



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Cátedra de Prevención y
Responsabilidad Social Corporativa

La Ingeniería de la Resiliencia para la mejora de la cultura preventiva en el sector de la construcción



Instituto Andaluz de Prevención de Riesgos Laborales
**CONSEJERÍA DE EMPLEO,
FORMACIÓN Y TRABAJO AUTÓNOMO**

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS	9
3. MARCO TEÓRICO.....	10
3.1 Evolución de la seguridad y los modelos de accidentes	10
3.2 Ingeniería de la Resiliencia y Método de Análisis de la Resonancia Funcional .	15
3.2.1 Nueva concepción de la seguridad: de Safety-I a Safety-II	16
3.2.2 “Trabajo imaginado” y “Trabajo realizado”	18
3.2.3 Principio de ETTO.....	19
3.2.4 Principios del Análisis de la Resonancia Funcional.....	19
3.2.5 Potenciales o habilidades para el desempeño resiliente	23
3.3 El sector de la construcción y la Ingeniería de la Resiliencia	24
3.4 Cultura de seguridad o cultura preventiva	25
4. METODOLOGÍA.....	29
3.4.1 Método de Análisis de Resonancia Funcional.....	31
3.4.2 Método de Decisión Crítica	34
5. APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA DE LA RESILIENCIA PARA LA MEJORA DE LA CULTURA PREVENTIVA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	36
6.1 Análisis de la Resonancia Funcional en las actividades de construcción	36
6.1.1 Descripción de los trabajos de construcción de estructuras	36
6.1.2 Análisis de la variabilidad y de su propagación en actividades de construcción de estructuras.....	42
6.2 Análisis de eventos inesperados y determinación de señales débiles en los trabajos con la grúa.....	51
6.2.1 Descripción de la grúa y del trabajo del gruista	52
6.2.2 Análisis de situaciones imprevistas en trabajos con la grúa	56
6.3 Propuestas de mejoras en materia de Cultura Preventiva	64
6. Conclusiones	70

Agradecimientos.....	70
Referencias	71
ANEXO.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Los tres grandes modelos de accidentes: principios y propósitos	12
Tabla 2. Revisión de la literatura científica sobre la aplicación del FRAM en el sector de la construcción.....	25
Tabla 3. Funciones del modelo FRAM desarrollado.....	43
Tabla 4. Variabilidad de la función <Disponer de la grúa>	45
Tabla 5. Variabilidad de la función <Instalar protecciones colectivas/individuales>.....	45
Tabla 6. Variabilidad de la función <Recibir el hormigón en la obra>	46
Tabla 7. Datos generales de los operadores de grúa entrevistados.....	57
Tabla 8. Clasificación de situaciones imprevistas	57
Tabla 9. Categorías de situaciones imprevistas	59
Tabla 10. Clasificación de situaciones imprevistas Potenciales (P) y No Imaginadas (NI)	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Edades de la Seguridad y Modelos de Accidentes.....	10
Figura 2. Modelo del Dominó de Heirinch	12
Figura 3. Modelo del Queso Suizo de Reason	13
Figura 4. Resonancia funcional como modelo sistémico de accidente	14
Figura 5. Proporción de resultados previstos y adversos en el desempeño	17
Figura 6. Principios sobre los que se sustenta el FRAM	20
Figura 7. Las cuatro habilidades para la resiliencia.....	23
Figura 8. La Resiliencia definida por los potenciales, la cultura y la estructura organizativa	28
Figura 9. Métodos aplicados en el presente estudio	29
Figura 10. Etapas del Método de Análisis de la Resonancia Funcional	31
Figura 11. Aspectos de una función en el FRAM	32
Figura 12. Pasos del Método de Decisión Crítica.....	35
Figura 13. Armaduras de arranque sobre losa de cimentación	37
Figura 14. Replanteo de pilar con azulete.....	37
Figura 15. Aplicación de desencofrante a los paneles de encofrado de pilares.....	38
Figura 16. Hormigonado de pilar con cubilete	39
Figura 17. Línea de vida y redes bajo forjado	40
Figura 18. Elaboración de elementos estructurales de ferralla in situ.....	40
Figura 19. Desencofrado parcial de la planta.....	41
Figura 20. Modelo FRAM para la construcción de estructuras de forjado reticular con casetones prefabricados en edificación residencial	44
Figura 21. Propagación de la variabilidad de la función <Disponer de la grúa>	47
Figura 22. Propagación de la variabilidad de la función <Instalar protecciones colectivas/individuales>	48
Figura 23. Componentes de una Grúa Torre Desmontable.....	54
Figura 24. Situación Potencial de la categoría de cables	61
Figura 25. Situación no imaginada de la categoría de Organización del trabajo	62
Figura 26. Situación no imaginada de la categoría de Problemas con Cargas.....	62
Figura 27. Situación no imaginada de la categoría de varios	63

RESUMEN

El sector de la construcción continúa siendo uno de los sectores prioritarios en materia de seguridad y salud debido a sus elevados índices de siniestralidad. Entre las estrategias para su mejora, además de acciones dirigidas a las condiciones de trabajo y al error humano, la mejora de la gestión de la seguridad y salud es, a partir de Reason, clave al pasar de un enfoque secuencial a un enfoque epidemiológico donde los fallos en gestión se consideran de importancia fundamental.

En este sentido, la mayoría de autores coincide en que el mejor impulso para la gestión de la prevención se realiza a través de la mejora de la Cultura Preventiva. Pero la Cultura Preventiva como “forma sostenida y estable de ejercer la gestión y supervisión de la empresa, acorde con los valores de la salud y la seguridad, generando un clima favorecedor del comportamiento preventivo de todos los individuos de la organización, reconociendo los éxitos y aprendiendo de los errores”, puede encararse de diferentes maneras, y la Ingeniería de la Resiliencia se ve como la herramienta más eficaz y eficiente a través de la mejora del desempeño de las organizaciones mediante la identificación de la variabilidad de las funciones críticas y el fortalecimiento de los cuatro potenciales que propugna: Responder, Monitorizar, Aprender y Anticiparse.

El objetivo de este proyecto es analizar procesos o actividades del sector de la construcción con especial potencial de peligrosidad, con el fin de definir estrategias para la mejora de la cultura preventiva en el sector. Concretamente, este proyecto se ha centrado en la ejecución de estructuras de forjado reticular en edificación residencial y en los operadores de grúa. Para ello, se ha contado con la participación de varias empresas constructoras y se ha partido del análisis de dicho proceso mediante la aplicación del Funtional Resonance Analisis Method (FRAM), con el objetivo de detectar los orígenes de variabilidad en el desempeño, su agregación y propagación en las actividades de construcción de estructuras. Posteriormente, por su especial importancia, se han analizado los eventos inesperados más comunes en el caso de los trabajos vinculados a la grúa, mediante la técnica del Método de la Decisión Crítica, para finalizar definiendo las principales estrategias para la mejora de los potenciales para la resiliencia, y por ende, para la mejora de la cultura preventiva.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción ha sido tradicionalmente un sector de especial peligrosidad y ha presentado una elevada siniestralidad con respecto a otros sectores de actividad. Aunque se han realizado esfuerzos para mejorar esta situación, los resultados obtenidos no han sido todo lo positivos que se esperaba, y hoy día el sector de la construcción sigue siendo uno de los más peligrosos, tal y como reflejan los datos disponibles.

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), en su último análisis de las actividades prioritarias en función de la siniestralidad, pone de manifiesto que las actividades de construcción de edificios, así como las actividades de construcción especializada, se encuentran dentro de las más peligrosas junto a otras como agricultura, ganadería, caza y servicios relacionados o transporte terrestre y por tubería. De este modo, estas actividades presentan una mayor y más grave siniestralidad laboral, a la vez que cuentan con un mayor número de población trabajadora (INSST, 2018a).

En este sentido, en el último informe anual de accidentes de trabajo en España del año 2017, se destaca que el sector de la construcción supera en más del doble la media de los índices sectoriales de incidencia, siendo de este modo el sector con mayor índice de incidencia, alcanzando éste un valor de 7.645,6 (INSST, 2018b).

Si se consultan las estadísticas europeas los resultados son similares. Así, más de uno de cada cinco accidentes mortales en el trabajo dentro de la EU-28 tuvieron lugar en el sector de la construcción (Eurostat, 2019).

En Andalucía la situación que encontramos está en línea con los resultados ya presentados. De este modo, la Estadística de Accidentes de Trabajo en Andalucía en 2017 señala que “la construcción sigue siendo un año más el sector que registra la mayor incidencia con 8.722,4 accidentes por cada cien mil personas trabajadoras” (Dirección General de Relaciones Laborales y Seguridad y Salud Laboral, 2019).

En base a todo ello, se puede afirmar que la necesidad de seguir avanzando en la mejora de la seguridad y salud laboral en el sector de la construcción es evidente. De hecho, la Estrategia Andaluza de Seguridad y Salud en el Trabajo 2017-2022 incluye a la construcción de edificios dentro de la ramas de actividad de atención preferente (Consejería de Empleo, Formación y Trabajo Autónomo, 2017). De igual modo, la

Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2015-2020 considera prioritario el desarrollo de acciones en las ocupaciones de alta siniestralidad, como las del sector de la construcción, especialmente en cuanto al análisis y evaluación de las causas y factores, entre otras cuestiones. Además, esta Estrategia reconoce que “la investigación sigue siendo una de las grandes debilidades del sistema preventivo” (INSHT, 2015).

Por ello, entre otras medidas, es importante el desarrollo de estudios centrados en la gestión de la seguridad y salud laboral en la construcción que permitan comprender mejor el desempeño de estas actividades y los mecanismos que conducen a los accidentes. De este modo, se favorecerá el desarrollo de medidas eficaces que contribuyan a la mejora de la gestión de la seguridad y salud laboral y por ende al fortalecimiento de la cultura de seguridad.

En este contexto, parece adecuado tratar de abordar el problema desde nuevos puntos de vista que aporten una visión renovada y permitan analizar las actividades de construcción con un enfoque diferente al que se ha empleado tradicionalmente. Así, el presente estudio tiene por objeto analizar las actividades de ejecución de estructuras de hormigón para edificios, con el fin de definir estrategias para la mejora de la cultura preventiva en el sector. Para ello, se aplicará un nuevo paradigma de la seguridad: la Ingeniería de la Resiliencia. Ésta innovadora visión de la seguridad va un paso más allá de los modelos y teorías existentes hasta el momento y pretende redefinir el concepto de seguridad para poner el foco de atención en el éxito diario y fortalecer las capacidades de los trabajadores para conseguir desempeñar su trabajo de forma segura, controlando las desviaciones y evitando que se produzcan accidentes. A través de este conocimiento del día a día de las actividades de construcción y de la mejora del desempeño, la aplicación de la Ingeniería de la Resiliencia se presenta como un mecanismo para gestionar, mejorar y reforzar la cultura de seguridad, al poner en el centro de análisis a los trabajadores y la organización como un todo, es decir, como un sistema socio-técnico complejo.

2. OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es mejorar la cultura preventiva en actividades potencialmente peligrosas en obras de construcción.

Como objetivos operativos se plantean:

- 1) Mejorar el desempeño y la gestión de la prevención en las obras, mediante el nuevo paradigma de la ingeniería de la resiliencia.

- 2) Mejorar la cultura preventiva en las obras, mediante la ingeniería de la resiliencia.

El proyecto que se presenta tiene el objetivo de definir acciones clave en procesos peligrosos de la construcción para mejorar dichos potenciales para que el desempeño sea más resiliente y por tanto se mejore la cultura de seguridad, mediante la aplicación del novedoso método FRAM.

Con el propósito de alcanzar una adecuada consecución de estos objetivos, durante la primera etapa del proyecto se estableció el alcance del mismo. Para ello, se definieron específicamente qué actividades, dentro de los diferentes procesos o tareas que se enmarcan en el sector de la construcción, serían objeto de estudio. Tras un análisis en profundidad, se definieron como actividades objeto de estudio las actividades de ejecución de estructuras de hormigón en edificación residencial por su potencial peligrosidad. Concretamente se han estudiado las tareas de ejecución de estructuras de forjado reticular con casetones prefabricados en edificación residencial. En este sentido, cabe destacar que, en el último informe del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo donde se reflejaban los datos de accidentabilidad por fases de obra, la fase de “estructuras y obras de fábrica” era la más peligrosa con un 17,25% del total de accidentes mortales investigados. Además, este mismo informe destacaba como las tareas de “nueva construcción de edificios” suponían un 39,34% de los fallecidos del sector (INSHT, 2008).

Posteriormente, y en base a los resultados obtenidos de este análisis de las actividades de construcción de estructuras se analizaron las tareas realizadas por el operador de grúa dado su especial impacto en el desempeño y la gestión de la prevención en las obras y por ende en la cultura de seguridad.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Evolución de la seguridad y los modelos de accidentes

La preocupación del hombre por los riesgos de su entorno que podrían poner en peligro su vida o su salud ha existido desde el comienzo de la humanidad. Sin embargo, el ser humano y su entorno han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Así, los avances tecnológicos, el incremento de la calidad de vida y la transformación de las necesidades humanas han tenido un impacto en la forma de percibir e interpretar la seguridad.

Según Hale y Hovden (1998) pueden diferenciarse tres etapas en la evolución de la gestión de la seguridad en el trabajo que están reflejadas en la Figura 1. Dichas etapas o edades de la seguridad muestran cómo ha evolucionado la seguridad y en qué aspectos se ha ido poniendo el foco de interés a lo largo de los años.

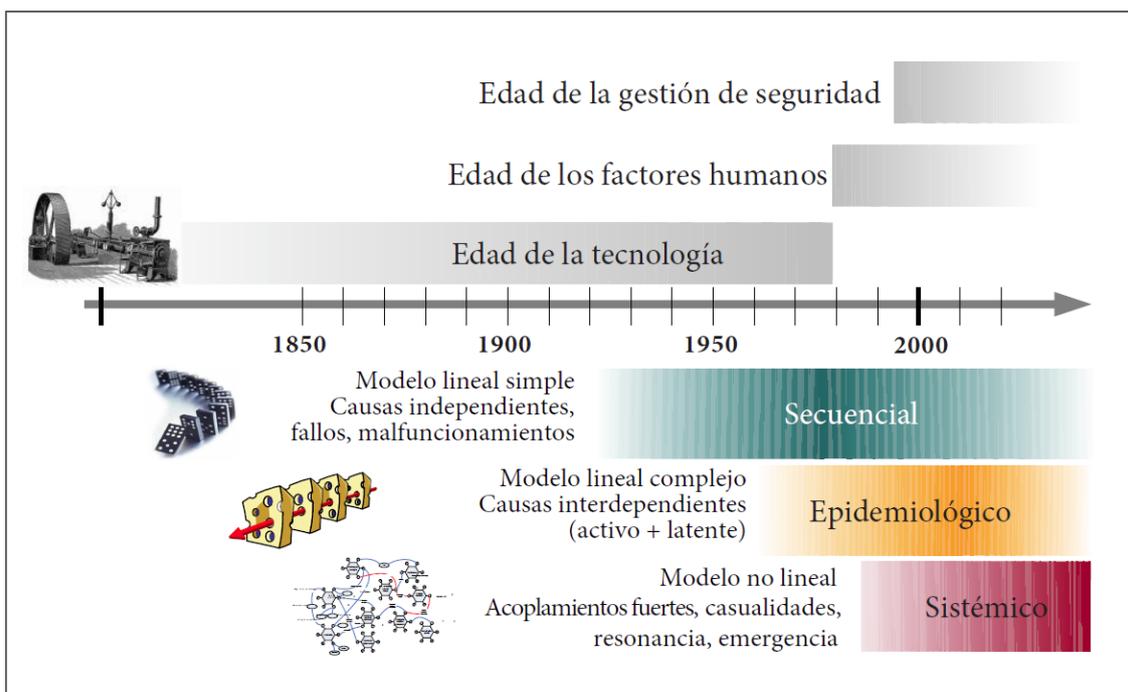


Figura 1. Edades de la Seguridad y Modelos de Accidentes
(Adaptado de Hollnagel, 2010)

Durante la primera revolución industrial se comenzó a despertar el interés por el estudio de la seguridad en el entorno laboral. Este interés se vio incrementado con la llegada de la segunda revolución industrial, ya que en aquel momento la tecnología empleada en la producción presentaba un grado de fiabilidad y eficiencia bajo y por ello, era habitual que se produjeran fallos, incidentes o accidentes como consecuencia de un funcionamiento incorrecto de las máquinas o instalaciones. Por este motivo, los estudios

de seguridad centraban sus esfuerzos en la tecnología y las mejoras de las condiciones físicas de trabajo.

