografía referente a la estandarización de este proceso en forma de esquema alguno. Su aplicación puede resultar difusa, basándose en gran parte a los criterios de la propia empresa o grupo de trabajo.

Indicadores:

Como indicadores se propone la frecuencia de las revisiones, la puntuación total en la auditoría LEAN, la puntuación de cada S en la misma auditoría, y los cambios históricos de todas estas.

4.2 Documentación de cada «S»

Una vez revisados los flujos de trabajo asociados a cada S, se puede proceder con la aplicación de las mismas. Para ello es necesario completar la documentación de los procesos, que servirá de referencia para futuros trabajos y para comprender con mayor facilidad las distintas acciones llevadas a cabo. Dado que los procesos se han revisado incluyendo elementos de seguridad, esta se omitirá en el apartado de la documentación al considerarse suficientemente cubierta.

La implantación se basa en la metodología PDCA (plan - do - check - act), por lo que la norma general será la preparación de los elementos necesarios para cada S, sus acciones correspondientes (safari, etiquetados...), comprobación de los resultados, y normalización de los procesos para lograr mantenerlos en el tiempo.

Previo al trabajo de cada apartado, se realiza una planificación general del trabajo a realizar, determinando los tiempos, equipos y personas implicadas en cada una. La planificación inicial es como sigue.

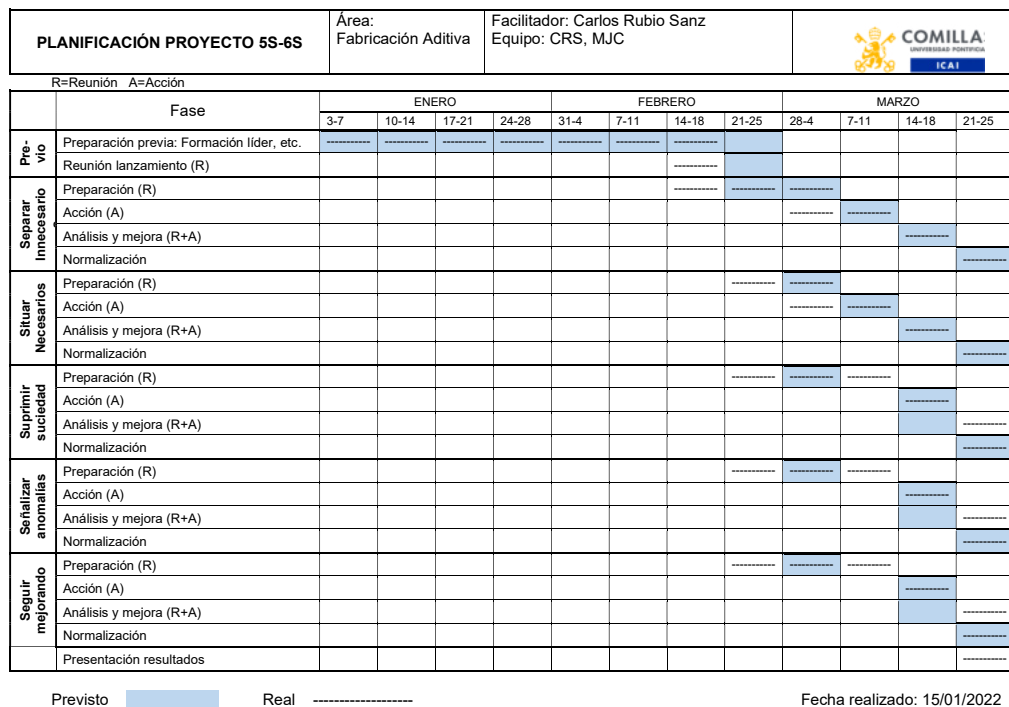


Figura 4.6: Planificación general de la implantación

4.2.1 Seiri - Seleccionar

Estos dos subapartados buscan dar una idea de la documentación que va de la mano de cada S y del método de trabajo que se sigue. Es por ello que únicamente se entrará en detalle en las dos primeras, dejando el resto para el anexo adjunto a esta memoria. La implementación de cada elemento tiene asociada una serie de documentos que reflejan el progreso de la misma. Para este caso, se inicia con una planificación temporal de su ciclo PDCA completo, que incluye una preparación, acción, análisis y mejora, y normalización. Esto genera los documentos de la lista de fieras y de innecesarios.


PLANIFICACIÓN PROYECTO 6S FASE 1S: SEPARAR INNECESARIOS		Área: Fabricación Aditiva	Facilitador: Carlos Rubio Sanz Equipo: CRS, MJC	
Fase	QUIÉN	CUANDO	OBSERVACIONES	
Preparación				
Definiciones, tareas, ventajas, laberintos,	CRS, MJC	16/02/2022	Hasta primeros de marzo	
Indicadores, Factores de éxito, formatos	CRS, MJC	16/02/2022	Hasta primeros de marzo	
Distribución tareas	CRS, MJC	16/02/2022	Hasta primeros de marzo	
Acción				
Tomar fotos	CRS	08/03/2022		
Realizar safari – identificar y listar	CRS	08/03/2022	Actualización adhesivos	
Crear Jaula	CRS	08/03/2022		
Introducir fieras en jaula	CRS	08/03/2022		
Análisis y mejora				
Decidir innecesarios – completar listados	CRS, MJC	15/03/2022	Pendiente Dpto. Electrónica	
Ejecutar decisiones innecesarios	CRS	15/03/2022	Pendiente Dpto. Electrónica	
Sacar fotos	CRS	15/03/2022		
Recoger y registrar indicadores	CRS	15/03/2022		
Normalización				
Realizar procedimiento/Instrucción/ficha	CRS, MJC	18/03/2022		
Completar panel 5S/6S	CRS, MJC	18/03/2022		

Figura 4.7: Planificación PDCA para Seiri

La estructura de este ciclo PDCA se mantendrá prácticamente constante a lo largo de la implantación para las distintas S. Puede observarse a la izquierda la descripción de las tareas a realizar, junto a la persona designada (en este caso, CRS = Carlos Rubio Sanz y MJC = Mariano Jiménez Calzado). Le sigue la fecha en la que se completa a cabo dicha tarea, junto a cualquier observación que se considere pertinente.

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN LEAN

PROYECTO 6S LISTA MATERIALES PENDIENTE CLASIFICAR (FIERAS)		Area: Fabricación Aditiva Fecha: 08/03/2022	Equipo: CRS, MJC	
Nº	Descripción	Cantidad	Fecha	Observaciones
01	Chorreadora	1	08/03/2022	Funcional, pero reemplazada por equipo más moderno
02	Cajas, cartones y cartuchos HP	15	08/03/2022	Embalajes y cartuchos vacíos, ¿recicla HP o nosotros?
03	PLCs y accesorios	15	14/03/2022	Funcional, sin uso durante más de un año

Frecuencia revisión de la jaula:		Fecha	Realizado por	Fecha	Realizado por
Semanal	<input checked="" type="checkbox"/>	08/03/2022	CRS		
Mensual	<input type="checkbox"/>	14/03/2022	CRS		
Trimestral	<input type="checkbox"/>				
Anual	<input type="checkbox"/>				

(a) Lista de fieras

PROYECTO 5S/6S LISTA MATERIALES INNECESARIOS		Area: Fabricación Aditiva Fecha: 08/03/2022	Equipo: CRS, MJC		
Nº	Descripción	Cantidad	Ubicación	Decisión (T, V, R)	Observaciones
01	Cartones	1	Puerta de entrada	R	Sin aprovechar durante más de un año
02	Cartelería antigua	7	Detrás de taquillas	R	Material didáctico desactualizado
03	Fuente de alimentación	1	Estantería entrada	T	Averida, sin reparar más de un año
04	Placa electrónica	1	Estantería entrada	T	Sin aplicación, más de un año
05	Cartón pluma	6	Estantería entrada	R	Restos y retales de tamaño no aprovechable
06	Retales madera	4	Estantería entrada	R	Restos y retales de tamaño no aprovechable
07	Cajonera	1	Estantería Stratasys	T	Sin aprovechar durante más de un año
08	Sobre acolchado	1	Estantería Stratasys	T	Residuo
09	Bases bidones	2	Estantería postprocesado	R	Reemplazado por contenedores más aptos

T: Tirar V: Vender R: Reciclar

(b) Lista de innecesarios

Figura 4.8: Documentación generada en la implementación Seiri

4.2.2 Seiton - Ordenar

La implementación de este apartado se centra en la ordenación de los distintos elementos considerados como necesarios. Al igual que el anterior, comienza con una organización PDCA que genera una serie de documentación asociada.

PLANIFICACIÓN PROYECTO 5S/6S FASE: 2S- SITUAR NECESARIOS		Área: Fabricación Aditiva	Facilitador: Carlos Rubio Sanz Equipo: CRS, MJC	
Fase	QUIÉN	CUANDO	OBSERVACIONES	
Preparación				
Definiciones, tareas, ventajas, laberintos,	CRS, MJC	23/02/2022	Hasta primeros de marzo	
Indicadores, Factores de éxito, formatos	CRS, MJC	23/02/2022	Hasta primeros de marzo	
Distribución tareas	CRS, MJC	23/02/2022	Hasta primeros de marzo	
Acción				
Tomar fotos	CRS	08/03/2022		
Safari – necesidades identificación y ubicación	CRS	10/03/2022		
Análisis y mejora				
Consensuar Identificación y ubicación	CRS, MJC	18/03/2022		
Planificar acciones identificación-ubicación	CRS, MJC	18/03/2022		
Ejecutar acciones	CRS	18/03/2022		
Sacar fotos	CRS	18/03/2022		
Recopilar y registrar indicadores	CRS	18/03/2022		
Normalización				
Realizar procedimiento/Instrucción/ficha	CRS, MJC	18/03/2022		
Completar panel 5S/6S	CRS, MJC	18/03/2022		

Figura 4.9: Planificación PDCA para Seiton

Los documentos generados a lo largo de esta fase se adjuntan en el anexo final, ya que comparten un formato similar a los ya mostrados y no aportan ninguna novedad significativa en cuanto a los procedimientos.

Dado que los documentos generados en el resto de implantaciones (limpiar, estandarizar, sostener) comparten también este mismo esquema, se ha decidido dejar el resto de la documentación en el anexo adjunto.

Se prosigue por tanto con el reportaje fotográfico de la implantación LEAN, que aporta mayor información de interés para el proyecto.

4.3 Reportaje de la implementación

A continuación se detallan los pasos seguidos para la implementación LEAN en el laboratorio. Lo primero de todo, la planificación y documentación, se ha cubierto en el apartado anterior. La primera acción asociada a la primera S consiste en capturar mediante fotografías el estado inicial del laboratorio. Este archivo fotográfico será útil de cara a las comparaciones posteriores a la implantación.

Se prosigue con la señalización de la jaula de las fieras, que se rellenará posteriormente durante el safari. Este espacio deberá revisarse periódicamente para decidir si finalmente los elementos en esta son desperdicios o si por lo contrario se pueden reciclar, donar o vender. De lo contrario, se corre el riesgo de convertirlo en un pozo sin fondo que únicamente acumule objetos sin provecho alguno.



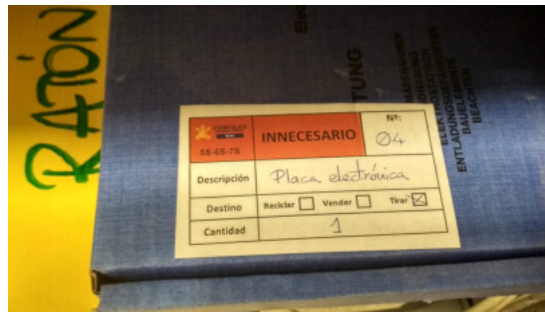
Figura 4.10: Una de las jaulas para fieras

El siguiente paso consiste en la identificación y clasificación mediante etiquetado de los distintos elementos del laboratorio. Para ello se cuenta con una serie de etiquetas adhesivas que permiten facilitar la tarea.

4.3. Reportaje de la implementación



(a) Innecesario



(b) Innecesario



(c) Fiera



(d) Innecesario

Figura 4.11: Ejemplos de etiquetado para fieras e innecesarios

Una vez identificados los elementos relativos a la primera S, se continúa con la acción de esta fase: desplazar los elementos innecesarios fuera del espacio de trabajo y a las fieras a su jaula. Se registran también los distintos indicadores acordados, como son el número de elementos innecesarios eliminados, el número de fieras, o la superficie liberada.

De cara a los siguientes pasos de la aplicación, se va a centrar la atención sobre el espacio de trabajo para material líquido, ya que será más sencillo observar los distintos cambios realizados en un área concreta.

Gracias al espacio liberado, se podrán reasignar los espacios de almacenaje para que su uso sea lo más eficiente posible. El problema en este punto está en la ausencia de elementos que indiquen desviaciones. Mantener el orden recién creado depende de la aplicación del resto de elementos, de nada sirve una aplicación parcial del LEAN. Siguiendo los cambios realizados en el área de líquidos, puede observarse la creación de cajas en las que almacenar las distintas piezas que se encuentran en postprocesado. De esta forma, se puede identificar con claridad en qué etapa se encuentra cada una de ellas sin lugar a confusiones. La

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN LEAN

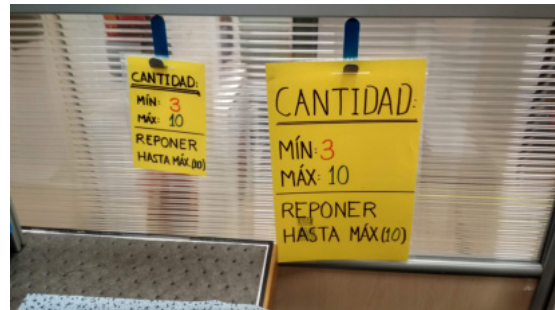
elevación de la maquinaria de postprocesado mediante una simple estructura a base de perfiles permite duplicar el área aprovechable en esta parte de la mesa. Algunos indicadores para esta fase son: el número de elementos fuera de lugar, el número de elementos sin espacio asignado, o el número de elementos sin clasificar.



(a) Nueva organización del espacio



(b) Estandarización de la estación



(c) Estandarización de las bolsas

Figura 4.12: Implantación LEAN en el área para líquidos

De cara a la revisión de la limpieza, se identifican los distintos focos de suciedad presentes en el laboratorio. Estos resultan ser cuatro: los trabajos de resina, la maquinaria MJF, los procesos de postprocesado, y el uso diario por parte de los alumnos y profesores. Es necesario identificar igualmente aquellos parches (soluciones no permanentes) que se estén aplicando. En este sentido puede considerarse el

uso de papel desechable en las superficies de trabajo para resina como un parche, ya que se trata de una solución no permanente y sin mantenimiento regular.

Volviendo al ejemplo concreto del área para líquidos, se rediseña el espacio de postprocesado para disminuir la acumulación de suciedad. Para ello, se sustituye el parche del papel de laboratorio por mopas adheridas a la mesa. Este sistema distingue dos áreas, una para la deposición de las piezas recién extraídas de la impresora (limpieza inicial) y otra para el curado posterior. Los indicadores de esta fase son ligeramente subjetivos, ya que miden la disminución del impacto de los distintos focos de suciedad y de los parches.

El siguiente paso consiste en la estandarización de los distintos elementos. En este sentido resulta útil el empleo de elementos visuales claramente identificables que llamen la atención en el momento que algo no esté de acuerdo al trabajo realizado. Estos pueden ser etiquetados paralelos, identificación y codificación de los espacios de trabajo, demarcación de las siluetas de cada herramienta... En el caso del área líquida, se emplea el primero principalmente, combinado con una correcta identificación y etiquetado de cada elemento.

Puede observarse un etiquetado con el nombre general del espacio (accesorios auxiliares), junto a los materiales que aplica en otro color (resinas SLA + DLP) y por último a la izquierda un marcador de posición que debe coincidir con la marca de la mesa y el código correspondiente al área de trabajo. Estos elementos permiten identificar con facilidad qué elementos, de qué área, con qué materiales, y dónde se sitúan.

Caben destacar otros elementos en la aplicación de la estandarización, como la figura 4.12c. Esta estandarización permite al operario identificar con facilidad las acciones que debe llevar a cabo al observar una anomalía (en este caso, un número insuficiente de bolsas). Las acciones correctivas son guiadas para proveer únicamente aquello que es necesario, fijando un máximo de elementos en la reposición del material. También se pueden observar otros elementos estandarizados fuera del área de líquidos, como puede ser en la estación de postprocesado de polvo o en el área de herramientas del laboratorio contiguo. Esta última implantación es obra de la alumna M. Villasante [63], que realiza una implantación LEAN en otros espacios del laboratorio.



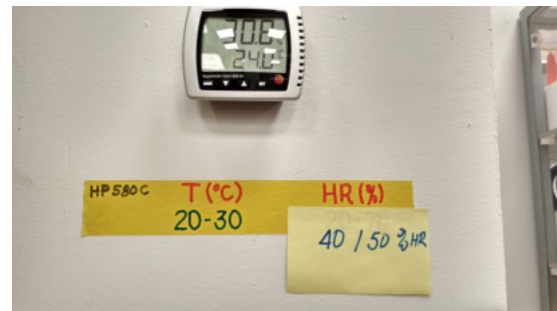
(a) Estandarización del panel de herramientas



(b) Estandarización del panel para EPIs



(c) Estandarización presiones chorreadora



(d) Estandarización condiciones MJF

Figura 4.13: Ejemplos de trabajo en el laboratorio contiguo (a,b) y en el área de polvo (c,d)

La última fase que falta por aplicar es la de mantener el nivel de implantación LEAN. Para ello se cuenta con una serie de auditorías, que siguiendo una programación periódica, se llevarán a cabo para detectar cualquier tipo de anomalía en la aplicación LEAN realizada. Estos documentos se encuentran adjuntos como plantillas al final de esta memoria. Los resultados de esta auditoría final tras la aplicación pueden encontrarse al final de este capítulo.

Las anomalías detectadas en el mismo son mínimas, obteniendo un nivel de mantenimiento de la implantación del **89,5%**. Los únicos la razón de que el resultado no sea más elevado se debe a que aun faltan algunas áreas por terminar una implementación completa (véase la zona de postprocesado para polvo en la figura 6.8). Los nuevos innecesarios detectados son consecuentemente desechados del laboratorio, y el elemento detectado como fuera de sitio se encontraba en la figura que se acaba de referenciar.

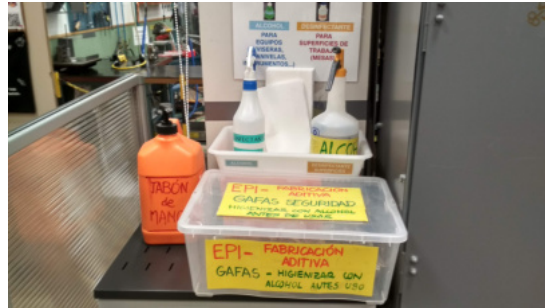
Aunque no se ha incluido como tal en el proceso, la seguridad ha sido un elemento presente en cada una de las fases de la implantación. Es por ello que se quiere finalizar este capítulo mostrando algunos ejemplos de la señalización aplicada al área de trabajo para mejorar los niveles de seguridad. Estos ejemplos son en su

4.3. Reportaje de la implementación

mayoría elementos indicativos acerca de los EPIs que aplican a la operación de cada espacio.



(a) Indicaciones generales



(b) EPIs



(c) Indicaciones Form3



(d) Indicaciones DLP

Figura 4.14: Ejemplos de señalización de seguridad

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN LEAN

AUDITORÍA 5S		Area: FA Fecha: 23/06/2022	Equipo: CRS5				
		Cumplimiento (Excelente, bien, normal, regular, mal)					
		E (4)	B (3)	N (2)	R (1)	M (0)	
Separar innecesarios	Los materiales de deshecho y basura están segregados	X					
	No hay innecesarios en el área	X					
	Se revisa y gestiona la "jaula" según periodicidad establecida	X					
	Existen directrices documentadas de esta fase y se cumplen	X					
	Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 16)						100% (A)
Situar necesarios	Los materiales y elementos tienen una ubicación clara		X				
	Los materiales y elementos están en su ubicación		X				
	Contenedores estandarizados y adaptados al contenido			X			
	La ubicación es adecuada ("todo a mano y de forma segura")			X			
	Identificación general vertical es suficiente (paneles, carteles)			X			
	Identificación general horizontal suficiente (sombras, pasillos)			X			
	Los materiales que se deben mover están sobre ruedas	X					
	Se aplica "Lo primero que entra es lo primero que sale" (FIFO)				X		
	Existen directrices documentadas de esta fase y se cumplen	X					
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 36)						75% (B)	
Suprimir suciedad	Las fuentes de suciedad están identificadas y bajo control	X					
	No hay lugares difíciles de limpiar		X				
	Los parches están identificados y bajo control	X					
	El material defectuoso o dañado está identificado	X					
	Existen directrices documentadas y registros de control de esta fase del área y se cumplen	X					
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 20)						95% (C)	
Señalizar anomalías	Se visualizan rangos de trabajo "normales" de materiales		X				
	Se visualizan situaciones irregulares de ubicación		X				
	Se visualizan puntos críticos de instalaciones y máquinas	X					
	Existen directrices documentadas de control/señalización y se cumplen	X					
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 16)						87,5% (D)	
Seguir mejorando	Se han planificado las auditorías		X				
	Se han realizado las auditorías según planificación	X					
	Se ejecutan acciones correctoras de desviaciones	X					
	Existen directrices documentadas de esta fase y se cumplen	X					
	Se mantiene "vivo" el panel 5S		X				
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 20)						90% (E)	
PUNTUACIÓN TOTAL (A+B+C+D+E)/5							89,5%

OTROS INDICADORES DE AUDITORÍA

Nº nuevos innecesarios:	2
Nº elementos sin ubicación	0
Nº elementos fuera de su sitio	1

Nº elementos sin identificación	0
Nº fuentes de suciedad nuevas	0
Nº de nuevos parches o material dañado	0

Figura 4.15: Auditoría realizada en la quinta S

Capítulo 5

Implementación industria 4.0 y sostenibilidad

5.1 Breve introducción

Del mismo modo que se ha llevado a cabo una implantación LEAN en el espacio de trabajo, este proyecto busca también una implantación centrada en la digitalización y la sostenibilidad. Dadas las interrelaciones entre las tres áreas, su correcta aplicación resultará beneficiosa para todas ellas.

La justificación de cara a la mejora en la digitalización surge a raíz de los resultados obtenidos en la auditoría inicial y a la necesidad de mejorar el control sobre los procesos del laboratorio. Las mejoras que se busca introducir pretenden mejorar los siguientes aspectos:

- Mejora del sistema de ficheros y almacenaje.
- Mejora del control del flujo de trabajo en el laboratorio.
- Mejora del sistema de control de la maquinaria en remoto.

El sistema de ficheros actual se encuentra aislado en los distintos equipos del laboratorio. Cada uno de ellos contiene información relativa a la maquinaria con la que trabaja, pero sin acceso alguno a manuales o diseños que se estén empleando en cualquier otra tecnología. Del mismo modo, resulta imposible acceder a estos archivos en remoto de forma sincronizada, ya que no existe acceso nube de ningún tipo.

Respecto al flujo de trabajo, la mayor parte de este se realizaba en formato físico mediante fichas para cada encargo. No existe ningún elemento que permita una copia de seguridad ni facilite el análisis histórico de los distintos trabajos realizados. Si que es cierto que este formulario se ha digitalizado, pero aun así debe seguir rellenándose a mano. La asignación de los trabajos a los distintos usuarios del laboratorio se lleva a cabo mediante la herramienta de Microsoft Planner. Esta herramienta resulta útil de cara al reparto de tareas generales, pero no resulta útil de cara al estudio de los tiempos de ocupación de cada máquina, dificultando la organización de la producción como tal.

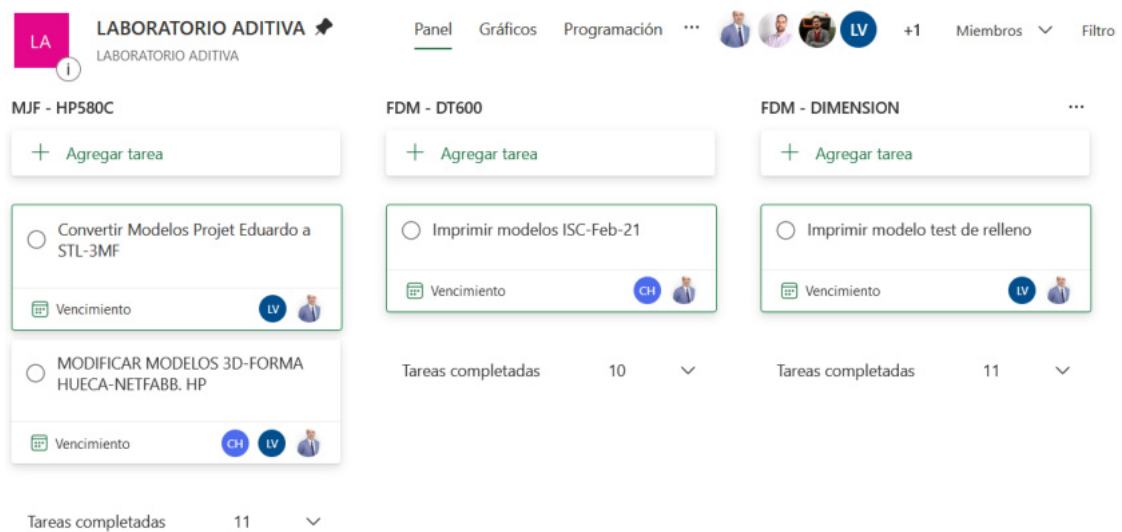


Figura 5.1: Pantalla de inicio en Microsoft Planner

Por último, el control de la maquinaria en remoto es mínimo y solo aplicable a aquellas impresoras con una solución ya integrada de serie. No es posible tener un control visual sobre aquellas más antiguas ni sobre los procesos en marcha. No existe una herramienta con la cual poder guiar a operarios no experimentados en la actuación ante accidentes o imprevistos durante la impresión.

Por la parte de la sostenibilidad, el mayor problema reside en la gestión de los distintos residuos que se generan en el laboratorio. Al no contar con los distintos elementos visuales que ayuden a su estandarización, el reciclaje se realiza de una manera vaga, difusa e inconsistente.

5.2 Documentación

5.2.1 Implementación industria 4.0

Este apartado se centra en los elementos introducidos en el laboratorio de cara a la digitalización del mismo. Puede considerarse un trabajo dentro del área de la industria 4.0, ya que se centra en los pilares de la nube, la ciberseguridad, la integración de sistemas, y el análisis de la maquinaria.

Sistema de ficheros y almacenaje

Para esta sección se va a aprovechar los recursos disponibles desde la universidad en materia de proveedores. Dados los acuerdos existentes entre la universidad y Microsoft, la solución basada en OneDrive resulta la única aplicable en este entorno.

La implementación de la nube es relativamente sencilla. Primero se solicita al STIC la creación de una cuenta educativa con licencia de acceso al sistema de almacenamiento en nube. Posteriormente se inicia sesión con dicha cuenta en los distintos equipos en uso en el laboratorio. Todos estos equipos pueden ser usados únicamente por el personal del laboratorio (profesores y alumnos colaboradores), que cuentan con la información necesaria para el inicio de sesión.