Posteriormente, en los años 70 comienzan a surgir estudios basados en el error humano y la ergonomía. En este sentido, destaca especialmente el accidente en la planta nuclear de Three Mile Island en 1979, el cual puso de manifiesto la importancia del factor humano. Así, la mejora de la seguridad se focalizó en el estudio del error humano y dio lugar a la segunda edad de la seguridad. Se desarrollaron a partir de entonces métodos de análisis de la fiabilidad humana (siglas en inglés HRA) y se incluyeron dentro de las medidas preventivas la selección de personal, la formación o la motivación (Hale & Hovden, 1998).

No obstante, en ese periodo se produjeron múltiples accidentes, como por ejemplo el accidente de los dos Boing 747 en Tenerife (1977), el del Challenger (1986) o el de Chernobyl (1986), que pusieron de manifiesto la necesidad de ir más allá del factor humano y seguir avanzando en el estudio y la mejora de la seguridad (Hollnagel, 2014). Esto dio lugar a que en los años 90 llegara la tercera edad de la seguridad donde los esfuerzos se centraban la gestión de sistemas desde un punto de vista organizacional abordando el estudio de los errores organizacionales y el desarrollo de estrategias para mejorar la gestión de la seguridad y la Cultura de la Seguridad.

Desde entonces las organizaciones han ido incrementando su nivel de complejidad, especialmente con la llegada de la cuarta revolución industrial en la que estamos inmersos. La llegada de nuevas tecnologías como el big data, la computación en la nube, el internet de las cosas, la inteligencia artificial, los sistemas ciberfísicos, el blockchain, la impresión 3D, la realidad virtual y aumentada, la 5G o los robots colaborativos está dando lugar a una transformación de las organizaciones y los entornos de trabajo. Estas nuevas organizaciones de trabajo, no solo son más complejas, sino que están más interrelacionadas. De esta manera, la estructura de las organizaciones se transforma desde una estructura jerarquizada a una estructura de conexiones verticales en forma de red. Todo ello ha provocado que las empresas y la organización del trabajo en sí se conviertan sistemas socio-técnicos complejos donde el factor humano y la tecnología se relacionan mediante complejas interacciones sinérgicas, dinámicas y no lineales.

Para dar respuesta a este cambio del entorno laboral, las teorías y los conceptos asociados a la seguridad han seguido evolucionando y han empezado a cobrar fuerza escuelas de pensamiento como las basadas en organizaciones de alta fiabilidad (siglas

en inglés HRO) o nuevos paradigmas como la Ingeniería de la Resiliencia, la cual es abordada en profundidad más adelante.

Por otro lado, tal y como se refleja en la Figura 1, asociado a esta evolución de la seguridad a través de diferentes edades, se ha producido una evolución de los modelos de accidentes que también han ido cambiando para adaptarse a la evolución que han sufrido los sistemas y organizaciones en el entorno de trabajo. En la Tabla 1 se presentan los diferentes modelos de accidentes que han ido surgiendo a lo largo del tiempo y se describen sus principales características y conceptos asociados.

	Tipos de relaciones	Principios Básicos	Propósito de investigación	Foco de las recomendaciones
Modelos secuenciales	Lineales simples	Causalidad (Individual o múltiples causas)	Encontrar causas específicas y enlaces causa- efecto	Eliminar causas y enlaces. Mejorar las respuestas
Modelos epidemiológicos	Lineales complejas	Dependencias ocultas	Encontrar combinaciones de actos inseguros y condiciones latentes	Fortalecer barreras y defensas. Mejorar la observación (de indicadores)
Modelos sistémicos	No lineales	Acoplamientos dinámicos, resonancia funcional	Encontrar acoplamientos fuertes e interacciones complejas	Monitorizar y controlar la variabilidad del desempeño. Mejorar la anticipación

Tabla 1. Los tres grandes modelos de accidentes: principios y propósitos (Adaptado de Hollnagel, 2011)

Inicialmente, los primeros modelos de accidentes que se emplearon fueron los modelos secuenciales. Éstos son modelos lineales simples que describen el accidente como una sucesión de causas y efectos que ocurren de manera secuencial o lineal. Conforme a este enfoque la prevención de accidentes se centra en eliminar las causas o cortar los enlaces causa-efecto. Dentro de ellos destaca especialmente la teoría del dominó de Heinrich (1931), que se presenta en la Figura 2.

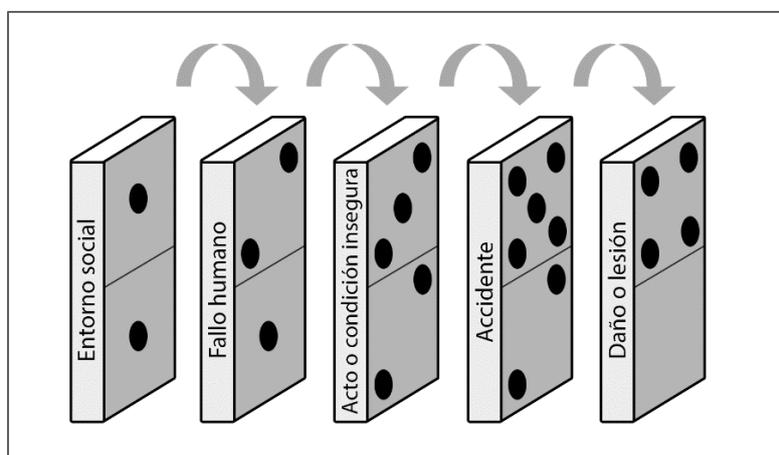


Figura 2. Modelo del Dominó de Heirinch (Heinrich, 1931)

Posteriormente, los modelos de accidentes incrementaron su complejidad y surgieron los modelos epidemiológicos que son modelos lineales complejos donde los accidentes son considerados como el resultado de una combinación de fallos activos o actos inseguros y condiciones latentes o condiciones inseguras. Así, las insuficiencias de los sistemas o condiciones latentes son las causas base del accidente que se ven activadas por actos inseguros (Arévalo Sarrate, 2016). Según este enfoque para prevenir los accidentes hay que encontrar las causas de los accidentes y eliminarlas o fortalecer barreras y defensas que corten la secuencia que conduce al accidente. Dentro de este tipo de modelos destaca el modelo del queso suizo de Reason (1990) que se muestra en la Figura 3.

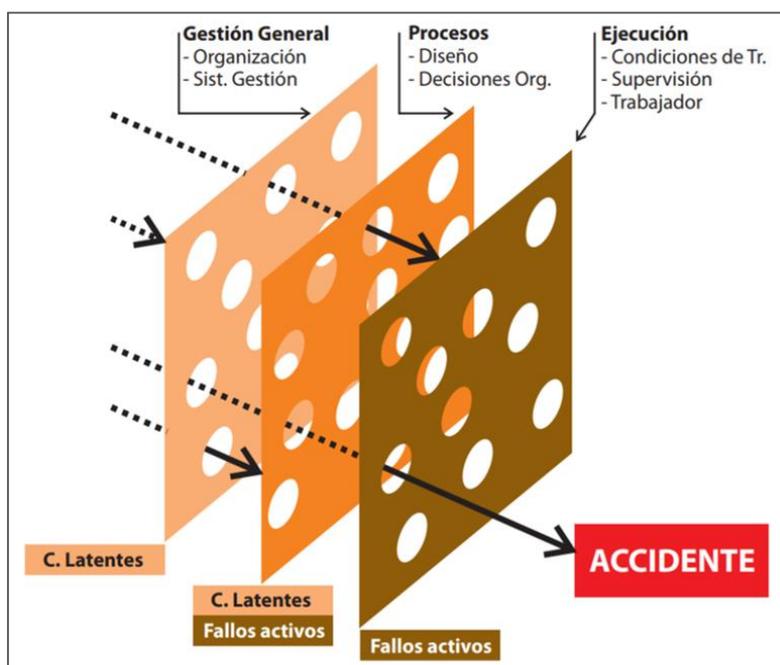


Figura 3. Modelo del Queso Suizo de Reason (Arévalo Sarrate, 2016)

En las últimas décadas, tal y como se ha expuesto anteriormente, los sistemas y organizaciones en el entorno de trabajo han sufrido una transformación importante. Esta evolución de los sistemas tiene como consecuencia una evolución en la forma en la que se producen los accidentes. Esto ha dado lugar a que los modelos de accidente lineales, tanto simples como complejos, no sean capaces de describir y adaptarse adecuadamente a la realidad actual, de ahí la necesidad de nuevos modelos que permitan comprender la nueva realidad de los accidentes desde una visión sistémica. Por ello, han surgido los modelos sistémicos que son modelos no lineales donde el accidente emerge de los acoplamientos y de las interacciones complejas que se dan en los sistemas.

Destaca en este contexto, el modelo jerárquico de los sistemas socio-técnicos implicados en la gestión del riesgo de Rasmussen (1997) sobre el que se fundamenta el Accimap que es una técnica basada en sistemas para el análisis de accidentes, específicamente para analizar las causas de accidentes e incidentes que ocurren en sistemas sociotécnicos complejos (Svedung and Rasmussen, 2002).

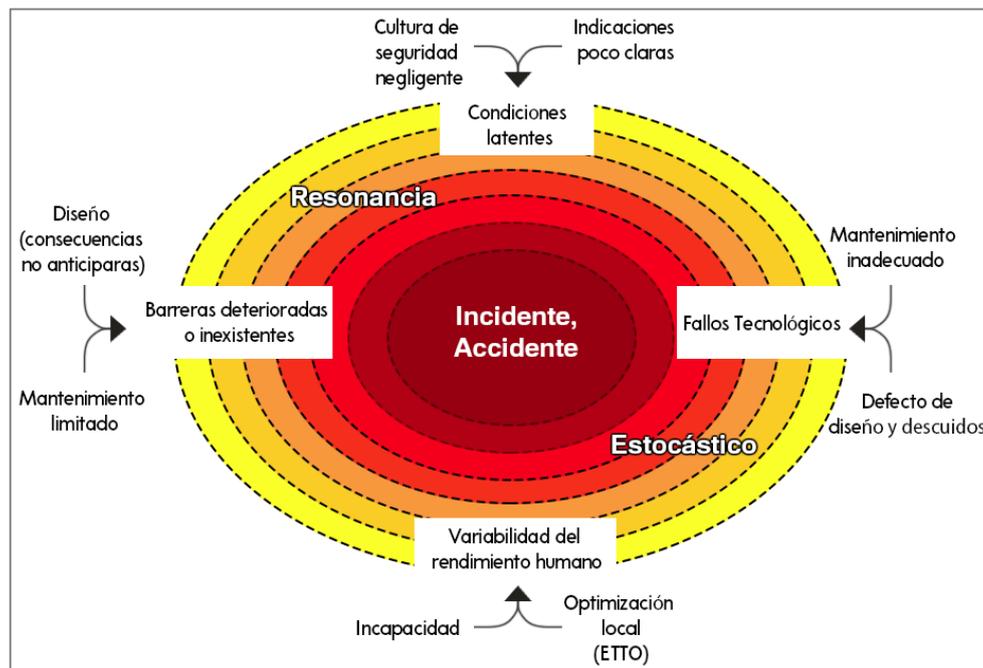


Figura 4. Resonancia funcional como modelo sistémico de accidente (Hollnagel, 2009a)

En línea con este enfoque sistémico, surgen otros nuevos métodos como el método de análisis del error y la fiabilidad cognitiva conocido por sus siglas en inglés como CREAM (Hollnagel, 1998). El CREAM se enmarca dentro de un nuevo enfoque denominado Ingeniería de Sistemas Cognitivos (siglas en inglés CSE). Este nuevo enfoque en seguridad se centra en el análisis del trabajo y del error humano que se enmarca en un contexto de sistemas hombre-máquina. La ingeniería de sistemas cognitivos sugiere que no podemos entender lo que sucede cuando las cosas van mal sin entender lo que sucede cuando las cosas van bien (Hollnagel and Woods, 2006). Este nuevo enfoque es la antesala de la Ingeniería de la Resiliencia que surge años después como un nuevo paradigma de la gestión de la seguridad. Así, la Ingeniería de la Resiliencia propone que los accidentes en los sistemas socio-técnicos complejos no pueden ser explicados mediante relaciones causales ni lineales, ya que no son eventos resultantes, sino que son emergentes.

Asociado a esta idea nace el concepto de Resonancia Funcional como modelo sistémico de accidente, que se muestra en la Figura 4, y en él se fundamenta el Método de Análisis de Resonancia Funcional o Functional Resonance Analysis Method (FRAM). Este

método permite el análisis de accidentes desde un enfoque sistémico y permite obtener un modelo de accidente adaptado a cada caso objeto de estudio. Además en el marco de la Ingeniería de la resiliencia surgen otros modelos de accidentes como el STAMP fue propuesto por Levenson (2004) y en él los sistemas socio-técnicos son vistos como sistemas dinámicos que se adaptan continuamente para alcanzar el resultado deseado. La seguridad se estudia como un problema de control.

Finalmente, antes de iniciar un recorrido más profundo por Ingeniería de la Resiliencia y algunos conceptos que se desprenden de ella como Safety-I y Safety-II o el FRAM cabe puntualizar que estos tres modelos presentados no son mutuamente excluyentes, sino que cada uno de ellos puede ser válido dependiendo las situaciones que son objeto de estudio. Es decir, pueden darse situaciones simples, donde no existen relaciones sistémicas complejas, en las cuales los modelos lineales podrían seguir siendo efectivos.

3.2 Ingeniería de la Resiliencia y Método de Análisis de la Resonancia Funcional

En las últimas décadas, la Ingeniería de la Resiliencia ha nacido como *“una disciplina centrada en las capacidades de adaptación humanas que reconoce que los resultados, tanto aceptables como adversos, tienen una base común: la variabilidad diaria del desempeño”* (Patriarca et al., 2018). Así la Ingeniería de la Resiliencia puede definirse como *“un paradigma de gestión de la seguridad que se centra en cómo ayudar a las personas a lidiar con la complejidad bajo presión para lograr el éxito”* (Woods and Hollnagel, 2006).

Es importante definir el concepto de resiliencia empleado en este contexto, ya que dicho término está siendo utilizado en diferentes ámbitos como la psicología, la física, la ecología, las emergencias, etc. y por ello pueden encontrarse distintos matices en su definición según las fuentes que sean consultadas. Conforme a la Ingeniería de la Resiliencia el concepto de Resiliencia se entiende como *“capacidad intrínseca de una organización (sistema) para mantener o recuperar un estado dinámicamente estable, lo que le permite continuar con las operaciones después de un contratiempo importante y/o en presencia de una presión continua”* (Hollnagel et al., 2006). Así, en el ámbito de la gestión de la seguridad se entenderá como resiliencia la capacidad de una organización para adaptarse a las desviaciones y contratiempos que surjan y lograr que alcanzar un resultado aceptable en su desempeño diario. De este modo, se va un paso

más allá y no se limita la resiliencia a la capacidad de recuperación sino que se vincula a la capacidad de adaptación para evitar que los fallos, incidentes o accidentes sucedan.

Para la Ingeniería de la Resiliencia dos aspectos claves sobre los que se sustenta son los ajustes y la variabilidad en el desempeño y la emergencia de los accidentes. Por un lado, los procedimientos e instrucciones son incompletos debido a la complejidad y por ello, los ajustes son una condición sine qua non. Por ello, la variabilidad debe ser vista como algo necesario para el funcionamiento de los sistemas y no debe ser constreñida, simplemente debe ser comprendida y amortiguada (Rubio-Romero et al., 2019). Por otro lado, los eventos no deseados como son los accidentes no pueden ser explicados mediante relaciones causales, ya que no son resultantes, sino que emergen del desempeño diario, cuando en raras ocasiones no se controlan las condiciones de desempeño (Hollnagel et al., 2006).

Otro aspecto característico de la Ingeniería de la Resiliencia es que redefine el concepto de seguridad diferenciando entre Safety-I y Safety-II, plantea un salto entre el trabajo imaginado y el trabajo realizado, propone el principio del balance entre eficiencia y minuciosidad sobre el que se apoya el desempeño diario y establece cuatro habilidades que las organizaciones deben fortalecer para conseguir un desempeño resiliente. Cada una de estas cuestiones serán abordadas a continuación en los siguientes subapartados y son esenciales para entender el nuevo enfoque propuesto por la Ingeniería de la Resiliencia.