Una vez garantizado el acceso a la nube para cada dispositivo, se procede al volcado de archivos a la nube. Este volcado permite una reorganización de los mismos dentro de la estructura creada incluso de forma remota, factor fundamental dado que parte del equipo de trabajo no dispone de acceso directo al laboratorio durante el curso actual (intercambio Erasmus).

La estructura seguida propone una clasificación de los archivos en función de su naturaleza. Por ejemplo, se separa la biblioteca de archivos 3D por un lado, por otra los archivos e informaciones relativas a los procesos de fabricación, la documentación, etc...

Cada una de las carpetas sigue una codificación propia de acuerdo a las necesidades específicas de cada área. Por ejemplo, la carpeta de modelos se encuentra a su vez dividida en función de la categoría principal a la que pertenece el objeto (ya sea esta histórica, medicina, arquitectura...) o la técnica mediante la que se ha obtenido (se decide separar la fotogrametría del resto de elementos al ser ingeniería inversa).

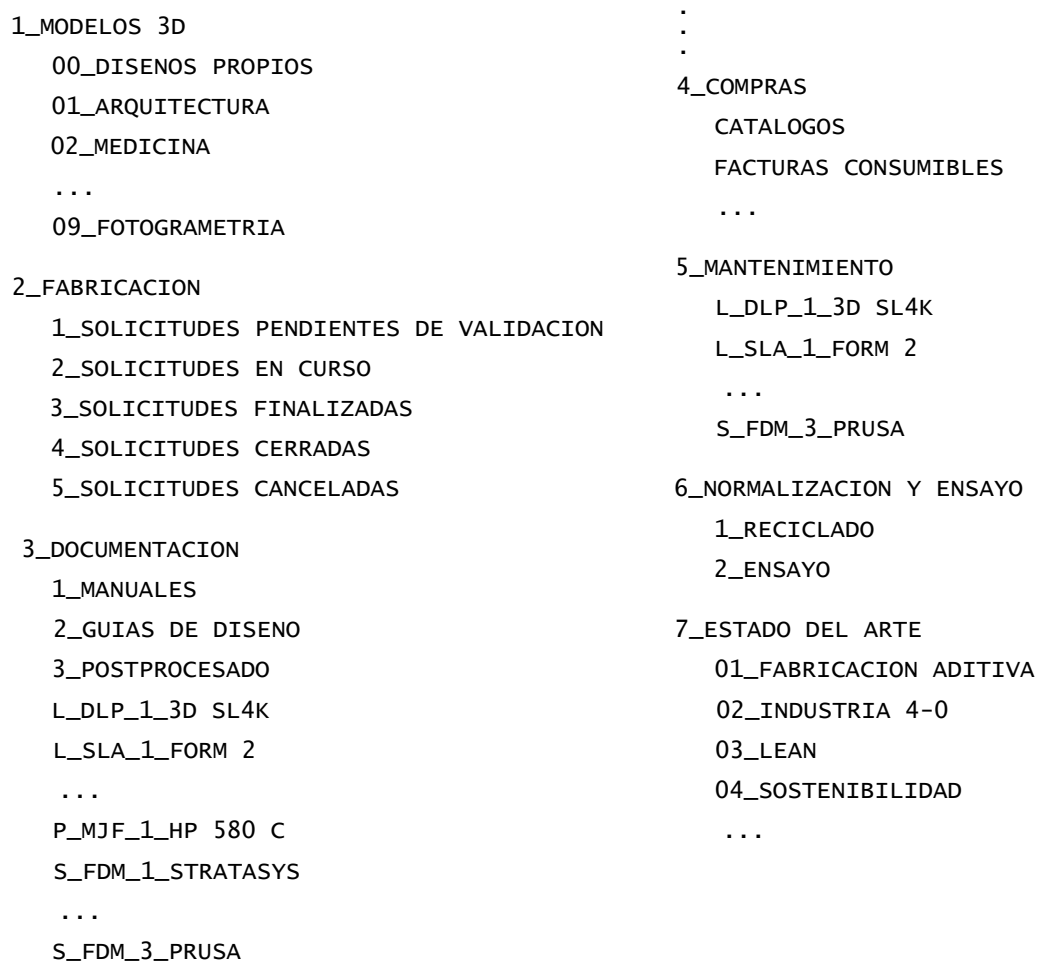


Figura 5.2: Estructura del almacenamiento nube

Otras carpetas como la de fabricación requieren el uso de un sistema de codificación para las distintas solicitudes recibidas. La solución adoptada finalmente, asigna la creación de una carpeta para cada solicitud que se irá desplazando entre las distintas subcarpetas en función de su estado. Su nomenclatura seguirá la codificación Año_NúmeroSolicitud (ej. 2022_001). La codificación de los archivos en el interior es indiferente, siempre y cuando esté incluida su formulario de solicitud de fabricación correspondiente.

El modelo planteado busca dar una solución no solo a la gestión de una biblioteca de archivos, si no también a la documentación generada durante la operación de las máquinas disponibles en el laboratorio, sus manuales de uso, la gestión de los albaranes asociados a la compra de material, mantenimiento, procesos de ensayo

para fabricación aditiva... También se busca centralizar la base de conocimiento del laboratorio, donde cada año múltiples proyectos se llevan a cabo, generando grandes cantidades de información e investigación que es necesario centralizar y hacer fácilmente accesibles.

Control del flujo de trabajo

La mejora de este aspecto se inicia con un estudio de las necesidades de los usuarios del laboratorio. Se busca una mayor fluidez en los flujos de trabajo del día a día, así como unos históricos digitalizados que permitan sacar en cualquier momento con facilidad un resumen de la actividad del laboratorio. Este espacio debe acoger a múltiples personas y equipos, por lo que es importante conocer la disponibilidad de las distintas máquinas de cara a organizar la producción y poder maniobrar con mayor facilidad ante eventos imprevistos o mantenimientos.

La solución empleada inicialmente es el Microsoft Planner. Esta herramienta permite una organización básica entre los usuarios responsables del laboratorio (profesores y alumnos colaboradores). Resulta de gran utilidad a la hora de designar tareas y personas responsables de las mismas, al igual que el estado de avance de los mismos, comentarios sobre su realización, y archivos adjuntos.

Sus flaquezas se descubren a la hora de planificar la producción, ya que no se puede visualizar cuál va a ser la distribución temporal de los trabajos en cada máquina. Tampoco existe una digitalización del abanico de materiales disponible, que únicamente queda registrado en el formulario de solicitud de producción del cliente.

A partir de esta base, se decide contactar a un amplio rango de suministradores de soluciones software de tipo MES/ERP. Su combinación con la solución nube ya ideada es especialmente interesante, ya que suele ser uno de los puntos débiles debido a sus limitaciones de tamaño o a unos precios demasiado elevados. Únicamente se obtiene respuesta de dos proveedores: AMFG y RaiseCloud.

Ambos softwares ofrecen herramientas para la gestión de la producción, empleando para ello una visualización de los mismos en un diagrama de Gantt. Se permite la gestión de perfiles de usuario dentro del equipo, facilitando la asignación de tareas. Existe también la posibilidad de configurar un slicer en línea, aunque su utilidad no se ha podido comprobar con detalle. La gran diferencia se encuentra en el precio de cada uno. Si bien es cierto que AMFG ofrece una atención personalizada, con programas de formación y lanzamiento del software, todo ello tiene un coste superior

a los 10.000€ anuales por licencia. El software RaiseCloud es por contra completamente gratuito. Aun sin contar con el factor formación y tener un rango menor de impresoras integradas por defecto, la elección resulta obvia por criterios económicos.

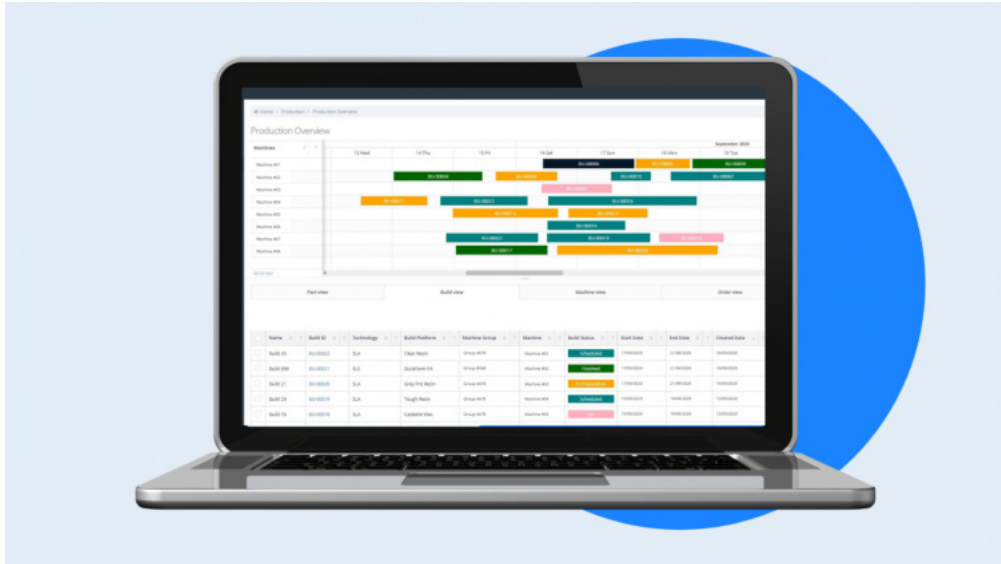


Figura 5.3: Ejemplo de visualización Gantt. Cortesía de AMFG

Control remoto de la maquinaria

El estado inicial de la implantación de soluciones de vigilancia y control remoto es limitado. Únicamente una impresora (DT 600+) ofrece un control web completo de los procesos en marcha, integrando en su propio servidor una visualización en tiempo real a través de una cámara instalada en la impresora. Las soluciones web de hp y Formlabs permiten cierto grado de control del proceso, pero están limitados a una funcionalidad meramente informativa. No permiten un control total en remoto, tampoco cuentan con una retransmisión de imagen en tiempo real.

Si bien es cierto que el software escogido en el apartado anterior (RaiseCloud) permite una integración de maquinaria de terceros, esta maquinaria debe ser de código y hardware abierto, ya que requiere el uso de una Raspberry y una gestión de las conexiones mediante Octoprint. Por tanto, algunas impresoras como la Stratasys no podrán ser integradas por esta vía. Es necesario emplear una solución más universal que al menos permita un control visual de los procesos, lo suficiente como para guiar a un operario en remoto para realizar las acciones correctivas

necesarias.

Es por esto que se decide la instalación de una cámara como las empleadas en la gran mayoría de las aulas para tener una visual sobre el laboratorio en todo momento. La cámara deberá instalarse en el techo del laboratorio, desde donde se podrá aprovechar la posibilidad de aumentos y movimiento para enfocar las áreas que sea necesario en cada situación.

5.2.2 Implementación sostenibilidad

La implementación de la sostenibilidad se centra en la falta de control y procedimientos sobre los residuos que se generan en el día a día del laboratorio. Recientemente se han realizado mejoras en este sentido, ya que al iniciarse este proyecto se implementaron cubos de basura específicos para cada área. Sin embargo, el reciclado aun admite margen de mejora ya que no se realiza una separación según material base ni existe una implantación de ninguna clase respecto a procedimientos.

El trabajo difiere según cada área. Mientras que los residuos sólidos pueden ser de materiales variados (PLA, ABS, PVA, Nylon...), los de polvo son siempre PA12 y los de líquido suelen ser ABS o PLA. Dada la mayor variedad en sólidos, su reciclado requiere de un separado en el propio cubo de basura. Para ello se decide compartimentarlo en tres grupos: PLA, ABS y otros. Esta asignación se realiza en función de los materiales más empleados históricamente.



Figura 5.4: Separación por tipos para FDM

Además de la separación inicial, es necesario indicar en todo caso quién es el responsable del vaciado de cada tipo de residuo. Los residuos generales (mascarillas, guantes y otros EPIs) que se depositan aparte, pueden ser designados como una tarea del personal de limpieza.

Para el reciclado de los residuos polvo y líquido es necesario emplear bolsas para su deposición que eviten generar un nuevo foco de suciedad. Para facilitar la labor del operario, estas bolsas deben situarse junto al propio cubo de basura.

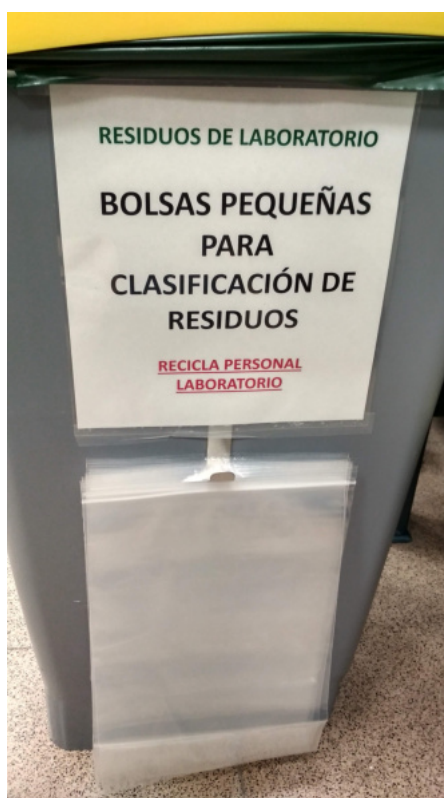


Figura 5.5: Detalle de las bolsas situadas al lateral

Una vez provistos los elementos necesarios para facilitar el reciclaje, solo queda remitirse a la elaboración de un procedimiento para el reciclado. Por suerte, la implementación LEAN ya ha cubierto este aspecto en la implementación de la tercera S (limpieza). Por tanto, puede emplearse el mismo esquema de implantación como guía base en el procedimiento de reciclado.