3.2.1 Nueva concepción de la seguridad: de Safety-I a Safety-II

En el apartado 3.1. se analizó la evolución de las edades de la seguridad y se presentaron los diferentes modelos de accidentes que han ido surgiendo con el paso del tiempo. Sin embargo, hay que destacar como el estudio de la seguridad se ha centrado tradicionalmente en la comprensión de los accidentes y las causas que los provocan. En consecuencia, independientemente de que el interés estuviera en aspectos tecnológicos, humanos u organizacionales el concepto de seguridad se mantenía invariante, ya que se seguía definiendo la seguridad como la ausencia de riesgos o accidentes e incluso hoy día muchos siguen definiéndola desde este enfoque. La Ingeniería de la Resiliencia pretende incidir en el pensamiento sobre el concepto de seguridad y cambiar su definición para pasar a enfocarla en las cosas que salen bien (Hollnagel, 2014). Para ello, la Ingeniería establece los conceptos de Safety-I y Safety-II.

La Safety-I es el concepto tradicional de seguridad que se focaliza en estudiar y evitar las cosas que salen mal, es decir, fallos, incidentes o accidentes. La seguridad conforme a la Safety-I se entiende como la “ausencia de las cosas que fallan”. Paradójicamente se está definiendo la seguridad por su opuesto. Según este enfoque solo se aprende cuando ocurre “algo”, es decir, cuando se producen eventos adversos como fallos, incidentes o accidentes. Así, el enfoque de la seguridad es un enfoque retrospectivo que mira hacia el pasado, hacia las cosas que han salido mal. Por ello, se basa en el concepto “encontrar y arreglar” (“find-and-fix”), y el eje central de la seguridad son los eventos adversos y sus causas.

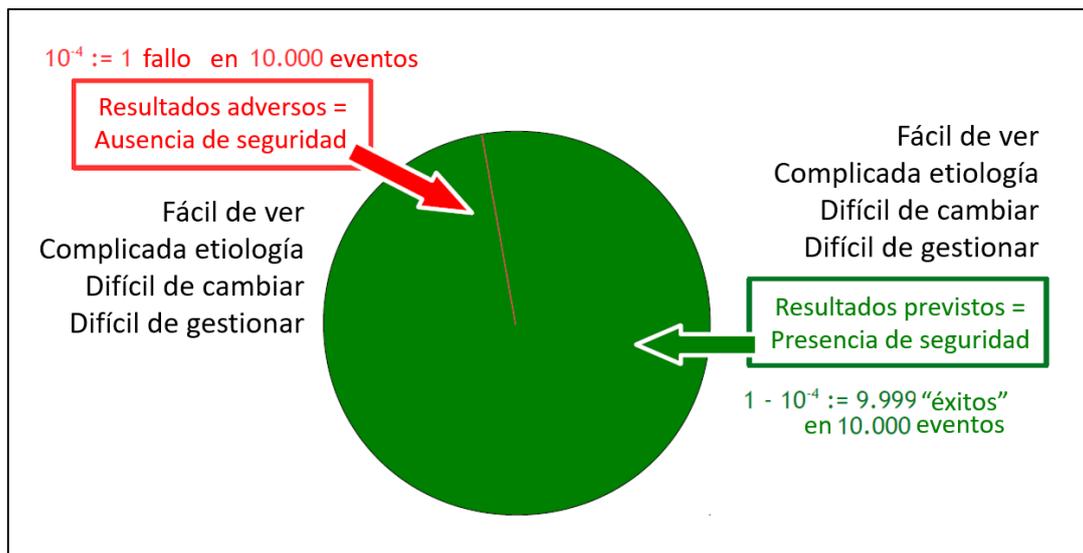


Figura 5. Proporción de resultados previstos y adversos en el desempeño (Hollnagel, 2017a)

No obstante, si se analiza el desempeño diario se encuentra que son muchas más las veces que una operación se realiza y su resultado es el esperado que las veces que se realiza dicha operación y su resultado es adverso. Tal y como se muestra en la Figura 5, según Hollnagel (2017) se da un fallo cada 9.999 veces que se realiza una operación y se obtiene el resultado esperado. Sin embargo, la Safety-I deshecha la esas 9.999 y pone su foco solo en la vez que algo salió mal.

En este contexto surge la Safety-II que se focaliza en estudiar y evitar las cosas que salen bien. La seguridad conforme a la Safety-I se entiende como la “presencia de cosas que van bien”. Ahora el foco de atención no está en estudiar las cosas que salen mal sino en entender cómo salen bien y cómo se alcanza el éxito en el desempeño diario. Esto no quiere decir que la Safety-II obvie el estudio de las cosas que salen mal, sino que la Safety-II se centra en la ejecución diaria de las tareas, es decir, en las 9.999 veces que algo salió bien y en la vez que algo salió mal. En consecuencia, también se

aprende cuando no sucede “nada”. Esta comprensión de cómo se realizan las tareas y operaciones en el día a día es la base para fortalecer y mejorar el desempeño diario. Si una organización es capaz de llevar a cabo un desempeño resiliente será capaz de adaptarse a la variabilidad de las condiciones de ejecución. De este modo, se estarán previniendo tanto los eventos adversos, que son previsibles porque han ocurrido o porque podemos imaginarlos, como los eventos adversos, que no son previsibles o imaginables. Así, el enfoque de la Safety-II es un enfoque proactivo que no solo se basa en eventos pasados, sino que intentar comprender y predecir el funcionamiento del sistema para actuar antes de que las cosas ocurran y controlar la variabilidad evitando los eventos no deseados. Por último, hay que destacar que en la gestión resiliente de la seguridad se entiende que aspectos vinculados al desempeño de las organizaciones como son la productividad, la calidad o la seguridad no pueden estudiarse por separado porque son inseparable y dependen de cómo se hacen las cosas en el día a día.

3.2.2 “Trabajo imaginado” y “Trabajo realizado”

En línea con el apartado anterior se presentan dos nuevos conceptos que nacen en el marco de la Ingeniería de la Resiliencia y de la visión de la seguridad de la Safety-II. Estos conceptos son el “trabajo imaginado” y “trabajo realizado” que ponen de manifiesto las diferencias que existen entre el trabajo tal y como es diseñado, planeado y estructurado y el trabajo cuando es ejecutado o llevado a cabo.

El “trabajo imaginado” podría definirse como la forma previamente ideada según la cual el trabajo debería realizarse. Por lo tanto, es la forma “ideal” en la que el trabajo debería llevarse a cabo. Sin embargo, hay que considerar varias cuestiones en este sentido. Por un lado, normalmente las personas que diseñan el trabajo o definen las directrices y procedimientos que deben seguirse no son las personas que llevan a cabo el trabajo en la realidad. Por otro lado, las condiciones de desempeño y el entorno en general son cambiantes, e incluso a veces imprevisibles, por lo que las condiciones de ejecución casi nunca son ideales. Así es habitual realizar variaciones sobre los procedimientos y directrices para poder casar lo ideado con la realidad.

Surge entonces el “trabajo realizado” como la forma habitual de llevar a cabo el trabajo en la realidad del día a día. Este “trabajo realizado” es la consecuencia de la variabilidad en con la que lidian lo trabajadores cada día y de que en muchas ocasiones los procedimientos son incompletos, ya que es difícil considerar todas las causticas posibles y muchos de ellos han sido elaborados suponiendo unas condiciones de ejecución ideales o perfectas.

Así, la Ingeniería de la Resiliencia y Safety-II se centran en el estudio del “trabajo realizado” para conocer realmente cómo se ejecutan los trabajos y poder fortalecer de una manera efectiva el desempeño resiliente.

3.2.3 Principio de ETTO

El principio de compensación entre eficiencia y minuciosidad conocido por sus siglas en inglés como principio de ETTO “Efficiency-Thoroughness Trade-Off” explica cómo los trabajadores consiguen salvar en el día a día la diferencia entre el “trabajo imaginado” y el “trabajo deseado”. El principio de ETTO lo aplican las personas constantemente, tanto en la vida privada como en el trabajo.

Este principio hace referencia a los ajustes que como los trabajadores en los sistemas socio-técnicos complejos deben realizar constantemente un balance entre eficiencia y minuciosidad logrando un equilibrio que permita alcanzar un resultado suficientemente aceptable. En este sentido, Hollnagel (2009b) destaca que *“es necesario ser eficiente porque los recursos son limitados y en particular porque el tiempo es limitado”, pero por otro lado, “también es necesario ser tan minuciosos tanto para asegurarnos de que hacemos las cosas de la manera correcta como para que podamos lograr lo que queremos y evitar consecuencias adversas”*.

Así, los trabajadores deben realizar este balance para encontrar un equilibrio entre las condiciones de desempeño y la obtención de un resultado aceptable. Algunas de las razones que llevan a la necesidad de realizar este balance son: la disponibilidad limitada de tiempo y recursos, las presiones del resto de la empresa, ya sean de la organización en sí o de otras personas como jefes o compañeros, la tendencia del ser humano a realizar el mínimo esfuerzo posible, las prioridades personales...(Hollnagel, 2009b).

3.2.4 Principios del Análisis de la Resonancia Funcional

El Método de Análisis de la Resonancia Funcional (FRAM) es una de las principales herramientas desarrolladas en el marco de la Ingeniería de la Resiliencia. El FRAM fue propuesto por Hollnagel (2012) y es un método cualitativo para el análisis de la variabilidad y de su propagación a través de los sistemas complejos. El FRAM permite realizar un análisis de las tareas o funciones que se llevan a cabo en un sistema y, en base a ello, establecer medidas enfocadas a gestionar y manejar adecuadamente la variabilidad en el desempeño para evitar que se produzca la resonancia funcional.

En este sentido, el FRAM asume que los accidentes son el resultado de combinaciones inesperadas (resonancia) de la variabilidad normal, acoplamientos entre funciones que resuenan pero que tampoco son aleatorias, aunque no se puede atribuir a una simple combinación lineal de causas entrelazadas (Hollnagel et al., 2006).

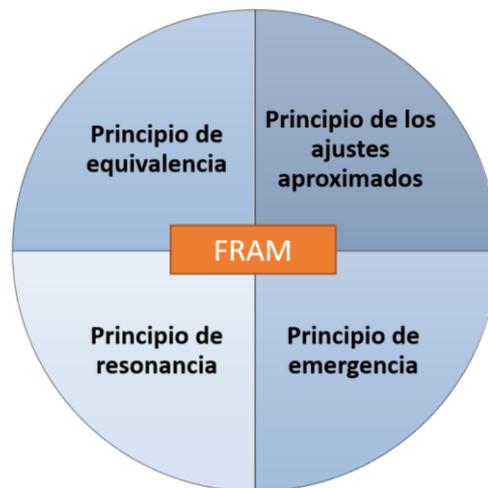


Figura 6. Principios sobre los que se sustenta el FRAM
(Elaboración propia)

El FRAM caracteriza los sistemas complejos basándose en las funciones que se desempeñan, no en cómo se estructura el sistema. Los límites del sistema son definidos a través de la descripción de las funciones. Como paso previo para poder aplicar correctamente este nuevo método es importante comprender adecuadamente los principios sobre los que se fundamenta el FRAM, ya que de otro modo los resultados no serán los adecuados. Tal y como se representa en la Figura 6, se fundamenta en cuatro principios (Hollnagel, 2012):

1. El principio de equivalencia

Este principio expone que durante el desempeño diario los éxitos y los fracasos son equivalentes. Entendiendo como éxito la ejecución de una tarea que proporciona un resultado suficientemente bueno o aceptable y, en contraposición, entendiendo el fracaso como la ejecución de una tarea cuyo resultado no es aceptable, ya sea porque el resultado no es suficientemente bueno o porque se han producido desviaciones que han dado lugar a fallos, incidentes o accidentes.

Así, este principio propone que el éxito y el fracaso son dos caras de una misma moneda y por ello se alcanzan mediante los mismos mecanismos, es decir, es la misma ejecución diaria de las tareas o la misma forma de “hacer las cosas” la que puede dar lugar a ambos, éxitos o fracasos. Normalmente, al desempeñar

las tareas los trabajadores logran controlar y amortiguar la variabilidad y las desviaciones consiguiendo que las cosas vayan bien y que se alcance un resultado aceptable, es decir, el éxito. Cuando se producen los fallos, incidentes o accidentes, las tareas no se ejecutan de una manera especial o diferente, sino que en esas ocasiones las tareas se han ejecutado como suelen hacerse habitualmente, pero la variabilidad no ha podido ser amortiguada o controlada y ha provocado que el resultado de la tarea no haya sido bueno, es decir, la ejecución de la tarea ha fracasado y ha podido generar resultados no deseados como serían los fallos, incidentes o accidentes.

2. El principio de los ajustes aproximados

Este principio se basa en el principio de ETTO propuesto por la Ingeniería de la Resiliencia y presentado anteriormente. El ser humano constantemente realiza un balance entre eficiencia y minuciosidad, ya sea en su vida diaria o en su trabajo. En el mundo real el tiempo y los recursos para hacer algo son limitados y las personas los optimizamos para obtener un resultado “suficientemente bueno” empleando el menor tiempo y recursos posibles para alcanzarlo. Así, las personas realizan ajustes para ser eficientes, es decir, optimizar los recursos que tienen y a la vez ser minuciosos, es decir, realizar la tarea con el suficiente detalle y empleando una cantidad de recursos y tiempo razonable que les permitan obtener un resultado aceptable.

En consecuencia, los trabajadores, al llevar a cabo sus tareas en el día a día, deben realizar ajustes para casar las condiciones de ejecución, los recursos disponibles en ese momento, la mano de obra, el tiempo y otras cuestiones como serían los aspectos organizacionales o externos y lograr obtener un resultado que se considere válido o aceptable. En pocas ocasiones la ejecución de una tarea es perfecta o totalmente precisa, sino que en la mayoría de las ocasiones surgen desviaciones durante la ejecución, aunque sean pequeñas, y éstas son compensadas mediante ajustes aproximados, pero si el resultado final está dentro de los límites que se han definido como aceptables el resultado será considerado como válido. Estos ajustes aproximados explican por qué generalmente las cosas van bien, aunque en ocasiones van mal. La propia variabilidad en el desempeño de los sistemas socio-técnicos se debe principalmente a estos ajustes aproximados.

3. **El principio de emergencia**

Este principio propone que los resultados adversos como serían fallos, incidentes o accidentes no pueden ser explicados por relaciones de lineales de causalidad, ya sean simples o complejas. Tanto los éxitos o resultados deseados como los fracasos o resultados adversos emergen del desempeño diario, es decir, del propio funcionamiento del sistema. Hasta el momento, ha sido habitual considerar que un sistema puede descomponerse en partes o elementos y si se comprendía aisladamente cómo funcionaban éstos se podía comprender el funcionamiento del sistema completo. Por ello, se entendían los resultados adversos como resultantes, es decir, se podía retroceder y encontrar las causas exactas que los generaron. Sin embargo, hoy día los sistemas han incrementado su complejidad y las propiedades o características de los sistemas no son el resultado de la suma de las propiedades o características sus partes. Además, las condiciones de funcionamiento de esas partes no son estáticas, sino que son cambiantes o variables. Por ello, no es posible retroceder siguiendo un “hilo” y encontrar las causas que provocaron un evento o resultado adverso. Por ello, se dice que estos resultados son emergentes, lo cual no significa que aparezca por “arte de magia” sino que estos resultados son consecuencia de fenómenos transitorios o condiciones que solo estuvieron presentes en un punto particular en el tiempo y el espacio, que a su vez se deben a otros fenómenos transitorios y así sucesivamente. De este modo, no podremos encontrar de forma exacta las condiciones que crearon el resultado adverso, podríamos suponerlas o aproximarnos a ellas pero no determinarlas con certeza. Por lo que no podrían establecerse las relaciones causales.

4. **El principio de resonancia**

El principio de resonancia funcional se basa en que la realidad es compleja, cambiante, variable e impredecible a la vez que existen dependencias entre partes alejadas de los sistemas que son difíciles de predecir o controlar. Por ello, establece que estas partes, funciones o tareas que conforman un sistema están acopladas. Estas conexiones o acoplamientos entre funciones pueden dar lugar a una vía para que se propague la variabilidad de la una parte a otra del sistema, incluso entre tareas que a priori parecerían no estar conectadas. En este camino de propagación a través de funciones o tareas, la variabilidad que ha emergido en un punto del sistema puede amplificarse desproporcionada e inesperadamente lugar al fenómeno de la resonancia funcional y conduciendo a una respuesta inesperada e imprevista del sistema, que puede ser tanto positiva

como negativa. Esta resonancia no es totalmente aleatoria, sino que está asociada la variabilidad.

3.2.5 Potenciales o habilidades para el desempeño resiliente

Según la Ingeniería de la Resiliencia, la resiliencia no es algo que las organizaciones tienen, sino que es algo que las organizaciones hacen, es decir, es una propiedad de las organizaciones (Hollnagel, 2010b). Por ello, es importante conocer cuáles son las habilidades o potenciales sobre los que se sustenta el desempeño resiliente para poder fortalecerlos y mejorarlos y así preparar a las organizaciones para ser capaces de llevar a cabo un desempeño resiliente.

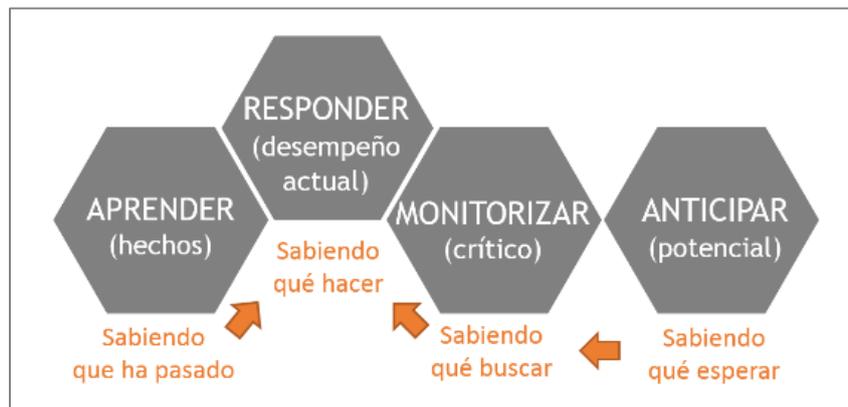


Figura 7. Las cuatro habilidades para la resiliencia (Hollnagel, 2017b)

En este sentido, tal y como se muestra en la Figura 7, Hollnagel (2017) establece que las habilidades para el desempeño resiliente son:

“Responder: Saber qué hacer

Ser capaz de responder a la variabilidad, las perturbaciones y las oportunidades tanto cotidianas como imprevistas, ya sea ajustando la manera en que se hacen las cosas o activando respuestas preparadas.

Monitorizar: Saber qué buscar

Ser capaz de monitorizar lo que es o podría convertirse en una amenaza a corto plazo. Esta monitorización debe abarcar el propio desempeño del sistema así como los cambios en el entorno.

Aprender: Saber lo que sucedió

Poder aprender de la experiencia, en particular aprender de las lecciones correctas de la experiencia correcta.

Anticipar: Saber qué esperar

Ser capaz de anticipar los acontecimientos, las amenazas y oportunidades en el futuro, como las posibles interrupciones, condiciones de operación cambiantes, presiones y sus consecuencias.”

3.3 El sector de la construcción y la Ingeniería de la Resiliencia

Actualmente, los estudios sobre la Ingeniería de la Resiliencia se han centrado en dos direcciones, por un lado, el marco teórico y por otro lado, su aplicación a sectores de alto riesgo y complejidad (Righi et al., 2015). En muchos de ellos se ha aplicado el FRAM como herramienta clave para entender el desempeño diario, los accidentes o el rediseño de guías, procedimientos o tareas. Como resultado el FRAM ha sido aplicado en sectores como la aviación, especialmente en el control de tráfico aéreo, el sanitario, el marítimo, la industria de manufactura, las emergencias, el ferroviario, el nuclear, el petrolífero... En este sentido, los estudios realizados coinciden en señalar como el FRAM proporciona un entendimiento más profundo sobre cómo está funcionando realmente un sistema, una organización o tarea. Además, todos los autores destacan las bondades del FRAM en el análisis de la variabilidad y cómo los hallazgos encontrados favorecen una mayor efectividad de las estrategias de gestión de seguridad e incluso proporcionan recomendaciones a nivel de diseño.

En el caso específico del sector de la construcción son escasos los estudios que han aplicado el FRAM al análisis de trabajos de construcción. En la Tabla 2 se recogen las publicaciones centradas en esta cuestión e indexadas en las principales bases de datos como son Web of Knowledge, Scopus, Scinde Direct y IEEE Xplore.

Destaca que no existen trabajos en la bibliografía científica centrados en las actividades de construcción de estructuras. Por ello, el presente estudio es pionero en ese sentido.

Publicación	Objetivo	Caso
<i>Improvisation at Workplace and Accident Causation - An Exploratory Study</i> (Amorim and Pereira, 2015)	Mejorar la comprensión de accidentes que ocurrieron fruto de la improvisación	Aplica el FRAM a tres accidentes uno de ellos en la construcción de un edificio
Construction sustainability evaluation using AHP and FRAM methods (Haddad and Rosa, 2015)	Aplicar el FRAM y la Jerarquía Analítica de Procesos para la evaluación de la sostenibilidad en la construcción	Aplica el enfoque propuesto al proceso de reutilización de residuos de construcción en obra de una empresa de construcción en Rio de Janeiro
<i>Assessing risk in sustainable construction using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM)</i> (Rosa et al., 2015)	Utilizar el FRAM combinado con la Jerarquía Analítica de Procesos para realizar evaluaciones de riesgo ocupacional desde una nueva perspectiva	Aplica el enfoque propuesto a un caso basado en la reutilización del hormigón demolido por una empresa de construcción en Rio de Janeiro
<i>A Resilience Engineering Approach for Sustainable Safety in Green Construction</i> (Rosa et al., 2017)	Demostrar un enfoque alternativo a la evaluación de riesgos que se ajuste al enfoque de seguridad sostenible en la industria de la construcción verde usando el FRAM junto a la Jerarquía Analítica de Procesos	Aplica el método propuesto al reciclaje de residuos de hormigón durante la modernización del estadio Maracanã en Río de Janeiro
<i>Lean construction and resilience engineering: complementary perspectives on variability</i> (Saurin and Sanches, 2014)	Comparación de las perspectivas de la variabilidad de la Construcción Lean y la Ingeniería de la Resiliencia	Aplica el FRAM y el mapa del flujo de valor al ensamblaje de la estructura de acero de un edificio comercial y los compara
<i>The FRAM as a tool for modelling variability propagation in lean construction</i> (Saurin, 2016)	Discutir cómo el FRAM puede ser útil para modelar la propagación de la variabilidad entre funciones en la construcción Lean	Aplica el FRAM a las inspecciones de seguridad
<i>Resilience engineering: A new approach for safety management</i> (Schafer et al., 2009)	Explorar la aplicación de la Ingeniería de la Resiliencia a la gestión de la seguridad en construcción	Aplica el FRAM en un escenario de construcción

Tabla 2. Revisión de la literatura científica sobre la aplicación del FRAM en el sector de la construcción
(Elaboración Propia)

3.4 Cultura de seguridad o cultura preventiva

El concepto de Cultura Preventiva, o Cultura de Seguridad como se ha acuñado a nivel global, es un concepto complejo y de difícil definición, como ocurre con otros constructos. Como tal surge a partir del informe de la International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG) de la International Atomic Energy Agency (IAEA) que indicaba como uno de los factores contributivos del accidente nuclear de Chernobil, una pobre cultura de seguridad (INSAG, 1986). Posteriormente el concepto ha sido utilizado en

numerosas ocasiones. El concepto de cultura de seguridad parte del de cultura organizacional, desarrollado por Schein, basado en el concepto más general de cultura de Hofstede. Schein (1988) la define como:

- a) Un patrón de asunciones compartidas
- b) Inventadas, descubiertas o desarrolladas por un grupo dado.
- c) Con los que aprenden a lidiar con sus problemas de adaptación al ambiente y de integración interna.
- d) Que ha funcionado suficientemente bien para ser considerado como válido y que por lo tanto
- e) Va a ser enseñado a los nuevos miembros de la organización como la forma correcta de percibir, pensar y sentir en relación a esos problemas.

Schein (1988) distingue tres niveles a partir de los cuáles la cultura organizacional puede ser estudiada y analizada. El modelo se podría representar como una cebolla, de forma que contaría con tres capas, los “artefactos” (tangibles y visibles), los “valores” (como reglas y procedimientos en el nivel de lo consciente) y “asunciones básicas” (no material y en el nivel de lo inconsciente, y que constituye la esencia de la cultura):

De forma más cercana, el Instituto Andaluz de Prevención de Riesgos Laborales (2018) lo define como “Una forma sostenida y estable de ejercer la gestión y supervisión de la empresa, acorde con los valores de la salud y la seguridad, que genera un clima favorecedor del comportamiento preventivo de todos los individuos de la organización, reconociendo los éxitos y aprendiendo de los errores”.

EL IAPRL define tres dimensiones de la cultura preventiva:

- El **compromiso** de la empresa por impulsar estrategias y dinámicas positivas para la mejora de la seguridad y la salud.
- La **dinamización**, que es la forma práctica en que se traduce el compromiso, mediante la movilización de recursos y la implementación de actividades para implicar a toda la organización.
- El **aprendizaje**, que es el esfuerzo continuado que realiza una organización para sostener y mejorar la gestión de la prevención.

En la evolución de las teorías que ayuden a comprender y a mejorar la seguridad y salud como se indicó antes, el último y más innovador paradigma es el de la Ingeniería de la

Resiliencia. Hollnagel define en 2018 la Resiliencia como una expresión de cómo la gente, sola o en compañía, se enfrenta con situaciones a diario, más grandes o más pequeñas, mediante el ajuste de su comportamiento a estas condiciones. Así, Hollnagel ya no explica la resiliencia como una característica, habilidad o cualidad que “tiene” la organización, si no como un “potencial” para el desempeño resiliente que tiene, o más precisamente para el desempeño en una forma que puede ser caracterizada como resiliente. Por lo tanto, una organización con dicho potencial no necesariamente tendrá un desempeño siempre resiliente. Disponer por tanto de dichos potenciales (para responder, para monitorizar, para aprender y para anticiparse), no garantizará el desempeño resiliente, pero la falta de ellos hará el desempeño resiliente muy improbable (Hollnagel, 2018).

Enlazando con la Cultura de Seguridad, el debate se desarrolla en relación a si es el cambio en el comportamiento de las personas de manera individual el que acaba modificando la Cultura o es el cambio en la Cultura el que acaba modificando el comportamiento individual. Con la irrupción del nuevo paradigma en materia de seguridad de la teoría de la Ingeniería de la Resiliencia, ambos supuestos se consideran inexactos, pues se basan en explicaciones demasiado simplistas y monolíticas de cuestiones muy complejas, abriéndose una tercera vía. La ingeniería de la resiliencia entiende que entre “Cultura preventiva” y “Desempeño de la Organización (lo que la gente hace)”, la cultura es la que es afectada por lo que la gente hace como colectivo (desempeño de la organización) y no al revés, por lo que la cultura es la variable dependiente y el desempeño la independiente. Así el concepto de cultura de seguridad, difícil de definir y sin un consenso en la comunidad científica al respecto, es utilizado para explicar de forma simple cosas de importancia, realizando un balance entre la eficacia y precisión/seguridad a la hora de su definición, por lo que con frecuencia es utilizada como sufijo (cultura de seguridad, cultura de justicia, cultura de aprendizaje, cultura de reporte, etc.), y en realidad cada vez más como un sinónimo de gestión de la seguridad y salud. Es decir, que de la misma forma que sucede con multitud de aspectos y conceptos que utilizamos o creamos los humanos, el concepto de cultura es una forma extremadamente simple y de razonamiento lineal para explicar aspectos mucho más complejos. Por estas razones la ingeniería de la resiliencia reconoce la complejidad del concepto y aboga por centrarse en mejorar el desempeño para así incrementar la cultura de seguridad. Para mejorar el desempeño la Ingeniería de la Resiliencia se dirige a los potenciales antes mencionados (Responder, Monitorizar, Aprender, y Anticiparse) de una organización para un desempeño resiliente, y por lo tanto y finalmente, mejorar la cultura de seguridad (Hollnagel, 2018), tal y como se observa en la Figura 8.

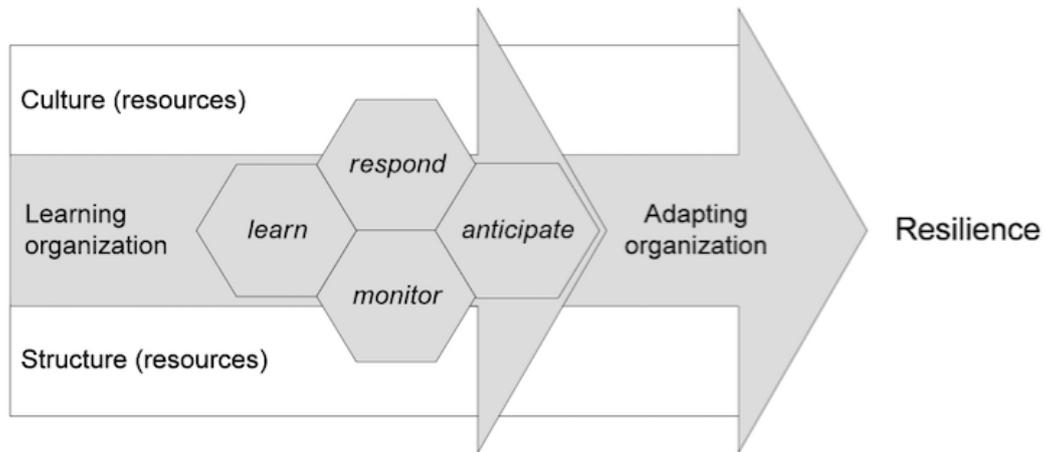


Figura 8. La Resiliencia definida por los potenciales, la cultura y la estructura organizativa (van der Vorm et al., 2011)

Para poder definir las acciones a llevar en un caso concreto, la Ingeniería cuenta con el innovador método Functional Resonance Analysis Method, FRAM (Hollnagel, 2012). El FRAM es un método que nos permite modelar un sistema, es decir, obtener un modelo de un sistema para entender cómo funciona. No es como los métodos tradicionales de análisis de la seguridad que se basan en un modelo prefijado de cómo ocurren los accidentes, sea el secuencial simple <Heinrich> o los secuenciales complejos, <Reason>. El FRAM no se ciñe a ningún modelo, sino que pretende adaptarse al sistema y proporcionar un modelo de cada sistema evitando condicionamientos, ideas prefijadas y encorsetamientos. Es más realista no casar un modelo con la realidad como suelen hacer los modelos de los anteriores paradigmas, sino al revés entender la realidad para crear un modelo que la represente. De este modo, al aplicar el método FRAM inicialmente se crea un modelo, seguidamente, se crean ejemplificaciones denominadas instanciaciones que permiten analizar la variabilidad en el desempeño del sistema y, finalmente, se proponen medidas basadas en los resultados del análisis del modelo.

4. METODOLOGÍA

En línea con los objetivos anteriores, la metodología desarrollada en el presente estudio se centra en el desarrollo de propuestas que contribuyan a la mejora de la resiliencia y la cultura preventiva en el sector de la construcción. Así, en la Figura 9 se refleja esquemáticamente los diferentes métodos que se han aplicado durante del desarrollo del presente estudio.



Figura 9. Métodos aplicados en el presente estudio
(Elaboración propia)

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis bibliográfico y un estudio del estado del arte con el fin de estudiar las investigaciones publicadas en relación a los riesgos laborales en trabajos de construcción, incluyendo buenas prácticas y estadísticas publicadas y actualizadas en relación a la siniestralidad laboral, la cultura preventiva y la resiliencia en seguridad y salud laboral.

Todo este análisis de la información disponible permitió establecer que las actividades de ejecución de estructuras de hormigón en edificación serían estudiadas en profundidad en las siguientes actividades del proyecto por su peligrosidad.