Este esquema parte de las últimas etapas de la implementación de la tercera S, en la que se realizaba un razonamiento en función de la naturaleza del residuo.

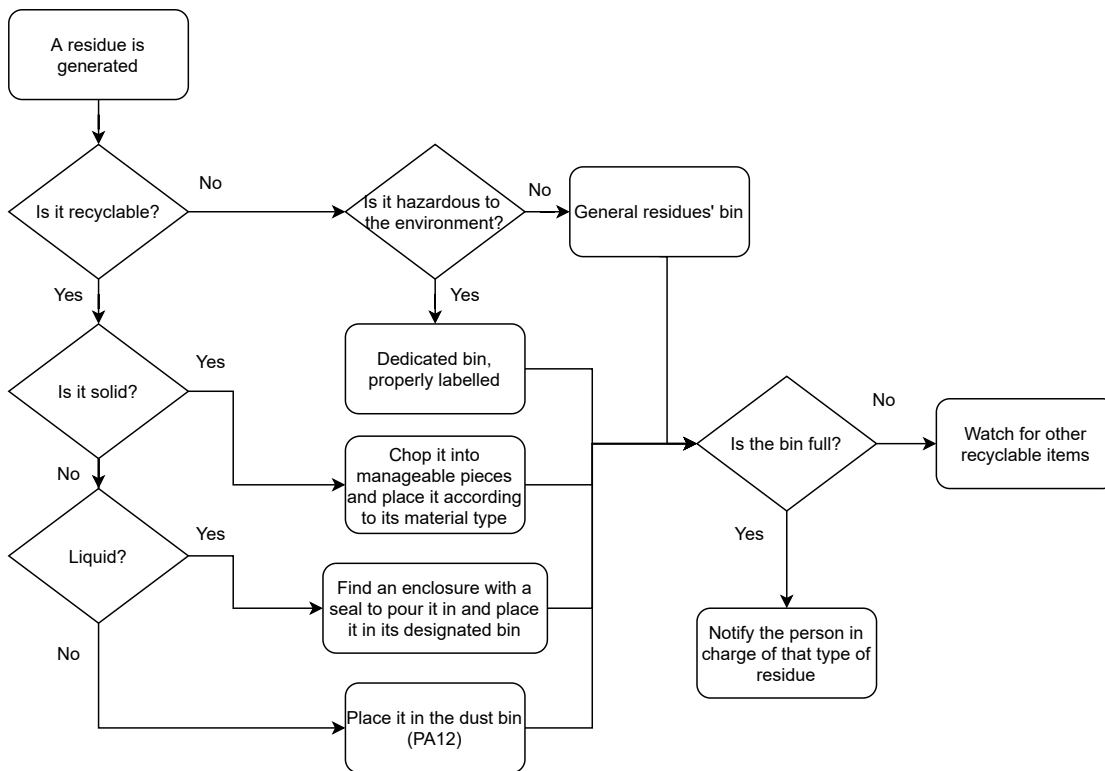


Figura 5.6: Procedimiento elaborado para el reciclaje

Este nuevo esquema añade una serie de acciones asociadas a cada tipo de residuo, incluyendo el vaciado de los cubos.

Como último comentario a este capítulo, se quiere volver a hacer hincapié en las relaciones recíprocas entre LEAN, industria 4.0 y sostenibilidad que tienen lugar a lo largo de toda la implementación. Como se ha podido observar, tanto la digitalización del sistema de archivos como la mejora del proceso de reciclaje cuentan con elementos LEAN relativos a la estandarización (véase la figura 5.2 o la 5.5). El LEAN termina formando parte de los procesos de implementación de cada rama, y a su vez este se ve beneficiado por los beneficios que estos aportan de vuelta (digitalización, reciclado, etc...).

Capítulo 6

Situación final del espacio de trabajo

6.1 Reportaje del laboratorio

Este primer apartado realizará algunas comparaciones fotográficas entre el antes y el después de los espacios.

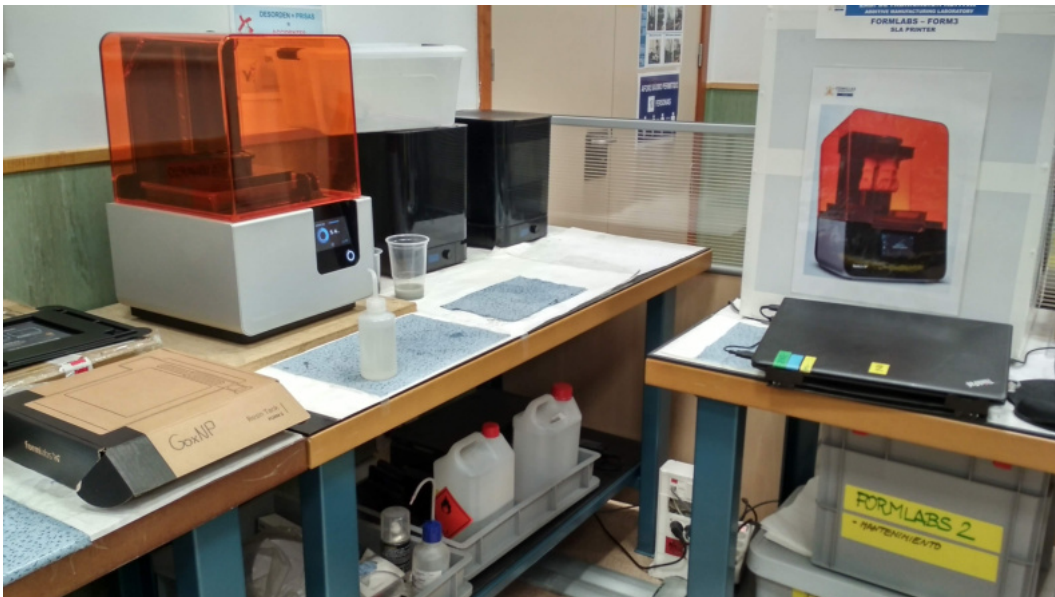


Figura 6.1: Antes de la implantación



Figura 6.2: Después de la implantación

La comparativa en la zona de líquidos resulta la más completa y fácilmente identificable. Se han integrado elementos relativos a cada una de las S, al igual que nuevos procesos de digitalización y de sostenibilidad.



Figura 6.3: Almacenaje antes de la implantación

Haciendo un repaso a lo largo de las 6S, se puede comprobar que en este espacio:



Figura 6.4: Almacenaje después de la implantación

- **Seiri - Separar:** Se han eliminado aquellos elementos innecesarios y se han llevado las fieras a la jaula.
- **Seiton - Clasificar:** Se ha impuesto un orden estructurado a los elementos estrictamente necesarios.
- **Seiso - Limpiar:** Se ha reducido el impacto del foco de suciedad, incluyendo elementos para facilitar su limpieza.
- **Seiketsu - Estandarizar:** Se han introducido elementos de cara a la estandarización de procesos (por ej., las bolsas).
- **Shitsuke - Mantener:** Se ha generado una serie de documentos y plantillas que facilitan su revisión periódica.
- **Safety - Seguridad:** Se ha señalado y facilitado el acceso a los EPIs necesarios para una operación segura en todo momento.

Los distintos procesos de implantación han sido igualmente revisados, de forma que incluyen elementos de industria 4.0 y sostenibilidad. A continuación se incluyen algunas comparativas más de interés entre el antes y el después.



Figura 6.5: Reciclaje antes de la implantación

Más ejemplos se pueden encontrar en los espacios para el reciclaje. Se realiza una aplicación del LEAN orientado al reciclaje. Se clasifica, se reduce la suciedad, se estandariza, y se incentiva un mantenimiento.



Figura 6.6: Reciclaje después de la implantación



Figura 6.7: Postprocesado antes de la implantación

No obstante, algunas áreas de implantación no terminan de ser del todo completas. Observando este ejemplo, la superficie de trabajo carece de elementos identificativos que designen los espacios. Puede generarse una anomalía y que esta no sea detectable.



Figura 6.8: Postprocesado después de la implantación

6.2 Auditorías

Si bien la comparativa visual resulta de gran valor, no debe olvidarse la necesidad de cuantificar el impacto de la implantación mediante herramientas más objetivas.

Este apartado comprobará el nivel de las mejoras realizadas, empleando para ello auditorías adicionales a las ya empleadas en capítulos anteriores.

6.2.1 Auditoría LEAN

La evaluación final del nivel de implementación alcanzado permite realizar una comparativa respecto a las dos puntuaciones obtenidas con anterioridad. Para ello, se emplea el formulario adjunto en los anexos, al igual que se hizo en el capítulo del estudio inicial.

Sort - Seiri	18
Set in order - Seiton	17
Shine - Seiso	18
Standardise - Seiketsu	19
Sustain - Shitsuke	16
Safety	16
Total (average) / out of 10	8,66

Figura 6.9: Resultados LEAN tras la implantación

En el análisis de resultados posterior se analizarán en detalle las causas, pero es posible apreciar a simple vista que la implementación ha tenido un impacto positivo si se compara con la puntuación obtenida al inicio del proyecto. La nueva puntuación global es de **8,66**.

6.2.2 Auditoría industria 4.0

La realización de la industria 4.0 también muestra mejoras significativas. Al igual que la auditoría LEAN, sus resultados se comentarán más adelante en detalle. El nuevo resultado sitúa al laboratorio como **nivel 2 (intermedio)** en el uso de las tecnologías de industria 4.0.

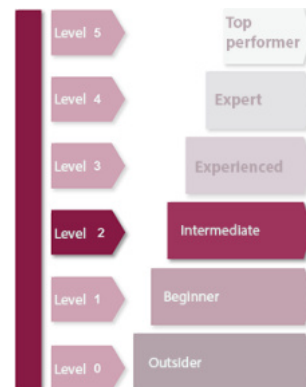
Overall evaluation

Your company is ranked at level 2 in the overall evaluation.

Your readiness scores in the six dimensions of Industry 4.0 are as follows:

- Strategy and organization: Level 3
- Smart factory: Level 1
- Smart operations: Level 2
- Smart products: Level 1
- Datadriven services: Level 0
- Employees: Level 3

Overall (weighted): 1.831 in keeping with level 2



The six dimensions are evaluated according to the numbers from the IMPULS study and are weighted as follows: Strategy and organization: 0.254, Smart factory: 0.143, Smart operations: 0.102, Smart products: 0.185, Data-driven services: 0.138, Employees: 0.179

Figura 6.10: Resultados industria 4.0 tras la implantación

6.2.3 Auditoría sostenibilidad

Por último, también se ha detectado una mejora en los niveles de sostenibilidad del laboratorio. La nueva puntuación es del **59,64%**, situándose en la categoría de **Sustainable**.

Capítulo 7

Resultados: análisis, conclusiones y futuros trabajos

7.1 Análisis de resultados

7.1.1 Mejoría LEAN

Resulta interesante la comparación con los otros dos históricos ya conocidos para apreciar la evolución a lo largo del último año. Los trabajos de mejora que se realizaron previo al inicio del proyecto estaban basados en el conocimiento LEAN, pero faltaba el tiempo necesario para la estandarización, documentación y elaboración de procedimientos. Por ello las mejoras eran marginales, ya que la dificultad para mantener estos cambios sin una estandarización es relativamente alta.

La implementación llevada a cabo en este proyecto cubre estos aspectos, ya que ha revisado los distintos procesos de cada S, revisándolos bajo criterios de industria 4.0 y sostenibilidad. Es este trabajo el que provoca un incremento notable en la mayoría de puntuaciones, que anteriormente eran nulas.

En concreto, la cuarta S (estandarización) viene a confirmar lo anterior. La creación de procesos y la estandarización de los distintos elementos juegan un papel clave en la mejora, pues se triplica la puntuación obtenida hace un año. Estos procedimientos redundan en beneficio para la quinta S (mantener), que logra un aumento igual al de la primera S (separar). De nuevo, estos incrementos se deben a la creación de procedimientos y a su estandarización.

Haciendo uso del valor medio, se observa una **mejoría del 6,92 inicial al 8,66 final**.

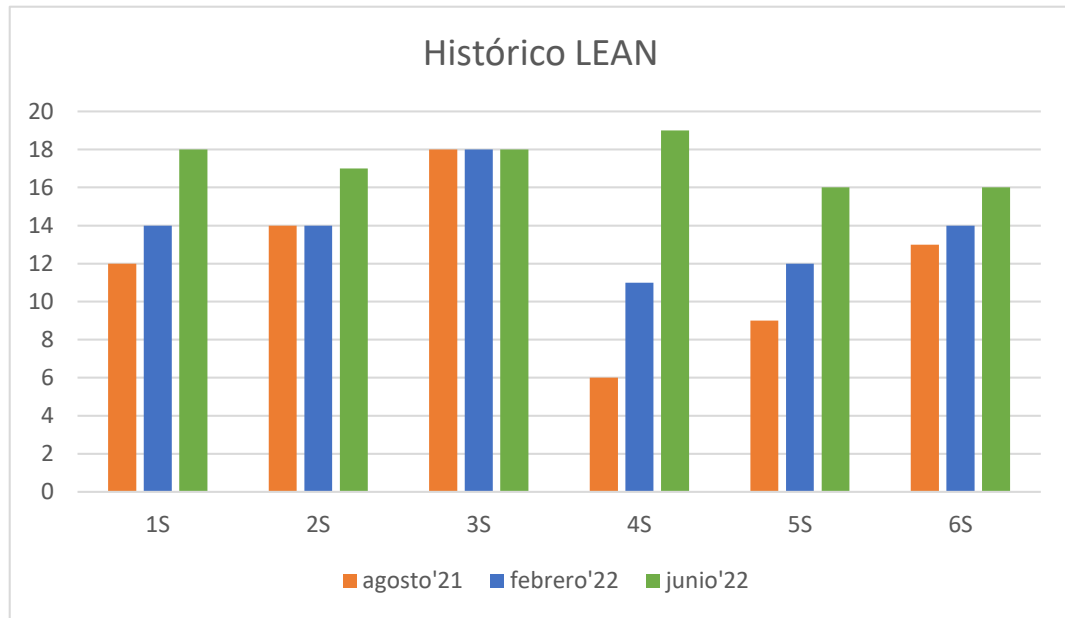


Figura 7.1: Evolución de la implantación LEAN en el último año

De cara a hacer más tangibles estos resultados, se va a analizar un elemento concreto para cada una de las S:

Mejora en Seiri - Seleccionar

Siguiendo los indicadores definidos en primera instancia, la manera más sencilla de analizar la mejora es mediante el número total de fieras e innecesarios identificados. En el safari se logra identificar un total de tres fieras y nueve innecesarios. Estos se trasladan a la jaula o se tiran, respectivamente. El espacio liberado es aproximadamente de dos metros cuadrados. Un ejemplo de aplicación es la figura 7.2a.

Mejora en Seiton - Ordenar

De nuevo, lo más práctico es seguir los indicadores marcados para poder cuantificar el impacto real. En este caso se emplea el número de elementos fuera de lugar y el número de elementos sin ubicación asignada. Puede observarse un ejemplo en la figura 7.4b.



(a) Aplicación Seiri



(b) Aplicación Seiton

Figura 7.2: Ejemplos de aplicación 1S y 2S

Mejora en Seiso - Limpiar

Las mejoras en limpieza se cuantifican mediante el número de fuentes de suciedad y parches identificados. El problema reside en las fuentes, que son inherentes al funcionamiento de la maquinaria y no pueden eliminarse. No obstante, sí que ha sido posible eliminar el parche presente en el área de postprocesado para líquidos.



Figura 7.3: Aplicación Seiso

Mejora en Seiketsu - Estandarizar

Para medir el impacto de la mejora en la estandarización, se puede emplear el porcentaje de puntos o elementos marcados respecto al total necesario. Si bien se ha implementado esta estandarización en la mayoría de áreas, como puede ser la de líquido, quedan algunas otra como la de postprocesado de polvo sin elementos estandarizados suficientes. Cualquier desviación en este espacio es difícilmente identificable a simple vista.

Mejora en Shitsuke - Mantener

La medición de este apartado se basa en todos los definidos anteriormente, ya que se trata de una auditoría que busca medir cualquier tipo de desviación posterior a la implantación. En este sentido, se detectan dos elementos nuevos

que son clasificados como fieras. Aparecen nuevos elementos fuera de lugar en el área de postprocesado para polvo, debido en parte a una falta de estandarización en la bandeja de trabajo. No se detectan variaciones en cuanto a limpieza. Se implementan nuevos elementos de estandarización en el área de sólido.



(a) Aplicación Seiketsu

PROGRAMA AUDITORÍAS 5S	Año: _____ AREA: _____	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 100px;">Equipo 1:</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Equipo 2:</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>Equipo 3:</td> </tr> </table>	1	Equipo 1:	2	Equipo 2:	3	Equipo 3:
1	Equipo 1:							
2	Equipo 2:							
3	Equipo 3:							

SEMANA																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Lunes																		
Martes																		
Miércoles																		
Jueves																		
Viernes																		

SEMANA																		
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Lunes																		
Martes																		
Miércoles																		
Jueves																		
Viernes																		

SEMANA																		
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Lunes																		
Martes																		
Miércoles																		
Jueves																		
Viernes																		

Fecha realizada planificación: _____ (Firmar dentro de las casillas cuando se haya realizado la auditoría planificada)

(b) Aplicación Shitsuke (plantilla)

Figura 7.4: Ejemplos de aplicación 4S y 5S

Mejora en Safety - Seguridad

La seguridad encuentra unos indicadores similares a los ofrecidos en la estandarización. Por tanto, se considera el número de elementos sin indicaciones claras de las EPIs como el mejor indicador. En un momento inicial, centrando el enfoque al área de líquido, no se contaba con ningún indicador acerca de los EPIs de trabajo necesarios. La maquinaria sí contaba con elementos señalizadores cuando se encontraban en marcha, pero de nuevo faltaban los EPIs requeridos.



Figura 7.5: Aplicación Safety

7.1.2 Mejoría industria 4.0

Los incrementos logrados en materia de industria 4.0 no llegan a ser tan significativos como los obtenidos en LEAN. Pero es necesario tener en cuenta el público objetivo de la auditoría empleada, que se enfoca más al mundo de la empresa y la industria a niveles más elevados. También hay que tener en cuenta las limitaciones en cuanto a tecnologías disponibles o aplicables. Siendo un espacio de tamaño limitado, herramientas como el control en tiempo real de la producción para reajustarla automáticamente no llegan a valer el esfuerzo necesario para su implementación.

Aun con todo, la implementación de un sistema nube para la gestión de archivos permite una mejor integración de los recursos disponibles. Esta herramienta permite igualmente un acceso simplificado a la información relativa a todos los proyectos

que tienen lugar en este laboratorio. Comparando los resultados del año anterior y al inicio del proyecto, **se ha logrado elevar el espacio de la categoría 1 (principiante) a la categoría 2 (intermedio)**. Se trata de una leve mejoría, debida exclusivamente a los procesos de digitalización y control remoto introducidos en el laboratorio.

Queda pendiente la instalación de una cámara situada en el techo con capacidad de movimiento. Consecuentemente, también queda pendiente el diseño de su acceso en remoto para poder analizar cualquier suceso que requiera la atención de un operario cualificado.

7.1.3 Mejoría sostenibilidad

Por último, los esfuerzos en materia de sostenibilidad también han dado su fruto. Al igual que en industria 4.0, la puntuación denota un incremento reducido en parte debido al público objetivo de esta. Aun con ello, puede comprobarse que la mejora de la puntuación se debe a la mejora de los procesos de separación de residuos, que ahora se encuentran estandarizados y con procedimientos definidos. La mejoría total obtenida va **desde el 50,71% inicial al 59,64% final**.

Concretando en alguno de los ejemplos, puede observarse en el área de FDM la separación de los residuos en función de cuáles de estos son los más comunes.



Figura 7.6: Aplicación sostenibilidad

7.2 Conclusiones

7.2.1 Cumplimiento de objetivos

Repasando la lista de objetivos planteados, puede afirmarse que **se han cubierto satisfactoriamente** los siguientes:

Objetivos principales:

- Estudio del nivel de implantación de la metodología LEAN 6S en el laboratorio de trabajo.
- Implantación de la metodología LEAN 6S en al menos una tecnología de Fabricación Aditiva.
- Evaluación de posibles soluciones a la monitorización de maquinaria.
- Evaluación de sistemas de gestión de la producción.
- Evaluación de sistemas de gestión de la información.
- Evaluación de la gestión de residuos provenientes de la fabricación aditiva y sus procesos asociados.

Objetivos secundarios:

- Implementación de un sistema de gestión y reciclado de los distintos residuos.

El trabajo realizado ha medido inicialmente el estado de implantación LEAN en el que se encontraba el laboratorio. Igualmente, ha llevado a cabo su implantación de forma completa en el área de líquido, aplicando algunos elementos en sólido, polvo, y espacios de almacenamiento. Se han evaluado soluciones para la monitorización de la maquinaria, que finalmente deberá realizarse vía cámara dadas las incompatibilidades de ciertos fabricantes. Se ha evaluado los posibles sistemas de gestión de la producción, que se decanta por la solución de RaiseCloud. Se ha evaluado nuevos sistemas para la gestión de la información, que conllevan una digitalización de la recogida de datos mediante almacenamiento nube centralizado. Se han evaluado vías de mejora para el reciclaje, que pasan por la separación y estandarización. Por último, este sistema se ha implementado de forma satisfactoria.

En cuanto a los siguientes objetivos, puede decirse que se ha logrado una **consecución parcial o limitada** a ciertos aspectos:

Objetivos principales:

- Evaluación de posibles soluciones al control remoto de la alimentación de la maquinaria.

Objetivos secundarios:

- Implementación de soluciones de monitorización de la maquinaria.
- Implementación de soluciones de control de la alimentación de la maquinaria.

Si bien se han evaluado posibles formas de controlar el estado y alimentación de la maquinaria, existen múltiples incompatibilidades debido a los software y hardware de carácter cerrado en algunas máquinas. Se deberá optar por guiar a un operario en remoto para estas máquinas donde el control no quede integrado.

7.3 Futuras vías de trabajo

El alcance de este proyecto es limitado, entre otros factores por el tiempo físico disponible. Por ello, este último apartado busca plantear sugerencias de cara a futuras líneas de trabajo que aprovechen las bases sentadas por este trabajo.

7.3.1 Procedimientos LEAN digitales

La primera propuesta y, a juicio propio, más significativa, es la elaboración de unos procedimientos LEAN específicos para la gestión de elementos digitales. La cantidad de información que se genera y debe ser tratada se encuentra en un aumento constante. Cada usuario que pase por el laboratorio, deja una huella digital en cuanto a los ficheros empleados, las solicitudes de servicio, las estadísticas de impresión... El tratado de estos datos debe basarse en la metodología LEAN, que como ya se trató en el estado del arte y se ha comprobado durante la implementación, resulta mutuamente beneficioso para ambas ramas.

El trabajo desarrollado ya aplica parte de los principios LEAN físicos a la estructura nube digital que se ha creado, pero esta aplicación no tiene un procedimiento de referencia hecho a su medida. Existe la necesidad de crear un procedimiento LEAN 6S digital que estandarice su aplicación sin basarse en mera extrapolación

sobre la marcha de los principios físicos.

De llevarse a cabo, se simplifica la tarea de la clasificación de la información, que aun se encuentra en proceso dado el volumen de datos reunido entre los equipos de las tres áreas. La digitalización resulta en otros beneficios, que bajo el paraguas del LEAN ayudan a reducir los tiempos de búsqueda, la fiabilidad y seguridad de estos espacios, los recursos físicos necesarios, y los riesgos asociados a su manipulación, entre otros.

7.3.2 Estudio de otras metodologías

El trabajo desarrollado se ha basado en la metodología LEAN 5S+6S, a la que se han añadido elementos de industria 4.0 y sostenibilidad cuando se ha considerado útil. Estas implementaciones pueden llevarse más allá mediante el LEAN digital (recién planteado en el punto anterior), el LEAN verde o «*Green LEAN*» [64]. Puede resultar interesante la comparativa de la implementación actual con la que puede lograrse mediante estas herramientas. Investigar si realmente las diferencias son significativas o si por el contrario, una simple revisión del 6S con perspectivas de industria 4.0 y sostenibilidad puede tener el mismo alcance.

Dentro del ámbito LEAN, existe también la variante 7S que busca un mayor compromiso en su implantación [65]. Quizá no sea lo más adecuado para un espacio donde la rotación de usuarios es elevada (en el mejor de los casos, un alumno colaborador puede permanecer en el puesto cuatro años aproximadamente), y donde el compromiso de los usuarios de mayor nivel (profesores, coordinadores) con el LEAN ya es elevado de por sí.

Aparte de las variantes LEAN, hay disponibles otras herramientas como el TPM o el SMED. Ambas metodologías han sido propuestas como pasos adicionales en el estudio llevado a cabo en el laboratorio contiguo [63]. Puede resultar interesante extender esta propuesta a la totalidad de los laboratorios de fabricación, siempre que sea una carga de trabajo realista para un TFG o TFM.

7.3.3 Estudio de estándares UNE

Dadas las limitaciones de este proyecto, ha quedado pendiente el estudio y comparación de resultados con las distintas normativas UNE existentes. En concreto, para la industria 4.0 podría ser interesante estudiar el nivel de implementación según las definiciones de la UNE 0061-2019 [2]. Del mismo modo, existen normas

UNE relativas a los procesos de sostenibilidad medioambiental, consumo energético o calidad (140001, 50001, y 9001 respectivamente).

La cumplimentación de estas normativas supone un rasgo distintivo en cuanto a la calidad de los procesos realizados en el espacio del laboratorio. Del mismo modo, permitiría acercar al alumno usuario las distintas normativas existentes y la importancia de las mismas si se quiere llevar a cabo una estandarización de cualquier proceso.

CAPÍTULO 7. RESULTADOS: ANÁLISIS, CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Apéndice A

ODS

El trabajo desarrollado en este proyecto está en consonancia con algunos de los ODS planteados recientemente. Este aspecto ha quedado cubierto en la introducción, por lo que este apéndice simplemente dará un poco más de profundidad acerca de las relaciones existentes.

- **Industria, Innovación e Infraestructuras:** el trabajo que se ha realizado ha aplicado las últimas tecnologías en la industria para provocar una mejora en el espacio de trabajo. Se basa en los principios del LEAN, la industria 4.0 y la sostenibilidad. La aplicación de estas técnicas en un espacio de trabajo multidisciplinar, en el cual coinciden y trabajan alumnos de diversos cursos, es de gran interés de cara a difundir los alcances de la aplicación de estas metodologías. [1].



Figura A.1: Objetivo 9. Cortesía de la ONU

- **Producción y Consumo Responsables:** como se ha podido observar a lo

largo de la implantación, la simbiosis producida entre las tres áreas principales se ha traducido en una mejora de las condiciones de productividad, al igual que en una mejora de la estandarización de los procesos. Esta estandarización resulta beneficiosa de cara al tratamiento de residuos, estableciendo pasos a seguir en función de la naturaleza de cada elemento. Todo esto fomenta una producción y consumo responsables, donde se considera el ciclo de vida de la pieza desde la materia prima hasta su reciclado final. [1].