En segundo lugar, se llevó a cabo un análisis del desempeño diario de estas actividades empleando para ello el Método de Análisis de la Resonancia Funcional, que en adelante será denominado por sus siglas en inglés FRAM (Functional Resonance Analysis Method). Este método será abordado con más detalle en el apartado 3.4.1. Para la aplicación del método se ha realizado un análisis de la documentación disponible en relación a la ejecución de los trabajos de construcción de estructuras para edificios como punto de partida para, posteriormente, se han llevado a cabo observaciones de campo en obras de construcción en fase de estructura gracias a la colaboración de varias empresas constructoras, y entrevistas en profundidad especialmente con los trabajadores aunque también con responsables, encargados y/o técnicos de prevención. Finalmente se ha desarrollado un modelo FRAM que refleja, desde un punto de vista global, el desempeño diario de los trabajos de construcción de estructuras. Así el modelo incluye las principales funciones que intervienen, sus acoplamientos y los posibles caminos de propagación de la variabilidad que podrían dar lugar a la resonancia funcional provocando la aparición de resultados no deseados como son desviaciones, cuasi-peridas o incluso accidentes. Todo este proceso de análisis ha permitido partir de una descripción del “Trabajo imaginado” o “Work-as-imagined” y llegar a un conocimiento del “Trabajo realizado” o “Work-as-done”, analizando los límites de los trabajos tipo, en relación al éxito, y por ende el rango de variabilidad normal.

En tercer lugar, en base a los resultados obtenidos tras el análisis FRAM se decidió aplicar la Técnica del Incidente Crítico (Flanagan, 1954) en su modelo más desarrollado el Método de la Decisión Crítica (Klein and Armstrong, 2005; Stanton et al., 2005) a las tareas realizadas por los operadores de grúa centradas principalmente en el transporte de materiales ya sea para su acopio, su puesta en obra, su montaje o desmontaje. Para ello, se llevaron a cabo entrevistas en profundidad con el objetivo de determinar situaciones de problemas potenciales, tanto aquellas que estaban previstas por los profesionales pero fueron sorprendentes de algún modo, y por lo tanto inesperadas, como aquellas que eran inesperadas pero además impensables que ocurrieran en el momento que ocurrieron. Esto incluye dos situaciones con la característica común de la sorpresa del sujeto, y dos tipos de decisiones críticas que se pueden tomar. La primera se basa en la variabilidad prevista, y la segunda en la variabilidad imprevista que requiere la movilización de recursos adicionales. La identificación de estos dos tipos de decisiones críticas, ayudará al desempeño resiliente en este tipo de actividades.

En cuarto lugar, en base a los principales resultados, tanto particulares como globales, obtenidos en las etapas anteriores, se definieron las principales medidas preventivas

y/o correctivas relacionadas con los objetivos del proyecto con el apoyo de grupos de expertos.

3.4.1 Método de Análisis de Resonancia Funcional

Para la consecución objetivo propuesto, en este apartado se pretende conocer y analizar cómo se desempeñan en el día a día los trabajos de construcción de estructuras. De este modo, se pretende mejorar la comprensión de dichos trabajos desde el nuevo enfoque propuesto por la Ingeniería de la Resiliencia. Para ello, se considerarán a las actividades de construcción de estructuras como un sistema socio-técnico complejo que será modelado mediante el Método de Análisis de la Resonancia Funcional, al cual se hará referencia a partir de ahora mediante sus siglas en inglés FRAM (Functional Resonance Analysis Method). Ahora el foco de atención estará en la variabilidad que existe en la ejecución diaria de estas tareas, denominadas funciones, y en cómo esta variabilidad se propaga mediante conexiones o acoplamientos entre funciones. Así, las relaciones lineales de causalidad empleadas en modelos de accidentes utilizados tradicionalmente desaparecen y son sustituidas por relaciones no lineales que pueden dar lugar a la aparición repentina de resonancia funcional y con ella a fallos, desviaciones, incidentes o incluso accidentes.

El FRAM caracteriza los sistemas complejos basándose en las funciones que se desempeñan, no en cómo se estructura el sistema. Los límites del sistema son definidos a través de la descripción de las funciones. Para aplicar el FRAM deben seguirse una serie de pasos que quedan recogidos en la Figura 10. En el presente estudio se han seguido estos pasos tal y como se detalla a continuación.



Figura 10. Etapas del Método de Análisis de la Resonancia Funcional (Elaboración Propia)

En primer lugar, se definió el objetivo del análisis, ya que el FRAM puede ser aplicado con diferentes finalidades. Por un lado, el FRAM puede usarse con un enfoque retrospectivo en investigaciones de accidentes para analizar los eventos asociados al accidente. Por otro lado, puede emplearse con un enfoque retrospectivo para llevar a cabo análisis de riesgos o para conocer mejor las actividades objeto de estudio y cómo

se desarrollan cada día. Además, puede aplicarse también al diseño y rediseño de tareas o de directrices y procedimientos de trabajo. En el caso del presente estudio se aplicó un enfoque prospectivo al análisis de las actividades de construcción de forjados reticulares mediante casetones de hormigón prefabricados en edificación residencial.

En segundo lugar, con el fin de poder definir cada una de las funciones que formarían parte del modelo FRAM fue necesario analizar toda la información disponible sobre las actividades objeto de estudio (trabajo realizado) así como realizar trabajos de campo que permitieron conocer en profundidad dichas actividades (trabajo imaginado). Una vez revisada toda la información disponible como legislación, guías, manuales o planes de seguridad y salud, se realizó una entrevista informal con un experto en construcción con amplia experiencia para revisar el proceso constructivo antes de iniciar los trabajos de campo. Seguidamente, se realizaron 5 visitas a diferentes obras de construcción en fase de estructuras durante las que se llevaron a cabo observaciones y entrevistas. Durante las entrevistas se observó cómo se llevaban a cabo los diferentes tipos de tareas que es necesario ejecutar para construir la estructura. Durante estas visitas, mientras se realizaban las observaciones se mantuvieron conversaciones informales con el encargado de la obra para conocer mejor las tareas que se estaban ejecutando en ese momento. Además, en esas visitas se llevaron a cabo 10 entrevistas a distintos trabajadores como 1 jefe de obra, 1 encargado de los encofradores, 2 encofradores, 2 ferrallistas, 2 gruistas o 2 técnicos responsables de las protecciones en la obra denominados en este estudio técnicos de seguridad. Estas entrevistas fueron semiestructuradas y se basaron en una plantilla previamente diseñada. Conforme a otros trabajos publicados sobre FRAM se consideró que este número de entrevista era más que suficiente para poder realizar el modelo.

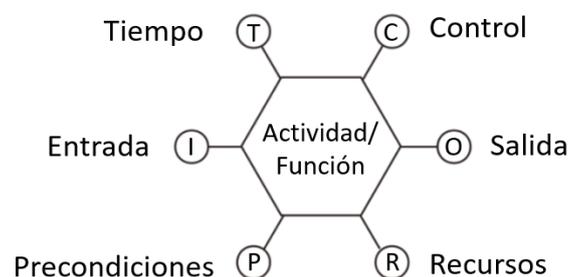


Figura 11. Aspectos de una función en el FRAM
(Elaboración propia)

Una vez recopilada toda la información necesaria, se definieron las funciones del modelo FRAM. Las funciones son cada una de las tareas, subtareas o simplemente acciones

que deben llevarse a cabo para realizar una actividad concreta que está siendo modelada con FRAM, este caso la construcción de estructuras. Así, cada función quedó definida por una breve descripción y por sus parámetros básicos denominados aspectos. Éstos están recogidos en la Figura 11 y son entrada, salida, precondition, control, recurso y tiempo.

En el desarrollo del FRAM no hay que definir los seis aspectos para cada función, solo aquellos que sean necesarios. El significado de cada uno de ellos se presenta a continuación:

- *Input*. Es la entrada, lo que arranca la función, lo que produce o transforma para obtener el output o salida. Constituye el enlace con otras funciones previas.
- *Output*. Lo que es producido por la función y que puede enlazarse con funciones posteriores.
- *Tiempo*. El tiempo disponible que puede ser una restricción, pero que también puede ser considerado un tipo especial de recurso.
- *Control*. Es el inmediato chequeo asociado con una función, supervisa o ajusta una función. Pueden ser planes, procedimientos, reglas, sistemas de control automático u otras funciones.
- *Precondiciones*. Son condiciones previas que deben ser realizadas previamente a realizar la función, elementos contextuales que influyen en el output.
- *Recurso*. Describe el nivel de recursos disponible en ese momento, el cual es consumido o procesado por la función para obtener el output (materia, energía, hardware, software y mano de obra) o bien un recurso que es necesario disponer, aunque no se consuma, como una herramienta.

En este paso se empleó el FRAM Model Visualizer para ir definiendo todas las funciones que componía el modelo. De este modo, al finalizar este paso se obtuvo el modelo FRAM del sistema estudiado.

En tercer lugar, se procedió a estudiar de forma aislada la variabilidad de cada función, es decir, cómo varía la salida de cada función. De este modo, se analizó cómo la variabilidad, tanto externa como interna, puede afectar a la salida de una función en términos de tiempo y precisión.

En cuarto lugar, se analizó la variabilidad de todas las funciones en conjunto. Así, se estudió cómo se propaga o transmite la variabilidad de una función a otra y así sucesivamente por todo el modelo. Esta variabilidad puede propagarse tanto aguas

arriba como aguas abajo y en su camino puede amortiguarse o amplificarse. En este último caso es cuando podría darse lugar a la aparición de la resonancia funcional.

Para concluir se extrajeron las principales conclusiones que se desprendían de la aplicación del método FRAM. En base a ellas, se establecerían en la fase final del presente estudio medidas, mejoras y actuaciones en materia de cultura preventiva que están orientadas a controlar y amortiguar la variabilidad y fortalecer el desempeño diario para evitar la aparición de la resonancia funcional.

3.4.2 Método de Decisión Crítica

En el contexto de este estudio sobre la aplicación de la Ingeniería de la Resiliencia para la mejora de la cultura preventiva en el sector de la construcción, este apartado pretende describir la metodología empleada para explorar la variabilidad con la que los operadores de grúa tratan en su trabajo diario y comprender las diferentes estrategias que utilizan para evitar las posibles consecuencias negativas de esta variabilidad.

El método elegido para recopilar incidentes a posteriori es el método de decisión crítica (Klein and Armstrong, 2005; Stanton et al., 2017), que es una extensión de la técnica de incidentes críticos (Flanagan, 1954). El objetivo de ambos métodos consiste en generar “episodios” en la memoria de los trabajadores con el fin de que recuerden y describan incidentes que han experimentado en primera persona como operador de grúa. De manera general, se les pide a los entrevistados que recuerden situaciones cercanas a los accidentes y que identifiquen las decisiones que tomaron y cómo se tomaron estas decisiones.

En este trabajo, se han entrevistado a tres operadores de grúa que cuentan con muchos años de experiencia, tanto como operador de grúa como de trabajadores en el sector de la construcción. En primer lugar, se les explicó el objetivo de la entrevista y el nuevo enfoque para analizar la seguridad, ya que es totalmente desconocido para ellos. A continuación, se les pidió que recordaran situaciones cercanas a los accidentes, en las cuales se encontraban cerca de un problema grave en la obra, pero en las que lograron enfrentarse para regresar a una situación estable. Las entrevistas se establecieron de manera semiestructurada para que los entrevistados pudieran hablar libremente, pero a la vez, fueron llevados a abordar temas predefinidos en el caso que fuera necesario. La duración de las entrevistas osciló entre los 45 minutos y las dos horas.

De acuerdo con la técnica, el procesamiento de datos es principalmente cualitativo y subjetivo, que consiste en construir una clasificación de los eventos recopilados y realizar un análisis del contenido de las entrevistas. Para organizar los datos de la entrevista realizadas con el método de decisión crítica, Wong (2004) propone cinco pasos:

1. Crear una tabla de decisiones.
2. Crear un resumen de la situación.
3. Realizar tablas para el análisis de decisiones.
4. Identificar eventos de interés en cada situación.
5. Organizar y comparar los elementos comunes de interés en las situaciones estudiados.

Durante la entrevista se realiza un cronograma de la situación que, junto con la grabación de la entrevista, ayudará a crear la tabla de decisiones. A continuación, se resume la situación con el fin de guiar los siguientes pasos de la metodología. La tabla de análisis de las decisiones se construye utilizando la información de los dos primeros pasos y los detalles adicionales que se puedan incorporar de la grabación. A continuación, se identifican los eventos de interés en la tabla de decisiones. Por último, los eventos de interés se organizan y comparan con el resto de eventos de las otras entrevistas. En el apartado 6.2. se desarrollan y analizan las situaciones imprevistas que se han obtenido en las entrevistas realizadas siguiendo la metodología aquí expuesta y recogida en la Figura 12.



Figura 12. Pasos del Método de Decisión Crítica
(Elaboración Propia)

5. APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA DE LA RESILIENCIA PARA LA MEJORA DE LA CULTURA PREVENTIVA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

6.1 Análisis de la Resonancia Funcional en las actividades de construcción

Este estudio aplicó una de las técnicas más novedosas desarrolladas hasta el momento en el contexto del también nuevo paradigma de la Ingeniería de la Resiliencia en materia de seguridad que ha sido presentada anteriormente, el FRAM. Así, se aplicará éste método a uno de los sectores de mayor siniestralidad, el de la construcción, y específicamente a actividades de alto potencial de riesgo como son las actividades de construcción de estructuras de hormigón.

Mediante la colaboración de empresas del sector se llevó a cabo el análisis de procesos FRAM, explicado en la metodología. Para ello, se realizó el análisis de la documentación fruto de la revisión bibliográfica, observaciones de campo en los tajos y entrevistas en profundidad con responsables, técnicos de seguridad, trabajadores de encofrado y de ferralla. Finalmente se terminará describiendo el “trabajo realizado”, analizando los límites de los trabajos tipo, en relación al éxito, y por ende el rango de variabilidad normal.

6.1.1 Descripción de los trabajos de construcción de estructuras

Como se ha mencionado anteriormente, en este apartado se presenta una descripción del procedimiento real de construcción de una estructura observado en las visitas a obra, es decir, del “trabajo realizado”. Por ello, pueden existir algunas discrepancias con los procedimientos de trabajo descritos en la bibliografía existente que recogen el procedimiento del “trabajo ideado”.

La fase de construcción de la estructura de un edificio se inicia una vez terminada la fase de cimentación. La primera tarea que se lleva a cabo es la ejecución de pilares. Para ello, se parte de las armaduras de arranque o espera que son las armaduras de anclaje del pilar y que pueden observarse en la Figura 13.



Figura 13. Armaduras de arranque sobre losa de cimentación
(Elaboración propia)

Inicialmente se procede al replanteo de los pilares se realiza marcando con azulete sobre el hormigón el perímetro del pilar, tal y como se observa en la Figura 14. Para ello, se verifica que las dimensiones y ubicación de los pilares se ajusten a los planos del proyecto.



Figura 14. Replanteo de pilar con azulete
(Elaboración propia)

En ocasiones, la ubicación de las armaduras de espera no es adecuada y es necesario desplazarlas para que coincidan con la posición exacta determinada con los planos. En ese caso, se doblan los hierros hasta situarlos en la posición adecuada. Este proceso se conoce normalmente como “grifar” las armaduras de espera.

Una vez preparadas las armaduras de espera se procede al armado del pilar que consiste en depositar la armadura del pilar sobre las esperas y atarla con alambre. Esta tarea la realizan los ferrallistas y es necesario el empleo de la grúa para transportar la

armadura del pilar y posicionarla sobre la armadura de espera para poder atarla o “coserla”.



Figura 15. Aplicación de desencofrante a los paneles de encofrado de pilares
(Elaboración propia)

Después de haber armado el pilar se procede a encofrar el pilar. Para ello, se emplean moldes de encofrado que, normalmente son chapas metálicas que pueden tener diferentes dimensiones. Los moldes de encofrado de pilares que se han considerado en el caso estudiado en el presente estudio son paneles verticales, aunque en otras ocasiones se emplean placas cuadradas que se van ensamblando manualmente in situ hasta alcanzar la altura deseada. Antes de la colocación, se procede previamente a limpiar los paneles, aplicarles desencofrante y ensamblarlos como se observa en la Figura 15.

Cuando existe un área de la planta donde un grupo suficiente de pilares ha sido encofrado y se recibe el hormigón en la obra se pasa a realizar el hormigonado y vibrado de los pilares. Antes de proceder al hormigonado es necesario que estén colocadas las protecciones colectivas para prevenir frente al riesgo de caída de altura. Esta tarea la realiza el personal de seguridad y para el montaje de redes de seguridad tipo “V” es necesaria la ayuda de la grúa.

Así, para poder llevar a cabo el hormigonado del pilar se emplea un castillete de hormigonado o un andamio con ruedas que facilite el acceso de los encofradores hasta la coronación del pilar como se observa en la Figura 16. Normalmente, hay dos encofradores que participan en el proceso de hormigonado y vibrado del pilar. Uno ubicado sobre el castillete de hormigonado o andamio con ruedas y otro situado sobre la planta para ayudarle en la tarea de hormigonado, aunque a veces está solo el gruísta y un encofrador que vierte y vibra el hormigón. Antes de iniciar el hormigonado se coloca un vibrador de aguja al fondo del pilar. Seguidamente se hormigona el pilar normalmente

empleando un cubilete de hormigonado que es transportado por la grúa. Por ello, el proceso de hormigonado se realiza en varias tongadas. Entre cada tongada se procede a la compactación del hormigón empleando el vibrador para evitar que aparezcan coqueas en el pilar. El vibrador, que se encuentra al fondo, se extrae con lentitud y velocidad constante una y otra vez para que fluya la lechada a la superficie. Una vez finalizado el proceso de hormigonado del pilar se desplaza el castillete de hormigonado o el andamio con ruedas al siguiente pilar y se inicia de nuevo el procedimiento.



Figura 16. Hormigonado de pilar con cubilete
(Elaboración propia)

En el pilar que acaba de ser hormigonado se procede a realizar el aplomado y arriostramiento del mismo. Para ello, se colocan puntales en cada una de las caras o paneles del molde y se emplea una plomada para verificar que la posición es correcta y garantizar la estabilidad lateral. Se deja fraguar el hormigón del pilar entre 24 horas y 48 horas como máximo. Al día siguiente un encofrador comprueba la coronación del pilar para ver si ha fraguado el hormigón. Usualmente, al día siguiente se procede al desencofrado del pilar, aunque a veces si las condiciones climatológicas son desfavorables se espera un poco más. Para realizar el desencofrado es necesario la ayuda de la grúa.

Es frecuente que los pilares se empiecen a armar, encofrar y hormigonar por una esquina de la planta. De este modo, cuando existe un área de pilares en la esquina de la planta que ha sido desencofrado se puede iniciar el montaje del encofrado tipo mecano. Así, se obtiene una plataforma de trabajo que permitirá ejecutar la planta de arriba. Para iniciar el montaje del mecano siempre se empieza junto a un pilar para poder sujetar la estructura al pilar y a partir de ahí continuar con el montaje. Esta tarea la realizan los encofradores.



Figura 17. Línea de vida y redes bajo forjado
(Elaboración propia)

Una vez montado el mecano en un área de la planta y antes de proceder a la colocación de las tablas del entablado es necesario colocar protecciones colectivas. El personal responsable de las protecciones colectivas normalmente suele pertenecer a una empresa subcontratada expresamente para estas tareas, en adelante en el presente estudio dicho personal será denominado como técnicos de seguridad. Ellos son los encargados de colocar las protecciones colectivas o individuales necesarias como redes horizontales bajo forjado y líneas de vida, que se observan la Figura 17. Cuando éstas están montadas, los encofradores inician la colocación del entablado con la ayuda de la grúa que le facilita las tablas para el montaje.

Posteriormente se colocan las protecciones colectivas perimetrales como barandillas y se montan las tabicas para la realización del borde del forjado. Cuando el entablado está listo, se realiza el replanteo sobre el entablado empleando de nuevo azulete y los planos de la estructura.



Figura 18. Elaboración de elementos estructurales de ferralla in situ
(Elaboración propia)

Seguidamente, los encofradores colocan los casetones que son previamente provisionados por la grúa. Luego, los ferrallistas proceden a iniciar el montaje de la armadura del forjado y nuevamente la grúa debe ayudar a transportar elementos estructurales de ferralla que han sido elaborados in situ, como muestra la Figura 18, así como las barras de ferralla para su puesta en obra.

En el montaje emplean separadores de hormigón para evitar que la ferralla se apoye directamente sobre el entablado y quede vista una vez se hormigone la losa.

Una vez finalizados todos los trabajos de la ferralla para la losa de hormigón, se procede a comprobar la ferralla colocada coincide con las especificaciones de los planos del proyecto. Esta tarea suele realizarla el jefe de obra, el encargado o incluso el arquitecto que realizó el proyecto. En el caso de que falte alguna barra o se detecte algún defecto, se procede a subsanarlo. Esta tarea es muy importante ya que puede afectar a la capacidad portante del forjado.

A continuación, se recibe el hormigón en la obra y se realiza el hormigonado con camión bomba y el vibrado de la planta. El hormigonado de la planta lo realizan los encofradores. Lo normal es que participen en el proceso un equipo de tres encofradores, uno realiza el vertido, otro el vibrado y otro el alisado del hormigón. La planta se hormigona entera el mismo día, de hecho, si surgen retrasos los trabajadores no pueden irse hasta que se finalice el hormigonado.

Durante el proceso de curado del hormigón es necesario regarlo periódicamente en función de las condiciones climatológicas que existan para garantizar que el proceso se lleva a cabo adecuadamente y el hormigón no pierde ninguna de sus propiedades.



Figura 19. Desencofrado parcial de la planta
(Elaboración propia)

El proceso de desencofrado lo llevan a cabo los encofradores y se realiza por etapas de acuerdo con el curado del hormigón. Cuando el hormigón lleva tres días curando se procede a recuperar el 80% del material utilizado, tal y como se muestra en la Figura 19. Así, se recuperan las portasopandas, las sopandas intermedias, los basculantes, los puntales y los tableros, quedando únicamente las sopandas y sus puntales. Estos ya pueden ser utilizados en plantas superiores, aunque previamente deben ser limpiados. Una vez transcurridos entre 21 y 28 días desde el vertido el hormigón alcanza su resistencia máxima y se procede a retirar las sopandas y el resto de puntales. Lo normal es que como máximo estén tres plantas encofradas simultáneamente.

Con esto concluye la construcción de esa planta de hormigón. Desde el día siguiente del vertido de hormigón de la planta se empieza a trabajar sobre él para iniciar la construcción de la siguiente planta comenzando de nuevo por los pilares.

Todo el proceso descrito se lleva a cabo en el orden mencionado, pero muchas de las etapas descritas se solapan en su ejecución en el tiempo. Por ejemplo, mientras que en una zona de la planta es posible que estén montando el mecano en otra pueden estar hormigonando pilares.

6.1.2 Análisis de la variabilidad y de su propagación en actividades de construcción de estructuras

En este apartado se presentan los principales resultados obtenidos al aplicar el método de análisis de resonancia funcional (FRAM) a las actividades de construcción de estructuras de hormigón. La metodología seguida para la obtención de los resultados que se presentan en este apartado ha sido descrita anteriormente en el apartado 3.4.1.

En el primer paso del FRAM se definió el objetivo del estudio que se centraba en conocer cómo se realizan las actividades de construcción de forjados reticulares en edificación residencial. Este paso es importante porque fijará los límites del sistema cuando se estén definiendo las funciones en el modelo FRAM. Además, determinará la profundidad en la descripción de las funciones. En el caso concreto de este estudio se ha fijado un objetivo ambicioso, dado que la actividad objeto de estudio incluye gran cantidad de tareas asociadas a distintos tipos de trabajos y de trabajadores como encofradores, ferrallistas, personal responsable del montaje y desmontaje de protecciones colectivas e individuales, jefe de obra y encargado. Por ello, con el propósito de obtener una visión global de todas estas tareas objeto de estudio, el modelo desarrollo considera la construcción de una estructura destinada a uso residencial y sin salientes u otros

elementos estructurales complejos. Así, el análisis de la resonancia funcional desarrollado se describe el proceso de construcción de los pilares y seguidamente del forjado de la planta.

En el segundo paso, se procedió a llevar a cabo la toma de datos mediante visitas a obras, tal y como se describe en la metodología. En base al análisis de la información obtenida mediante observaciones y entrevistas realizadas durante las vistas se identificaron un total de 32 funciones o tareas necesarias para la construcción de una estructura conforme al objetivo propuesto. Dichas funciones se presentan en la Tabla 3.

FUNCIONES
1 Iniciar la fase de construcción de estructuras
2 Replantear de pilares
3 Colocar armaduras de los pilares
4 Encofrar las armaduras de los pilares
5 Disponer de un grupo de pilares encofrados
6 Hormigonar los pilares
7 Esperar a que fragüe el hormigón de pilares
8 Tener experiencia en trabajos de encofrado
9 Aplomar pilares
10 Desencofrar pilar
11 Disponer de un grupo de pilares desencofrados
12 Montar el mecano
13 Colocar tableros de madera y tabicas
14 Replantear el forjado de la planta
15 Colocar casetones
16 Colocar ferralla de la planta
17 Verificar la ferralla de la planta
18 Corregir ferralla de la planta
19 Poner en obra hormigón de la planta
20 Dejar fraguar el hormigón
21 Mantener húmedo el hormigón durante el curado
22 Desencofrar parcialmente la planta
23 Desencofrar totalmente la planta
24 Disponer de la grúa
25 Transportar materiales hasta su lugar de uso o instalación
26 Recibir el hormigón en la obra
27 Disponer de personal encargado de las protecciones
28 Preveer y anticipar la evolución de los trabajos en la obra
29 Instalar protecciones colectivas/individuales
30 Desinstalar protecciones colectivas/individuales
31 Limpiar y preparar paneles de encofrado
32 Elaborar elementos estructurales de ferralla

Tabla 3. Funciones del modelo FRAM desarrollado
(Elaboración propia)

Para todas esas funciones se desarrolló una descripción que puede consultarse en el Anexo de este estudio. Además, para cada una de ellas se definieron sus aspectos. Así, se obtuvo el modelo FRAM de las actividades de construcción de forjados reticulares en edificación residencial que se muestra en la Figura 20.

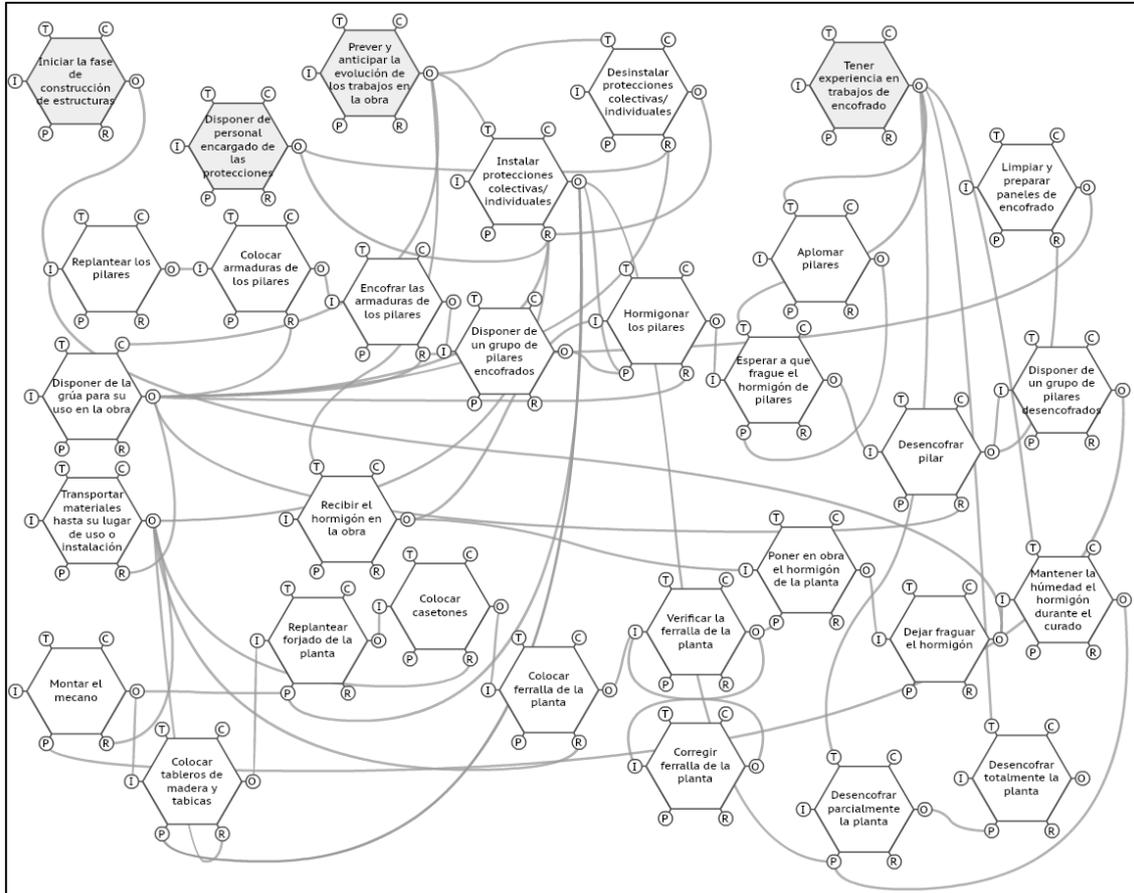


Figura 20. Modelo FRAM para la construcción de estructuras de forjado reticular con casetones prefabricados en edificación residencial (Elaboración propia)

En el tercer paso, se analizó la variabilidad de cada función individualmente, es decir, sin tener en cuenta los acoplamientos con otras funciones. Como resultado se obtuvo una descripción de las variaciones que podía sufrir la salida de cada función que se encuentra reflejada en la última columna de la tabla incluida en el Anexo de este estudio. Debido a la gran extensión de la misma, a modo de ejemplo, se presentan a continuación tres funciones del modelo que cobran especial relevancia como se verá al final del análisis.

La primera función que se presenta es la función <Disponer de la grúa>. La salida de esta función es que la grúa está disponible para su utilización en la obra. La grúa principalmente se utiliza para dos tareas. Por un lado, es un recurso durante la ejecución de otras funciones o tareas que necesitan la ayuda de la grúa para su ejecución, por

ejemplo durante el encofrado de los pilares se necesita la grúa para colocar los paneles de encofrado, durante el hormigonado de los pilares también es necesaria la grúa o durante la instalación de las redes tipo V de protección contra caída de altura. Por otro lado, la grúa también se usa como recurso para el transporte de materiales hasta el lugar donde posteriormente serán puesto o instalados, como por ejemplo el transporte de la ferralla para el forjado, de los casetones o de las tablas para el entablado del mecano.

Nº	FUNCIÓN	BREVE DESCRIPCIÓN	VARIACIONES
24	Disponer de la grúa	La grúa se emplea para la ejecución de muchas otras funciones, ya sea para transportar materiales para su montaje o desmontaje o para ubicarlos en el lugar donde serán utilizados posteriormente. Es esencial que la grúa esté disponible cuando otras funciones van a realizarse o de otro modo esas funciones tendrán que esperar para ser ejecutadas.	Pueden existir retrasos en la disponibilidad de la grúa debido a una inadecuada previsión y organización de los trabajos con la grúa. También puede existir imprecisión si se dispone de la grúa cuando ésta no debe usarse por cuestiones climáticas, falta de mantenimiento o averías. Esta función afectar a gran cantidad de funciones aguas abajo y originar conflictos en la obra.

Tabla 4. Variabilidad de la función <Disponer de la grúa>
(Elaboración propia)

Tal y como se observa en la Tabla 4, esta función presenta variabilidad en términos de tiempo y precisión. De este modo, su salida puede producirse demasiado tarde, lo que implicaría que la grúa no está disponible para su uso cuando se la necesita. Igualmente, su salida puede ser imprecisa si la grúa se utiliza cuando no debería utilizarse por ejemplo debido a malas condiciones climáticas, falta de mantenimiento o averías.

La segunda función que se presenta a modo de ejemplo es la función <Instalar protecciones colectivas/individuales>. Los técnicos de seguridad son los responsables de realizar esta función, ya que deben instalar las protecciones colectivas como redes tipo V, barandillas, redes bajo forjado, redes verticales, etc. y protecciones individuales como la línea de vida.

Nº	FUNCIÓN	BREVE DESCRIPCIÓN	VARIACIONES
29	Instalar protecciones colectivas/individuales	Los técnicos de seguridad instalan las protecciones colectivas o en su defecto individuales en la obra previamente a la ejecución de otras funciones o actividades.	Puede variar y no estar finalizada a tiempo generándose la salida demasiado tarde. De este modo, otras funciones aguas abajo se ejecutarían sin que las protecciones estuvieran preparadas. Además, puede ser imprecisa si no se instalan adecuadamente las protecciones, lo que implicaría que éstas podrían dejar de ser efectivas.

Tabla 5. Variabilidad de la función <Instalar protecciones colectivas/individuales>
(Elaboración propia)

En la Tabla 5 se recogen las variaciones que puede presentar la salida de esta función debido a la variabilidad interna y externa que afecta a la función durante su ejecución.