Figura A.2: Objetivo 12. Cortesía de la ONU

Apéndice B

Safari inicial

En este apéndice se muestran la totalidad de las imágenes tomadas durante el safari inicial. Solo una parte de estas ha sido incluida en el cuerpo de la memoria, ya que ocupan un espacio considerable.



Figura B.1: Área sólido



Figura B.2: Área líquido



Figura B.3: Área polvo



Figura B.4: Área líquido. Sección DLP



Figura B.5: Área líquido. Balda inferior sección DLP



Figura B.6: Área líquido. Balda inferior sección SLA



Figura B.7: Área líquido. Balda inferior sección DLP



Figura B.8: General. Espacio de almacenaje de piezas



Figura B.9: General. Espacio de almacenaje de piezas



Figura B.10: Área líquido. Papelera



Figura B.11: Área sólido. Papelera



Figura B.12: Área sólido. Residuos de grandes dimensiones



Figura B.13: General. Inecesarios y fieras varias



Figura B.14: Área polvo. Sección postprocesado



Figura B.15: Área polvo. Sección postprocesado, balda superior

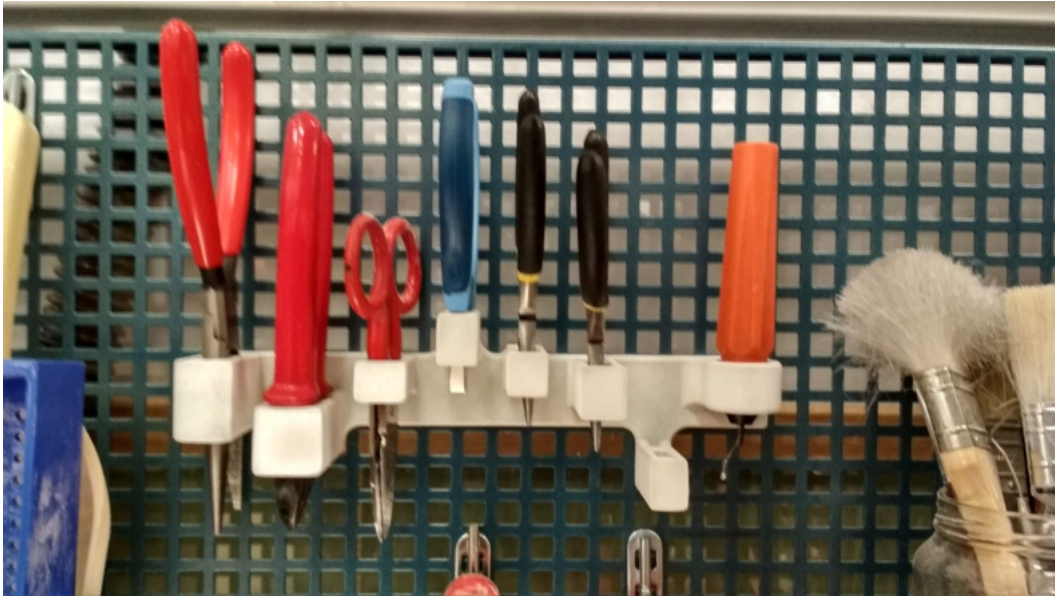


Figura B.16: Área polvo. Sección postprocesado, detalle soporte herramientas



Figura B.17: General. Jaula para fieras




Figura B.18: General. Jaula para fieras

Apéndice C

Documentación generada

Este apéndice comprende la totalidad de la documentación generada durante el proceso de la implantación LEAN.


PLANIFICACIÓN PROYECTO 5S-6S	Área: Fabricación Aditiva	Facilitador: Carlos Rubio Sanz Equipo: CRS, MJC	
-------------------------------------	------------------------------	--	---

R=Reunión A=Acción

	Fase	ENERO				FEBRERO				MARZO			
		3-7	10-14	17-21	24-28	31-4	7-11	14-18	21-25	28-4	7-11	14-18	21-25
Pre- vio	Preparación previa: Formación líder, etc.	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----					
	Reunión lanzamiento (R)							-----					
Separar Innecesario	Preparación (R)							-----	-----				
	Acción (A)								-----	-----			
	Análisis y mejora (R+A)										-----		
	Normalización											-----	
Situar Necesarios	Preparación (R)							-----	-----				
	Acción (A)								-----	-----			
	Análisis y mejora (R+A)										-----		
	Normalización											-----	
Suprimir suciedad	Preparación (R)							-----	-----	-----			
	Acción (A)										-----		
	Análisis y mejora (R+A)										-----	-----	
	Normalización											-----	
Señalizar anomalías	Preparación (R)							-----	-----	-----			
	Acción (A)										-----		
	Análisis y mejora (R+A)										-----	-----	
	Normalización											-----	
Seguir mejorando	Preparación (R)							-----	-----	-----			
	Acción (A)										-----		
	Análisis y mejora (R+A)										-----	-----	
	Normalización											-----	
	Presentación resultados											-----	

Previsto Real -----

Fecha realizado: 15/01/2022

PLANIFICACIÓN PROYECTO 6S FASE 1S: SEPARAR INNECESARIOS	Área: Fabricación Aditiva	Facilitador: Carlos Rubio Sanz Equipo: CRS, MJC	
--	------------------------------	--	---

Fase	QUIÉN	CUANDO	OBSERVACIONES
Preparación			
Definiciones, tareas, ventajas, laberintos,	CRS, MJC	16/02/2022	Hasta primeros de marzo
Indicadores, Factores de éxito, formatos	CRS, MJC	16/02/2022	Hasta primeros de marzo
Distribución tareas	CRS, MJC	16/02/2022	Hasta primeros de marzo
Acción			
Tomar fotos	CRS	08/03/2022	
Realizar safari – identificar y listar	CRS	08/03/2022	Actualización adhesivos
Crear Jaula	CRS	08/03/2022	
Introducir fieras en jaula	CRS	08/03/2022	
Análisis y mejora			
Decidir innecesarios – completar listados	CRS, MJC	15/03/2022	Pendiente Dpto. Electrónica
Ejecutar decisiones innecesarios	CRS	15/03/2022	Pendiente Dpto. Electrónica
Sacar fotos	CRS	15/03/2022	
Recoger y registrar indicadores	CRS	15/03/2022	
Normalización			
Realizar procedimiento/Instrucción/ficha	CRS, MJC	18/03/2022	
Completar panel 5S/6S	CRS, MJC	18/03/2022	

PROYECTO 5S/6S LISTA MATERIALES INNECESARIOS	Área: Fabricación Aditiva Fecha: 08/03/2022	Equipo: CRS, MJC	
---	---	------------------	--

Nº	Descripción	Cantidad	Ubicación	Decisión (T, V, R)	Observaciones
01	Cartones	1	Puerta de entrada	R	Sin aprovechar durante más de un año
02	Cartelería antigua	7	Detrás de taquillas	R	Material didáctico desactualizado
03	Fuente de alimentación	1	Estantería entrada	T	Averiada, sin reparar más de un año
04	Placa electrónica	1	Estantería entrada	T	Sin aplicación, más de un año
05	Cartón pluma	6	Estantería entrada	R	Restos y retales de tamaño no aprovechable
06	Retales madera	4	Estantería entrada	R	Restos y retales de tamaño no aprovechable
07	Cajonera	1	Estantería Stratasys	T	Sin aprovechar durante más de un año
08	Sobre acolchado	1	Estantería Stratasys	T	Residuo
09	Bases bidones	2	Estantería postprocesado	R	Reemplazado por contenedores más aptos

T: Tirar V: Vender R: Reciclar

PROYECTO 6S LISTA MATERIALES PENDIENTE CLASIFICAR (FIERAS)	Area: Fabricación Aditiva Fecha: 08/03/2022	Equipo: CRS, MJC	
---	--	------------------	--

Nº	Descripción	Cantidad	Fecha	Observaciones
01	Chorreadora	1	08/03/2022	Funcional, pero reemplazada por equipo más moderno
02	Cajas, cartones y cartuchos HP	15	08/03/2022	Embalajes y cartuchos vacíos, ¿recicla HP o nosotros?
03	PLCs y accesorios	15	14/03/2022	Funcional, sin uso durante más de un año

Frecuencia revisión de la jaula:

Semanal



Mensual

Trimestral

Anual

Fecha	Realizado por
08/03/2022	CRS
14/03/2022	CRS

Fecha	Realizado por

PLANIFICACIÓN PROYECTO 5S/6S FASE: 2S- SITUAR NECESARIOS	Área: Fabricación Aditiva	Facilitador: Carlos Rubio Sanz Equipo: CRS, MJC	
---	---------------------------	--	--

Fase	QUIÉN	CUANDO	OBSERVACIONES
Preparación			
Definiciones, tareas, ventajas, laberintos,	CRS, MJC	23/02/2022	Hasta primeros de marzo
Indicadores, Factores de éxito, formatos	CRS, MJC	23/02/2022	Hasta primeros de marzo
Distribución tareas	CRS, MJC	23/02/2022	Hasta primeros de marzo
Acción			
Tomar fotos	CRS	08/03/2022	
Safari – necesidades identificación y ubicación	CRS	10/03/2022	
Análisis y mejora			
Consensuar Identificación y ubicación	CRS, MJC	18/03/2022	
Planificar acciones identificación-ubicación	CRS, MJC	18/03/2022	
Ejecutar acciones	CRS	18/03/2022	
Sacar fotos	CRS	18/03/2022	
Recopilar y registrar indicadores	CRS	18/03/2022	
Normalización			
Realizar procedimiento/Instrucción/ficha	CRS, MJC	18/03/2022	
Completar panel 5S/6S	CRS, MJC	18/03/2022	

PLANIFICACIÓN PROYECTO 6S FASE: 3S – SUPRIMIR SUCIEDAD	Área: Fabricación Aditiva, puesto FA_L_1_DLP1, FA_L_2_SLA1 y FA_L_3_SLA2	Facilitador: Carlos Rubio Sanz Equipo: CRS, MJC	
---	---	--	--

Fase	QUIÉN	CUANDO	OBSERVACIONES
Preparación			
Definiciones, tareas, ventajas, laberintos,	CRS, MJC	17/03/2022	
Indicadores, Factores de éxito, formatos	CRS, MJC	17/03/2022	
Distribución tareas	CRS, MJC	17/03/2022	
Acción			
Tomar fotos	CRS	17/03/2022	
Safari – limpiar a fondo la zona	CRS	17/03/2022	
Safari – Identificar fuentes suciedad, parches, etc.	CRS	17/03/2022	
Análisis y mejora			
Analizar origen raíz de fuentes de suciedad	CRS	21/03/2022	Postproc. líquido
Planificar acciones correctoras (eliminar fuentes)	CRS	21/03/2022	
Ejecutar acciones	CRS	21/03/2022	
Sacar fotos	CRS	21/03/2022	
Recoger y registrar indicadores	CRS	21/03/2022	
Normalización			
Realizar procedimiento/Instrucción/ficha	CRS, MJC	25/03/2022	
Completar panel 5S	CRS, MJC	25/03/2022	

PLANIFICACIÓN PROYECTO 5S-6S FASE: 4S – SEÑALIZAR ANOMALÍAS	Área: Fabricación Aditiva	Facilitador: Carlos Rubio Sanz Equipo: CRS, MJC	
--	---------------------------	--	--

Fase	QUIÉN	CUANDO	OBSERVACIONES
Preparación			
Definiciones, tareas, ventajas, laberintos,	CRS, MJC	22/02/2022	
Indicadores, Factores de éxito, formatos	CRS	22/02/2022	
Distribución tareas	CRS, MJC	22/02/2022	
Acción			
Tomar fotos	CRS	15/03/2022	
Safari – Identificar necesidades señalización	CRS	15/03/2022	
Análisis y mejora			
Detallar sistemas de señalización	CRS, MJC	22/03/2022	
Planificar acciones	CRS, MJC	22/03/2022	
Ejecutar acciones	CRS	22/03/2022	
Sacar fotos	CRS	22/03/2022	
Recoger y registrar indicadores	CRS	22/03/2022	
Normalización			
Realizar procedimiento/Instrucción/ficha	CRS	25/03/2022	
Completar panel 5S	CRS	25/03/2022	

PROGRAMA AUDITORÍAS 5S

Año: 2022

AREA: FA

- | | |
|---|--------------------|
| 1 | Equipo 1: CRS |
| 2 | Equipo 2: MJC |
| 3 | Equipo 3: CRS, MJC |

	SEMANA																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Lunes																		
Martes																		
Miércoles								3		1		1		2		2		2
Jueves																		
Viernes																		

	SEMANA																	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Lunes																		
Martes																		
Miércoles																		
Jueves																		
Viernes																		

	SEMANA																	
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Lunes																		
Martes																		
Miércoles																		
Jueves																		
Viernes																		

Fecha realizada planificación: 21/02/2022

(Firmar dentro de las casillas cuando se haya realizado la auditoría planificada)

AUDITORÍA 5S	Área: FA Fecha: 25/03/2022	Equipo: CRS
---------------------	-------------------------------	-------------

		Cumplimiento (Excelente, bien, normal, regular, mal)				
		E (4)	B (3)	N (2)	R (1)	M (0)
Separar innecesarios	Los materiales de deshecho y basura están segregados	X				
	No hay innecesarios en el área	X				
	Se revisa y gestiona la "jaula" según periodicidad establecida	X				
	Existen directrices documentadas de esta fase y se cumplen	X				
	Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 16)	100% (A)				
Situar necesarios	Los materiales y elementos tienen una ubicación clara		X			
	Los materiales y elementos están en su ubicación		X			
	Contenedores estandarizados y adaptados al contenido			X		
	La ubicación es adecuada ("todo a mano y de forma segura")		X			
	Identificación general vertical es suficiente (paneles, carteles)		X			
	Identificación general horizontal suficiente (sombras, pasillos)		X			
	Los materiales que se deben mover están sobre ruedas	X				
	Se aplica "Lo primero que entra es lo primero que sale" (FIFO)			X		
	Existen directrices documentadas de esta fase y se cumplen	X				
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 36)	75% (B)					
Suprimir suciedad	Las fuentes de suciedad están identificadas y bajo control	X				
	No hay lugares difíciles de limpiar		X			
	Los parches están identificados y bajo control	X				
	El material defectuoso o dañado está identificado	X				
	Existen directrices documentadas y registros de control de esta fase del área y se cumplen	X				
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 20)	95% (C)					
Señalizar anomalías	Se visualizan rangos de trabajo "normales" de materiales		X			
	Se visualizan situaciones irregulares de ubicación		X			
	Se visualizan puntos críticos de instalaciones y máquinas	X				
	Existen directrices documentadas de control/señalización y se cumplen	X				
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 16)	87,5% (D)					
Seguir mejorando	Se han planificado las auditorías		X			
	Se han realizado las auditorías según planificación	X				
	Se ejecutan acciones correctoras de desviaciones	X				
	Existen directrices documentadas de esta fase y se cumplen	X				
	Se mantiene "vivo" el panel 5S		X			
Puntuación de la fase (Puntos X 100 / 20)	90% (E)					
PUNTUACIÓN TOTAL (A+B+C+D+E)/5		89,5%				

OTROS INDICADORES DE AUDITORÍA

Nº nuevos innecesarios:	2
Nº elementos sin ubicación	0
Nº elementos fuera de su sitio	1

Nº elementos sin identificación	0
Nº fuentes de suciedad nuevas	0
Nº de nuevos parches o material dañado	0

Apéndice D

Safari final

Este apéndice tiene el mismo objetivo que el B. La única diferencia reside en que en este se refleja el estado del laboratorio tras la implantación. De nuevo, se muestran aquí la totalidad de las imágenes, si bien solo algunas de estas se emplean en el cuerpo de la memoria.