La salida de esta función son las protecciones colectivas o individuales instaladas y puede ser imprecisa si la instalación no se ha realizado adecuadamente, lo que podría implicar la pérdida de efectividad de dichas protecciones entrañando un grave riesgo para los trabajadores, dado que la mayoría de ellas protege de caída de altura. Además, podría producirse la salida demasiado tarde debido a que no se hayan podido instalar las protecciones a tiempo afectando a la ejecución de otras funciones que las necesitan.

La tercera función presentada es <Recibir el hormigón en la obra>. La salida de esta función es que en la obra se ha recibido hormigón que está disponible para su vertido. El hormigón es entregado por un proveedor desde la planta más cercana a la obra. El jefe de obra o el encargado son responsables de prever la evolución de los trabajos en la obra y en base a ello acordar la fecha de entrega del hormigón con la planta.

Nº	FUNCIÓN	BREVE DESCRIPCIÓN	VARIACIONES
11	Recibir el hormigón en la obra	El jefe de obra o el encargado de la obra son los responsables de que encargarse el hormigón con suficiente antelación para que éste esté disponible en la obra cuando las tareas o funciones que deben realizarse para su puesta en obra hayan sido terminadas.	Pueden ocurrir variaciones debido a que el hormigón llegue a la obra demasiado pronto o demasiado tarde con respecto a la finalización de los trabajos previos al hormigonado, principalmente esto suele ocurrir por una mala planificación de la fecha de entrega o por factores externos como el tráfico o el exceso de trabajo de la planta. Esto afectaría a la puesta del hormigón en la obra. También podrían aparecer variaciones si la entrega del hormigón es imprecisa y no se dispone de la cantidad o el tipo de hormigón necesario.

Tabla 6. Variabilidad de la función <Recibir el hormigón en la obra>
(Elaboración propia)

En la Tabla 6 se describen las variaciones que puede presentar la salida de esta función. La variabilidad más relevante que puede generarse es debida a cuestiones de tiempo, es decir, que el hormigón sea entregado demasiado pronto o demasiado tarde y afecte a la ejecución de otras funciones. Normalmente, esta variabilidad se origina por una planificación inadecuada o una previsión imprecisa de la evolución de los trabajos en ejecución en la obra. Además, la entrega con retraso puede deberse también a problemas de tráfico o de la propia planta que no es capaz de satisfacer los pedidos.

Sucesivamente se fue realizando este análisis con el resto de funciones del modelo. Posteriormente se llevó a cabo el cuarto paso donde se analizó de la propagación de la variabilidad. Así, esta vez se tuvo en consideración cómo afecta la variabilidad identificada en el apartado anterior al resto de funciones aguas abajo o aguas arriba y cómo puede propagarse esta variabilidad por todo el sistema a través de los acoplamientos. Para ello, fue necesario plantear diferentes instanciaciones, es decir, escenarios concretos que permitan evaluar la propagación de la variabilidad real.

De este modo se encontraron algunas funciones que destacan por su potencial impacto en la variabilidad del sistema. La mayoría de ellas han sido presentadas en las tablas anteriores.

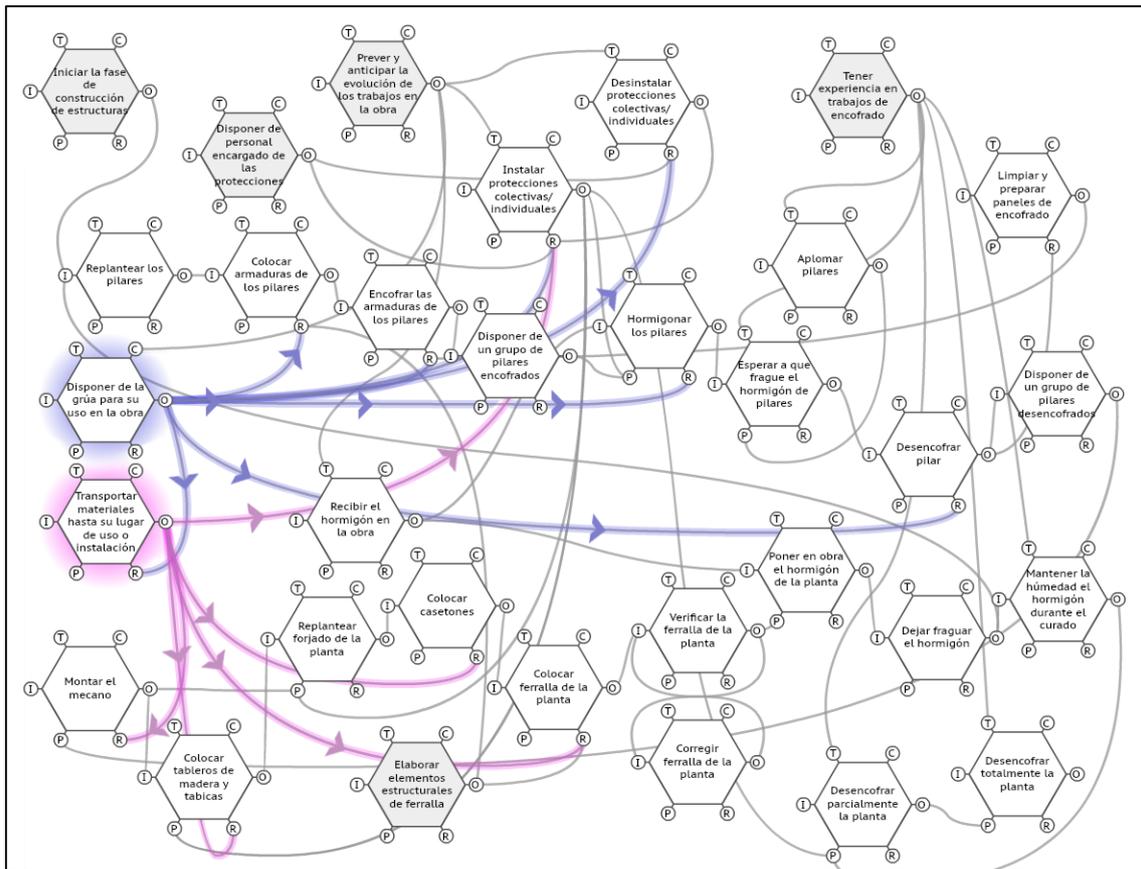


Figura 21. Propagación de la variabilidad de la función <Disponer de la grúa> (Elaboración propia)

En primer lugar, destaca la función <Disponer de la grúa>, cuyos acoplamientos se muestran en la Figura 21. Como se indicó anteriormente, la grúa se emplea para la ejecución de muchas otras funciones, ya sea para transportar materiales para su montaje o desmontaje o para ubicarlos en el lugar donde serán utilizados posteriormente. Es esencial que la grúa esté disponible cuando otras funciones van a realizarse o de otro modo se generará variabilidad y esas otras funciones tendrán que esperar para ser ejecutadas. Tal y como se observa en la Figura 21, la variabilidad en asociada a la disponibilidad de la grúa puede propagarse a un elevado número de funciones afectando de manera significativa a la ejecución de los trabajos en la obra. Por ello, es de especial interés el estudio de las tareas que realiza el gruísta y el análisis de cómo se planifica y prioriza en el desempeño diario el uso de la grúa. Esta variabilidad no solo puede dar lugar a retrasos en la ejecución, sino que puede incrementar la presión y la carga de trabajo de los trabajadores que deben finalizar otras tareas a tiempo. Incluso se pueden generar conflictos y disputas por el uso de la grúa entre las

diferentes cuadrillas que trabajan en la obra simultáneamente. Además, este gran impacto de la grúa en los trabajos de construcción de estructuras y la presión por ejecutar otras actividades puede derivar a que la grúa sea utilizada cuando no debe usarse debido a que no se dan las condiciones para ello, incrementando más aún la variabilidad que se propaga por el sistema y puede amplificarse dando lugar a un evento no deseado como un accidente.

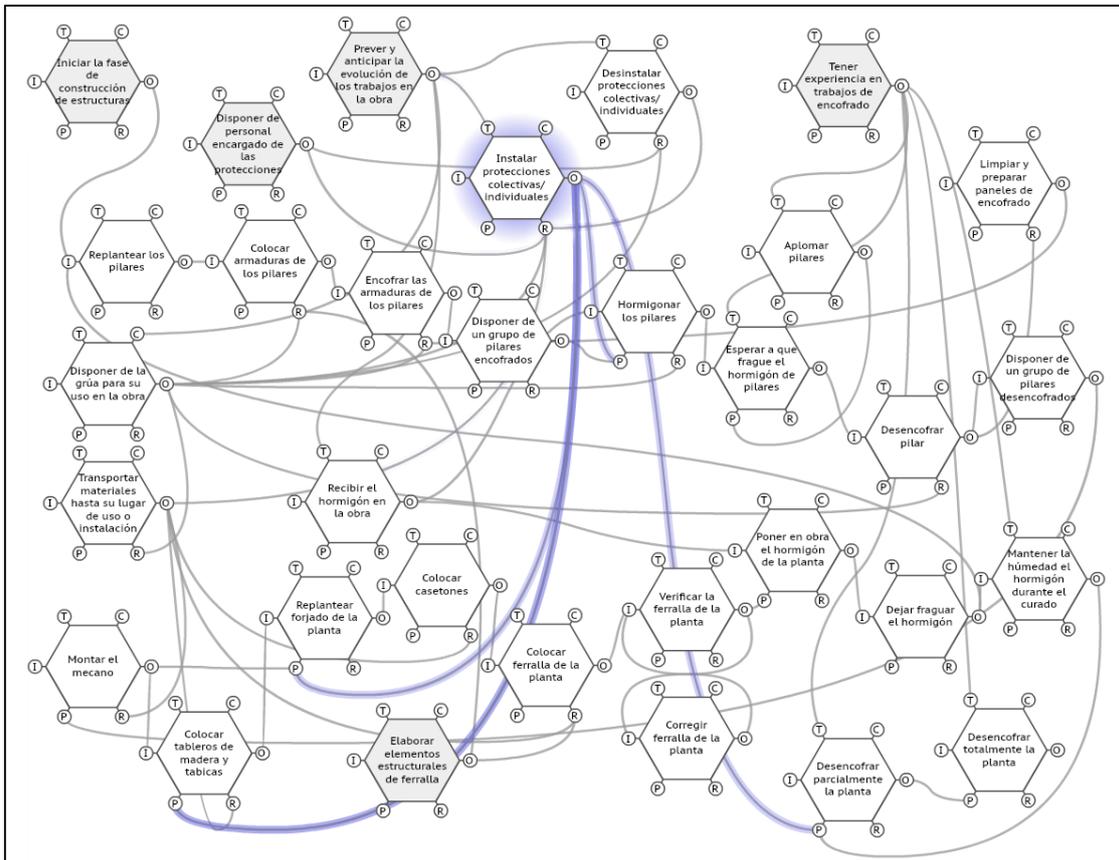


Figura 22. Propagación de la variabilidad de la función <Instalar protecciones colectivas/individuales> (Elaboración propia)

En segundo lugar, se puede destacar la función <Instalar protecciones colectivas/individuales> cuya propagación de la variabilidad se muestra en la Figura 22. Es significativo como esta función es siempre una precondition de otras funciones aguas abajo y si las protecciones no están instaladas a tiempo en teoría las otras funciones no podrían ejecutarse. Sin embargo, en la práctica estas funciones aguas abajo, como por ejemplo hormigonar el pilar o colocar el entablado, en ocasiones empiezan a ejecutarse sin que se haya terminado la instalación de las protecciones. Esto se debe frecuentemente a la elevada presión y carga de trabajo que suele existir en la obra, especialmente, cuando los trabajos son ejecutados por subcontratas. Además, la propia variabilidad de esta función se puede ver incrementada o amplificada

por la variabilidad que recibe de otras funciones aguas arriba. Por un lado, es posible que no se disponga de suficientes técnicos de seguridad en la obra, lo que dificultaría la instalación a tiempo de protecciones. Por otro lado, en ocasiones el personal de seguridad no es avisado con suficiente antelación de los trabajos que van a ser ejecutados. Si bien es cierto que ellos intentan prever y anticipar la evolución de los trabajos no siempre es posible debido a la falta de comunicación o coordinación. Además, hay que señalar que en las entrevistas se puso de manifiesto como otros trabajadores desmontan las protecciones colectivas como barandillas para ejecutar algunas tareas, lo cual dificulta más aún que las protecciones estén instaladas adecuadamente y en tiempo.

En tercer lugar, aparece otra función que es importante tener en consideración por su capacidad de generar variabilidad en el sistema. Esta es la función <Recibir el hormigón en la obra>. A priori esta función no presenta acoplamientos con muchas funciones por lo que podría pasar desapercibida. Sin embargo, durante la mayor parte de las entrevistas se puso de manifiesto la importancia de la fecha de entrega del hormigón en la obra. De hecho, la principal causa de realización de horas extra mencionada por los trabajadores fue la necesidad de finalizar todas las tareas a entes de la entrega del hormigón. Cuando se recibe el hormigón en la obra se dispone solo de unas cuantas horas para su vertido y a veces incluso menos dependiendo de factores externos como la distancia desde la planta a la obra o el tráfico. Por este motivo, el día que se recibe el hormigón deben estar todas las tareas anteriores finalizadas. Así, antes de verter el hormigón de la losa se debe haber realizado la verificación del forjado y esta función debe realizarse con suficiente antelación, al menos el día antes del vertido, ya que si se detectan incidencias éstas deben ser subsanadas antes del hormigonado. Para verificar el forjado éste debe haber sido finalizado, para poder montar el forjado, los casetones deben de haberse colocado, para ello el replanteo debe haberse realizado, para ello el entablado debe estar colocado... y así sucesivamente. De este modo, se observa como la variabilidad de la función <Recibir el hormigón en la obra> se propaga a la función <Poner en obra el hormigón de la planta> y a través de esta última se propaga aguas arriba por todo el sistema.

Por último, durante el análisis de la variabilidad se encontraron dos funciones de fondo que, aunque representan los límites del sistema analizado y no son el objeto del presente estudio, deben ser mencionadas dado que podría ser de interés realizar otros estudios posteriores centrados en ellas o desarrollar acciones específicas para fortalecerlas y mejorarlas. Por un lado, destaca la función <Tener experiencia en trabajos de encofrado>. El nivel de experiencia del encargado de los encofradores, así

como de los encofradores puede afectar a cómo de precisa y de rápida es la ejecución de las tareas, por ejemplo, para determinar cuándo se debe desencofrar los pilares o cuándo se debe regar la planta. Por otro lado, cabe mencionar la función <Prever y anticipar la evolución de los trabajos en la obra>. Esta capacidad de prever cómo evolucionarán y cuándo se finalizarán los trabajos que se están ejecutando en un momento determinado en la obra es fundamental, ya que puede afectar a cuestiones tan importantes como que las protecciones estén instaladas a tiempo, que la grúa esté disponible cuando se la necesita o que el hormigón sea entregado en la obra cuando todo esté preparado para su vertido sin que se haya tenido que incrementar la carga de trabajo de forma excesiva. De este modo, estas funciones ponen de manifiesto la importancia que tienen en la ejecución de estructuras factores contextuales como son la experiencia previa y la capacidad de previsión y planificación de los trabajos.

En el cuarto y último paso del FRAM, se deben extraer las principales conclusiones del análisis y proponer medidas en base a ellos. En el caso del presente estudio, las medidas que se desprenden de este análisis junto con las que se desprendan de la aplicación de método de decisión crítica serán presentadas en el apartado 6.3. No obstante, a modo de resumen se presentan los principales puntos de interés encontrados durante el análisis que representan oportunidades para mejorar la gestión de la seguridad en la construcción:

- Debido al impacto de la disponibilidad de la grúa en la ejecución de los trabajos de construcción de estructura, se recomienda en profundidad las tareas del gruista y cómo éste lleva a cabo la toma de decisiones en el día a día, tanto en la ejecución como en la organización y priorización de sus tareas.
- Para garantizar la instalación de protecciones colectivas e individuales en la obra a tiempo y de forma precisa, se recomienda analizar el proceso de instalación de protecciones para mejorarlo en diferentes aspectos como son los canales de comunicación con los técnicos de seguridad y los mecanismos para garantizar que los recursos disponibles son suficientes para llevar a cabo estas tareas a tiempo. Además, sería necesario analizar si es posible evitar que sean precondiciones para la realización de una tarea y convertirlas en la entrada de dicha tarea, es decir, que la instalación de protecciones sea lo que active la ejecución de otras tareas. Esto supondría una integración real y efectiva de la prevención de riesgos laborales en la ejecución de los trabajos.