Figura D.1: Resultado final área líquido-SLA/DLP



Figura D.2: Jaula y fieras



Figura D.3: Jaula y más fieras



Figura D.4: Espacio liberado



Figura D.5: Espacio liberado



Figura D.6: Resultado final área líquido-SLA/DLP



Figura D.7: Resultado final área líquido-SLA/DLP, postprocesado



Figura D.8: Resultado final área líquido-SLA/DLP, postprocesado

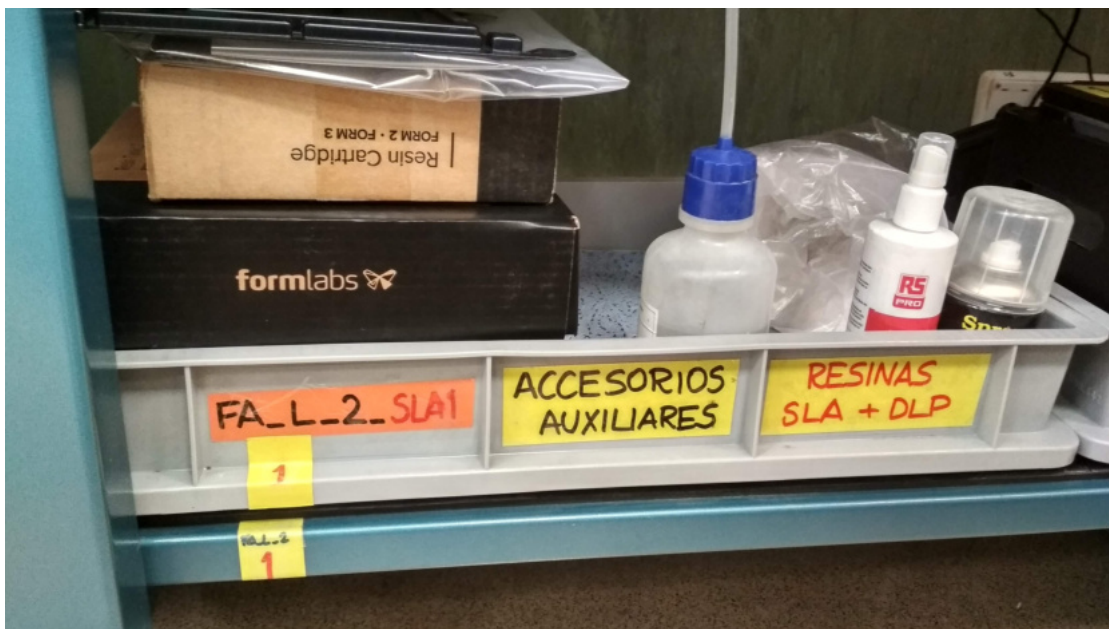


Figura D.9: Resultado final área líquido-SLA/DLP, almacenaje

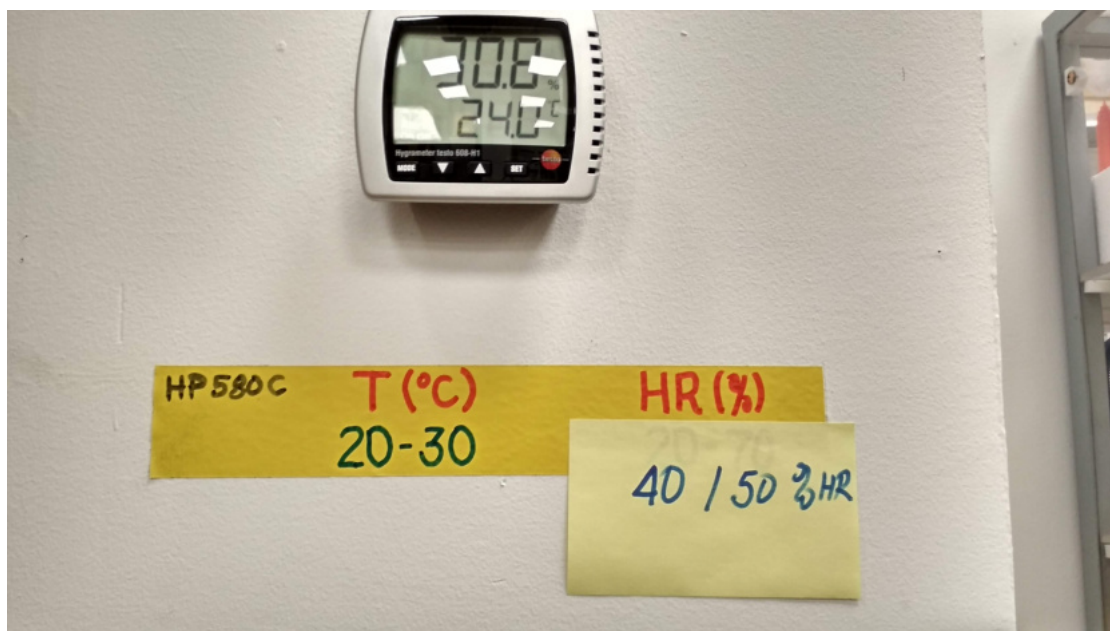


Figura D.10: Estandarización condiciones del laboratorio



Figura D.11: Estandarización presiones chorreadora

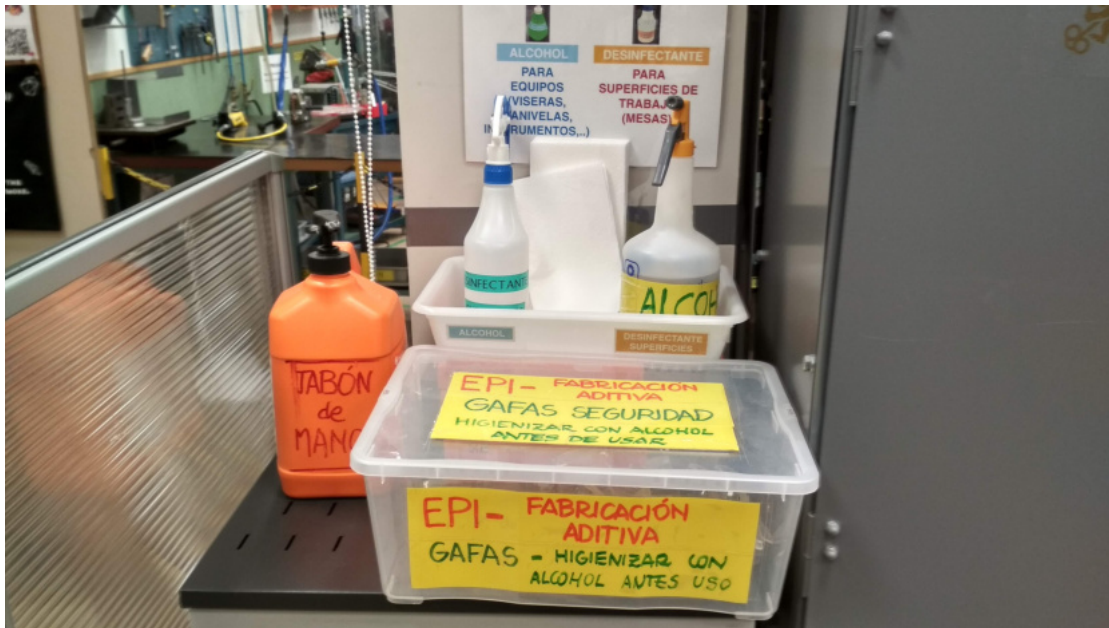


Figura D.12: Estandarización EPIs



Figura D.13: Estandarización residuos



Figura D.14: Estandarización elementos varios



Figura D.15: Estandarización varios

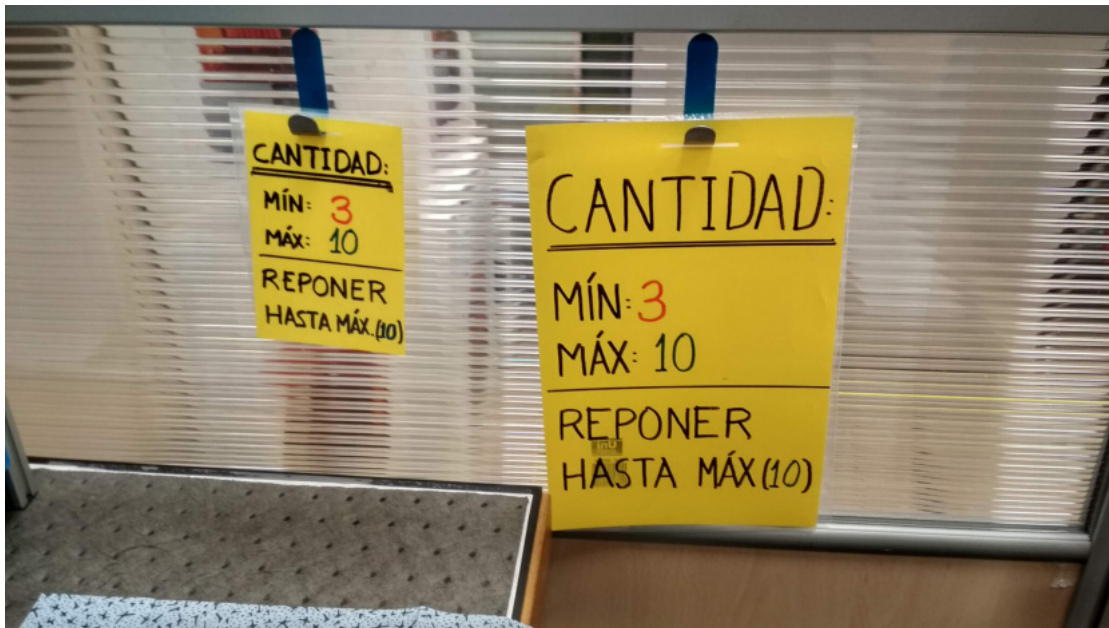


Figura D.16: Estandarización área líquido-SLA/DLP



Figura D.17: Estandarización área sólido-FDM



Figura D.18: Resultado final área postprocesado polvo-MJF

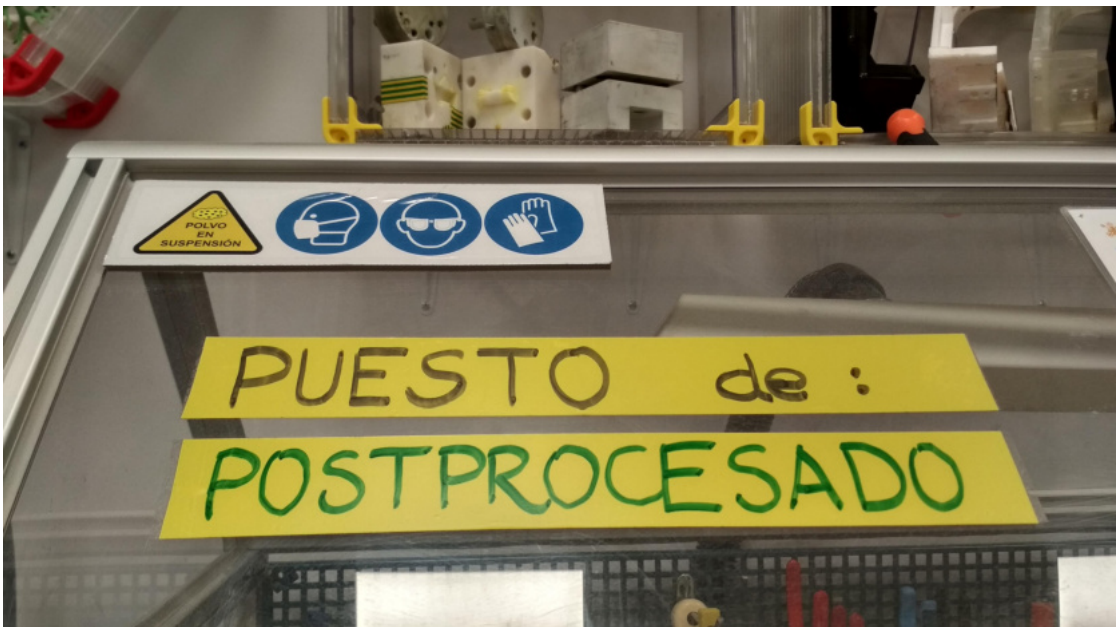


Figura D.19: Elementos de seguridad área polvo-MJF



Figura D.20: Elementos seguridad laboratorio



Figura D.21: Elementos seguridad SLA-Form3

Bibliografía

- [1] Maria Jose Gamez. *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [2] Asociación Española de Normalización. *Requisitos UNE 0061 para ser una Industria 4.0*. Norma UNE 0061. 29 de mayo de 2019. URL: <https://industria40.me/blog/requisitos-une-0061-para-ser-una-industria-4-0/>.
- [3] Jeffrey K. Liker. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. OCLC: ocm54005437. McGraw-Hill, 2004. 330 págs. ISBN: 978-0-07-139231-0.
- [4] Ohno Taiichi. *Toyota Production System: Beyond large scale production*. 1988, pág. 207.
- [5] T Jones. *LEAN Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. 2003, pág. 402.
- [6] David Romero y col. «Rethinking Jidoka Systems under Automation & Learning Perspectives in the Digital Lean Manufacturing World». En: *IFAC-PapersOnLine* 52.13 (2019), págs. 899-903. ISSN: 24058963. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.309.
- [7] Falah Abu y col. «The implementation of lean manufacturing in the furniture industry: A review and analysis on the motives, barriers, challenges, and the applications». En: *Journal of Cleaner Production* 234 (oct. de 2019), págs. 660-680. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.279.
- [8] Rosenira Izabel de Oliveira, Sammya Oliveira Sousa y Fernando Celso de Campos. «Lean manufacturing implementation: bibliometric analysis 2007–2018». En: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 101.1 (mar. de 2019), págs. 979-988. ISSN: 0268-3768, 1433-3015. DOI: 10.1007/s00170-018-2965-y.

- [9] Mariano Jiménez y col. «5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school». En: *Safety Science* 78 (oct. de 2015), págs. 163-172. ISSN: 09257535. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.04.022.
- [10] Jiménez y col. «Extension of the Lean 5S Methodology to 6S with An Additional Layer to Ensure Occupational Safety and Health Levels». En: *Sustainability* 11.14 (12 de jul. de 2019), pág. 3827. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su11143827.
- [11] Yasuhiro Monden. *Toyota Production System*. 2011, pág. 548.
- [12] Juan Francisco Pérez Herrera. *El concepto de desperdicio como se entiende en construcción esbelta*. 8 de jul. de 2020. URL: <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/el-concepto-de-desperdicio-como-se-entiende-en-construccion-esbelta>.
- [13] Peter Poór y Josef Basl. «Readiness of Companies in Relation to Industry 4.0 Implementation». En: Hradec Economic Days 2019. Ed. por Petra Maresova, Pavel Jedlicka e Ivan Soukal. 7 de feb. de 2019, págs. 236-248. DOI: 10.36689/uhk/hed/2019-02-024.
- [14] Monika Gadre y Dr Aruna Deoskar. «Industry 4.0 – Digital Transformation, Challenges and Benefits». En: *International Journal of Future Generation Communication and Networking* 13.2 (2020), pág. 11.
- [15] Ulyana A. Pozdnyakova y col. «Genesis of the Revolutionary Transition to Industry 4.0 in the 21st Century and Overview of Previous Industrial Revolutions». En: *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*. Ed. por Elena G. Popkova, Yulia V. Ragulina y Aleksei V. Bogoviz. Vol. 169. Series Title: Studies in Systems, Decision and Control. Cham: Springer International Publishing, 2019, págs. 11-19. ISBN: 978-3-319-94309-1 978-3-319-94310-7. DOI: 10.1007/978-3-319-94310-7_2.
- [16] Violetta N. Volkova y col. «System Analysis of Innovative Technologies of the Industrial Revolutions». En: *2018 Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO)s and Environments (ERGO)*. 2018 Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO). St. Petersburg: IEEE, jul. de 2018, págs. 57-61. ISBN: 978-1-5386-5612-9. DOI: 10.1109/ERGO.2018.8443813.
- [17] Research Scholar, Department of Mechanical Engineering, MMDU Mullana, Haryana, India. y col. «Evolution of Industrial Revolutions: A Review». En: *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 9.11 (30 de sep. de 2020), págs. 66-73. ISSN: 22783075. DOI: 10.35940/ijitee.I7144.0991120.

-
- [18] *Driving forces and barriers of Industry 4.0. Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?* | Elsevier Enhanced Reader. DOI: 10.1016/j.techfore.2019.05.021.
- [19] Hugo Karre y col. «Transition towards an Industry 4.0, State of the LeanLab at Graz University of Technology». En: *Procedia Manufacturing* 9 (2017), págs. 206-213. ISSN: 23519789. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.04.006.
- [20] Wilhelm Bauer y col. «Transforming to a Hyper-connected Society and Economy – Towards an “Industry 4.0”». En: *Procedia Manufacturing* 3 (2015), págs. 417-424. ISSN: 23519789. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.200.
- [21] Suhaib Ur Rehman y Shamoil Ejaz. «An implementation of 9 pillars of industry 4.0 in conventional footwear industry.» En: *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology* 04.12 (10 de mayo de 2020), págs. 283-286. ISSN: 24552143. DOI: 10.33564/IJEAST.2020.v04i12.047.
- [22] Gizem Erboz. *How to Define Industry 4.0: The Main Pillars Of Industry 4.0.*
- [23] Julen Iturbe-Ormaetxe. *5S digitales: productividad personal y de equipo. Team productivity in public administration.*
- [24] Morrakot Raweewan y Fumio Kojima. «Digital Lean Manufacturing - Collaborative University-Industry Education in Systems Design for Lean Transformation». En: *Procedia Manufacturing* 45 (2020), págs. 183-188. ISSN: 23519789. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.092.
- [25] Leonilde Varela y col. «Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability». En: *Sustainability* 11.5 (8 de mar. de 2019), pág. 1439. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su11051439.
- [26] Farhana Yamin, Jean-Marc Burniaux y Andries Nentjes. *Kyoto Mechanisms: Key Issues for Policy-makers for COP-6.*
- [27] Paul Tobin y col. «Mapping states’ Paris climate pledges: Analysing targets and groups at COP 21». En: *Global Environmental Change* 48 (ene. de 2018), págs. 11-21. ISSN: 09593780. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.002.
- [28] Luca Silvestri y col. «Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review». En: *Computers in Industry* 123 (dic. de 2020), pág. 103335. ISSN: 01663615. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103335.
- [29] Mohd Javaid y col. «Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability». En: *Sustainable Operations and Computers* 3 (2022), págs. 203-217. ISSN: 26664127. DOI: 10.1016/j.susoc.2022.01.008.

- [30] Foivos Psarommatis y col. «Zero-defect manufacturing the approach for higher manufacturing sustainability in the era of industry 4.0: a position paper». En: *International Journal of Production Research* 60.1 (2 de ene. de 2022), págs. 73-91. ISSN: 0020-7543, 1366-588X. DOI: 10.1080/00207543.2021.1987551.
- [31] Guilherme Luz Tortorella y col. *Analyzing the influence of organizational culture and leadership styles on the implementation of lean manufacturing*.
- [32] Erik Hofmann y Marco Rüsç. «Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics». En: *Computers in Industry* 89 (ago. de 2017), págs. 23-34. ISSN: 01663615. DOI: 10.1016/j.compind.2017.04.002.
- [33] A. Mayr y col. «Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0». En: *Procedia CIRP* 72 (2018), págs. 622-628. ISSN: 22128271. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.292.
- [34] Miguel Núñez-Merino y col. «Information and digital technologies of Industry 4.0 and Lean supply chain management: a systematic literature review». En: *International Journal of Production Research* 58.16 (17 de ago. de 2020), págs. 5034-5061. ISSN: 0020-7543, 1366-588X. DOI: 10.1080/00207543.2020.1743896.
- [35] Leonilde Varela y col. «Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability». En: *Sustainability* 11.5 (8 de mar. de 2019), pág. 1439. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su11051439.
- [36] Pedro José Martínez-Jurado y José Moyano-Fuentes. «Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review». En: *Journal of Cleaner Production* 85 (dic. de 2014), págs. 134-150. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.09.042.
- [37] José Díaz-Reza y col. «The Effect of SMED on Benefits Gained in Maquiladora Industry». En: *Sustainability* 8.12 (29 de nov. de 2016), pág. 1237. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su8121237.
- [38] Charbel José Chiappetta Jabbour y col. «Environmental management and operational performance in automotive companies in Brazil: the role of human resource management and lean manufacturing». En: *Journal of Cleaner Production* 47 (mayo de 2013), págs. 129-140. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.07.010.
- [39] Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour y col. «When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors». En: *Technological Forecasting and Social Change* 132 (jul. de 2018), págs. 18-25. ISSN: 00401625. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.01.017.

-
- [40] Ma Ga (Mark) Yang, Paul Hong y Sachin B. Modi. «Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms». En: *International Journal of Production Economics* 129.2 (feb. de 2011), págs. 251-261. ISSN: 09255273. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.10.017.
- [41] Giuseppe Ioppolo y col. «Industrial Ecology and Environmental Lean Management: Lights and Shadows». En: *Sustainability* 6.9 (15 de sep. de 2014), págs. 6362-6376. ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su6096362.
- [42] Joel James y col. «The impact of Kaizen on safety in modular home manufacturing». En: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 70.1 (ene. de 2014), págs. 725-734. ISSN: 0268-3768, 1433-3015. DOI: 10.1007/s00170-013-5315-0.
- [43] Julian M. Müller y Kai-Ingo Voigt. «Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025». En: *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* 5.5 (oct. de 2018), págs. 659-670. ISSN: 2288-6206, 2198-0810. DOI: 10.1007/s40684-018-0056-z.
- [44] *History of 3D Printing: When Was 3D Printing Invented?* All3DP. Library Catalog: all3dp.com Section: Basics. URL: <https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>.
- [45] H. Bikas, P. Stavropoulos y G. Chryssolouris. «Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review». En: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 83.1 (1 de mar. de 2016), págs. 389-405. ISSN: 1433-3015. DOI: 10.1007/s00170-015-7576-2.
- [46] *RepRap - RepRap*. URL: <https://reprap.org/wiki/RepRap>.
- [47] *VORON Design*. URL: <https://www.vorondesign.com/>.
- [48] Nicolás Olabarría García. *Diseño, síntesis y caracterización de un material compuesto extruible a base de micelio para bioimpresión*.
- [49] Gonzalo Borja Reyes Uzquiano. *Diseño y parametrización de una bioimpresora para material orgánico compuesto a base de micelio*.
- [50] *2020 Types of 3D Printing Technology*. All3DP. Library Catalog: all3dp.com Section: Basics. 7 de feb. de 2020. URL: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/>.
- [51] Sara Garzón Hernández. «Connecting 3D printing parameters and mechanical properties of FDM polymers: Experiments and modelling». En: (), pág. 162.

- [52] *Printing soluble interface supports with Prusa i3 MK2 Multi Material*. Prusa Printers. Library Catalog: blog.prusaprinters.org Section: Featured. 7 de ago. de 2017. URL: <https://blog.prusaprinters.org/printing-soluble-interface-supports-prusa-i3-mk2-multi-material/>.
- [53] *ISO/ASTM 52900:2021(en), Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-2:v1:en>.
- [54] *2020 Most Common 3D Printer File Formats*. All3DP. Library Catalog: all3dp.com Section: Basics. 13 de feb. de 2020. URL: <https://all3dp.com/1/3d-printer-file-format/>.
- [55] *The Ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing (Updated for 2019)*. Formlabs. Library Catalog: formlabs.com. URL: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>.
- [56] *SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers*. Formlabs. Library Catalog: formlabs.com. URL: <https://formlabs.com/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/>.
- [57] *Multi Jet Fusion*. Materialise. Library Catalog: www.materialise.com. URL: <https://www.materialise.com/es/manufacturing/tecnologia-de-impresion-3d/multi-jet-fusion>.
- [58] *HP MJF vs. SLS: A 3D Printing Technology Comparison*. 3D Hubs. URL: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/hp-mjf-vs-sls-3d-printing-technology-comparison/>.
- [59] N. Sukdeo. «The application of 6S methodology as a lean improvement tool in an ink manufacturing company». En: *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Singapore: IEEE, dic. de 2017, págs. 1666-1671. ISBN: 978-1-5386-0948-4. DOI: 10.1109/IEEM.2017.8290176.
- [60] *Industrie 4.0-Readiness-Check*. URL: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>.
- [61] K.E.K. Vimal y S. Vinodh. «Development of checklist for evaluating sustainability characteristics of manufacturing processes». En: *International Journal of Process Management and Benchmarking* 3.2 (2013). PMID: 57726, págs. 213-232. DOI: 10.1504/IJPMB.2013.057726. eprint: <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJPMB.2013.057726>. URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPMB.2013.057726>.

- [62] Emilio Folqué Brier. *Propuesta de implementación de la metodología LEAN 6S en un laboratorio de fabricación aditiva bajo criterios de sostenibilidad e industria 4.0.*
- [63] Marta Villasante Angulo. *Metodología para la auditoría de situación, de aplicación e implantación LEAN en un laboratorio industrial.*
- [64] Patricia Martínez, Vicente González y Eduardo Da Fonseca. *Integración conceptual Green-Lean en el diseño, planificación y construcción de proyectos.* 2009.
- [65] K Mahlaha, N Sukdeo y V Mofokeng. «A Lean 7S methodology framework to improve efficiency and organizational performance: A review study in an SME organization». En: (2020), pág. 9.

BIBLIOGRAFÍA