- La determinación de la fecha en la cual el hormigón se recibirá en la obra y estará disponible para su vertido puede incrementar notablemente la variabilidad de todas las actividades de construcción de estructuras. Por ello, deberían establecerse criterios o procedimientos que faciliten la toma de decisiones en este sentido considerando toda la información necesaria.
- Establecer acciones concretas que mejoren la cultura preventiva, no solo de los trabajadores, sino también de las subcontratas como organización. Se encontró que algunos trabajadores reconocían tomar riesgos a pesar de tener formación en seguridad para lograr alcanzar los objetivos de trabajo debido a presiones internas en su organización, ya que de otro modo podrían poner en riesgo su puesto de trabajo.
- En relación a la capacidad de prever los trabajos en la obra es fundamental no solo que exista una planificación, sino que esa planificación se actualice en tiempo real y se adecue a las condiciones de trabajo que existan en cada momento en la obra. Además, esa previsión es importante que sea comunicada adecuadamente.
- En cuanto a la experiencia previa y conocimientos en la ejecución de los trabajos, no solo es importante que se garantice que los encargados y los trabajadores que deben tomar decisiones tengan dicha experiencia, sino que sería recomendable se establezcan mecanismo que garanticen que esta experiencia se transmite a otros trabajadores para fortalecer la cultura preventiva y la capacidad de juicio de toda la organización en conjunto.

6.2 Análisis de eventos inesperados y determinación de señales débiles en los trabajos con la grúa

Dentro de las principales actividades, aspectos o puntos críticos detectados en el apartado anterior, se encontró que las operaciones realizadas con la grúa son de especial interés por su impacto en la variabilidad y por ende en la gestión de la seguridad en las obras de construcción.

En base a ello, en el presente apartado se han seleccionado estas operaciones para ser estudiadas en profundidad con el fin de analizar eventos inesperados y señales débiles vinculados a ellas. De este modo, se pretende explorar la variabilidad con la que los operadores de grúa tratan en su trabajo diario y comprender las diferentes estrategias que utilizan para evitar las posibles consecuencias negativas de eventos inesperados.

Para ello, se han empleado entrevistas en profundidad con gruistas, con el fin de determinar aquellos eventos que, aunque muy rara vez en el pasado, ocurrieron de forma inesperada, con o sin resultados.

Para alcanzar este propósito, se ha aplicado la Técnica del Incidente Crítico (Flanagan, 1954) en su modelo más desarrollado el Método de la Decisión Crítica (Klein and Armstrong, 2005; Stanton, 2005), con el objetivo de determinar situaciones de problemas potenciales, tanto aquellas que estaban previstas por los profesionales, pero fueron sorprendentes, y por lo tanto inesperadas, como aquellas que eran inesperadas y además impensables que ocurrieran en el momento que ocurrieron. Esto abarca dos situaciones con la característica común de la sorpresa del sujeto o trabajador, y dos tipos de decisiones críticas que se pueden tomar. La primera se basa en la variabilidad prevista, y la segunda en la variabilidad imprevista que requiere la movilización de recursos adicionales. La identificación de estos dos tipos de decisiones críticas, ayudará al desempeño resiliente en este tipo de actividades.

6.2.1 Descripción de la grúa y del trabajo del gruista

Una de las máquinas más utilizadas e importantes en la construcción de edificios de gran altura son las grúas torre (Everett et al., 1993), ya que es la que permite elevar y desplazar cargas que por su peso, volumen o dimensiones serían muy complicadas de trasladar por medios no mecánicos. Existen diferentes tipos que permiten adaptarse a las necesidades de las obras. En este trabajo nos vamos a centrar en las grúas torres ya que son las más utilizadas debido a sus funcionalidades y, que clasificaremos según su movilidad o según su pluma. Según su movilidad pueden ser fijas o móviles, siendo la principal diferencia entre ellas la existencia o no de raíles u otros medios para permitir su desplazamiento. En cuanto a la pluma, las grúas pueden ser (i) horizontales, que permiten levantar cargas de gran peso o, (ii) articuladas, que pueden utilizarse en posición horizontal, ángulo obtuso y recto.

La instalación de este tipo de grúa es temporal, están diseñadas para ser montadas y desmontadas con frecuencia. A continuación, se describen los diferentes elementos que componen una grúa con el fin de familiarizar al lector y facilitar la comprensión de las situaciones inesperadas que se detallarán en el apartado de resultados:

- Mástil: Es una estructura de celosía metálica de sección normalmente cuadrada, cuya principal misión es dotar a la grúa torre de altura suficiente.

- Pluma: Es una estructura de celosía metálica de sección normalmente triangular también conocida como flecha, cuya principal misión es dotar a la grúa del radio o alcance necesario.

- Contraflecha: está unida al mástil en la dirección contraria donde se une con la pluma. La longitud debe tener entre 30 y 35% de la longitud de la pluma. Al final de la contraflecha se colocan los contrapesos.

- Contrapeso: ayudan a estabilizar la grúa, tanto en reposo como en movimiento. Se componen por estructuras de hormigón prefabricado que deben llevar identificado su peso de forma legible e indeleble.

- Lastre: generalmente está conformada por varias piezas de hormigón que se ubican en la base de la grúa. También puede estar formada por una zapara enterrada. Ayudan a estabilizar la grúa en condiciones adversas, como viento fuerte.

- Carro: es un dispositivo que se mueve a lo largo de la pluma o flecha a través de carriles y sirve para darle maniobrabilidad a la grúa.

- Cables y ganchos: son los elementos que permiten la elevación y sujeción de la carga, constituyendo la parte más delicada de toda la estructura que requieren de frecuentes revisiones.

- Órgano de aprehensión: es el dispositivo que sirve para soportar, coger o elevar la carga. Existen diversos elementos para ello, electroimanes, ganchos, etc. Para evitar la salida de eslingas y cadenas, el gancho debe disponer de pestillo de seguridad.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**³ se muestran dichos elementos gráficamente.

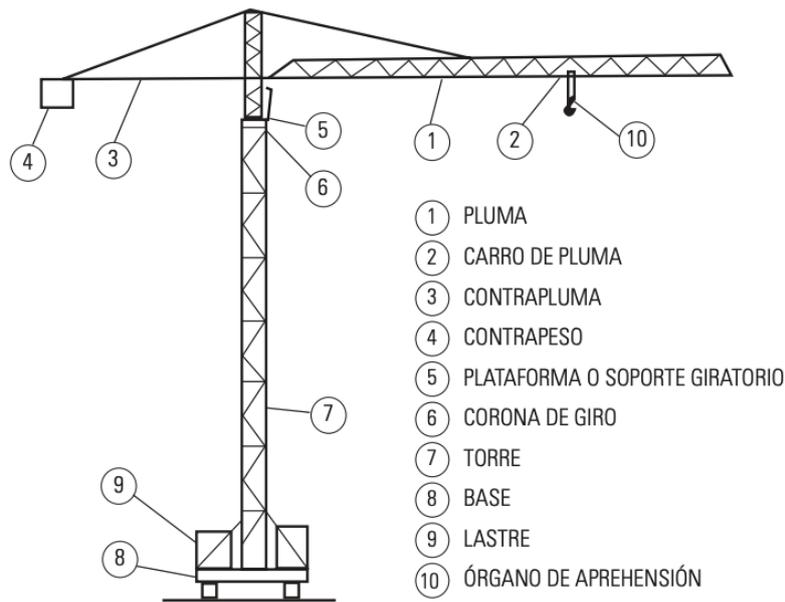


Figura 23. Componentes de una Grúa Torre Desmontable (R.D. 836/2003, de 27 de junio, Anexo I)

Además, las grúas cuentan con una serie de dispositivos llamados limitadores cuya misión es crucial pues de ellos depende la estabilidad de la grúa y el mantenimiento de esta bajo unos niveles de seguridad. Entre ellos, el limitador de sobreesfuerzos, de recorrido, de giro, etc.

La grúa desempeña un papel muy importante en la ejecución de las obras de construcción de edificios, ya que levantan y transportan los recursos necesarios durante todo el proceso de ejecución (Al Hattab et al., 2018). Los movimientos de esta máquina se realizan a muy poca distancia y por encima de los trabajadores, generando zonas de trabajo superpuestas (Shapira and Lyachin, 2009). Estas situaciones junto con las limitaciones de tiempo, presupuesto y mano de obra que son normales en los proyectos de construcción hacen que se convierta en una actividad que requiere especial atención con el fin de mejorar la gestión de la seguridad, ya que el uso de las grúas aumenta aún más los riesgos en las obras de construcción que, como se ha comentado, son lugares en los que existe un alto nivel de riesgo.

El operador de grúa tiene la responsabilidad de asegurarse que todo el equipo siga los procedimientos de seguridad durante las operaciones. Además, debe inspeccionar todos los elementos de la grúa para asegurarse que no haya partes defectuosas o en mal funcionamiento que puedan provocar daños (INSHT). En relación al transporte de la carga, el operador se enfrenta al desafío del control de la oscilación de la carga,

además de tener una gran capacidad para dominar las interfaces de control que en ocasiones pueden ser no intuitivas. Por lo tanto, el operador de grúa requiere una planificación avanzada, capacitación y conocimiento de su propio trabajo (Zhang et al., 2010).

De este modo, la grúa deberá ser confiada a una persona responsable y capacitada, ya que del gruista va a depender en parte el buen ritmo de la obra y, en una parte importante la seguridad de todos los trabajadores que en ella trabajan. En España, el Real Decreto 836/2003 establece los requisitos para obtener el carné de gruista, que es necesario para manejar grúas torre. El carné se puede obtener a través de dos vías; (i) mediante la concurrencia de varios requisitos y (ii) cuando se disponga de un título de formación profesional o de un certificado de profesionalidad incluido en el Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales, cuyo ámbito competencial coincida con las materias objeto del Reglamento de Aparatos de elevación y manutención de los mismos, aprobado por el Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre, y de esta Instrucción Técnica Complementaria. Los requisitos para la primera vía son: ser mayor de edad, estar en posesión del título de graduado en educación secundaria obligatoria, la superación de un curso teórico-práctico impartido por una entidad acreditada por el órgano competente de la comunidad autónoma donde se realice el curso, la superación de un examen realizado por el órgano competente de la comunidad autónoma donde se ha realizado el curso indicado en el párrafo anterior. En ambos casos, superar un examen médico sobre agudeza visual, sentido de la orientación, equilibrio y agudeza auditiva y aptitudes psicológicas.

En la literatura se pueden encontrar trabajos que tratan de facilitar el trabajo de los operadores de grúa mediante diferentes propuestas. Por ejemplo, Cheng y Teizer (2012) proponen un enfoque para mejorar la comprensión de la disposición de la obra de construcción con una mayor visibilidad de las operaciones a nivel del suelo. Hwang (2012) presenta un método que integra tecnologías de seguimiento de precisión para prevenir la colisión ayudando a los operadores de grúa a mejorar su conocimiento de la situación mientras operan equipos en la obra. Aumentar la conciencia situacional del operador de grúa ha sido un factor esencial para muchos investigadores ya que lo consideran como un factor clave para la seguridad operacional. En la literatura también se pueden encontrar trabajos que se centran en la formación y la capacitación de los operadores de grúa. Por ejemplo, Häkkinen (1993) señala que en lo que respecta a la capacitación, la educación de todos los trabajadores en el entorno de las grúas es muy importante. El autor, a partir de un análisis descubrió que la mayoría de las víctimas de

accidentes eran trabajadores que ayudaban en el proceso de agarre y manipulación de las cargas con las manos durante el levantamiento. Por otro lado, Rezazadeh (2011) ha desarrollado un sistema de entrenamiento de grúa virtual que se puede controlar mediante comandos de control extraídos de gestos faciales y es capaz de levantar cargas en obras de construcción en un entorno virtual.

Sin embargo, no se han encontrado trabajos en la literatura cuyo objetivo sea analizar los mecanismos o recursos que tienen los operadores de las grúas en sus operaciones diarias para gestionar dichas situaciones complicadas y mejorar la seguridad en el proceso de ejecución de una obra de construcción.

Por todo lo expuesto anteriormente, en este apartado se analizó y describió la variabilidad con la que los operadores de grúas, gestionan su trabajo diario para comprender las diferentes estrategias que utilizan para evitar las consecuencias negativas de esta variabilidad. Para alcanzar este objetivo, se ha realizado una experimentación basada en el método de decisión crítica que se detalla en el presente informe, que consiste fundamentalmente en la realización de entrevistas con operadores de grúas torre con una amplia experiencia profesional en el sector de la construcción. Los resultados resaltan una distinción entre *situaciones potenciales* en las que el problema fue previsto de antemano por profesionales y *situaciones no imaginadas* que eran impensables para el operador de grúa con anterioridad y en el momento de su aparición. La identificación de estas dos situaciones ofrece oportunidades para la comunidad investigadora en el dominio de la gestión de la seguridad en los proyectos de construcción.

6.2.2 Análisis de situaciones imprevistas en trabajos con la grúa

En este apartado se clasificarán y detallarán las situaciones imprevistas según el criterio definido anteriormente: *situaciones potenciales* y *situaciones no imaginadas*.

Para ello, en primer lugar, se proporciona la información de los operadores de grúa, así como el número de incidentes obtenidos de cada uno de ellos. Como se puede observar en la Tabla 7, los tres gruistas cuentan con una experiencia como operador de grúa alrededor de los 15 años y una experiencia en el sector de la construcción de más de 20 años (considerando los años como operador de grúa). También se puede observar en la Tabla 7 el número de incidentes que han sido recordados por cada uno de los gruistas, que suman un total de 29 situaciones.

	GRUISTA 1	GRUISTA 2	GRUISTA 3
EDAD	61	40	50
ANTIGÜEDAD COMO GRUISTA	16	15	17
ANTIGÜEDAD EN SECTOR CONSTRUCCIÓN	37	21	27
NÚMERO DE INCIDENTES	14	10	15

Tabla 7. Datos generales de los operadores de grúa entrevistados
(Elaboración propia)

Llegados a este punto, merece la pena recordar la diferencia entre las dos clasificaciones. Una situación imprevista puede ser una situación que el operador de grúa ya había previsto como posible antes de la intervención. En este caso, lo inesperado no está directamente relacionado con el evento, sino con el momento en que se produjo este evento, que el profesional no pudo determinar con certeza antes. Estas situaciones se identifican como *situaciones potenciales*. Por el contrario, una situación puede ser inesperada en su propia naturaleza: el evento en sí no ha sido previsto por los operadores de grúa con anterioridad. La situación no es sorprendente debido a su aparición inesperada, sino por su propia naturaleza, que no se ha pensado o imaginado. A estas situaciones las identificaremos como *situaciones no imaginadas* en el momento en el que ocurrieron.

Siguiendo la metodología explicada en el apartado 3.4.2., en la última fase se han analizado y clasificado las situaciones inesperadas según si son potenciales o no imaginadas y, los resultados se presentan en la Tabla 8.

	Operadores de grúas			
	O ₁	O ₂	O ₃	Total
Situaciones Potenciales	6	7	12	25
Situaciones no imaginadas	8	3	3	14

Tabla 8. Clasificación de situaciones imprevistas
(Elaboración propia)

Como se puede observar, 25 incidentes han sido categorizados como situaciones potenciales en las que lo inesperado se refiere al momento en que ocurrió el evento y 14 han sido categorizados como no imaginados en el momento que ocurrió. Es decir, el 64% de situaciones se han categorizado como *situaciones potenciales* y el 35% en *situaciones no imaginadas*.

Como se detallará más adelante, en la primera categoría, los operarios de grúa han relatado situaciones de naturaleza similar. Algunos de estas situaciones son eventos

conocidos en el área de los operadores de grúa, aprendidos durante la formación y el entrenamiento o aprendizaje de los trabajadores. En estas situaciones, la adaptabilidad del sistema depende de la capacidad de los operadores para definir una envolvente de variabilidad potencial antes de cada operación, es decir, un conjunto de situaciones que pueden ocurrir. Dependiendo del operador, los eventos son más o menos inciertos, según su grado de novedad o si son más o menos conocidos.

Hay que tener en cuenta que un mismo evento puede ser una situación potencial o no imaginada según el operador que se enfrenta a dicha situación. Depende de la "capacidad de cada uno para proyectarse el mismo en el futuro a través de las condiciones actuales, locales y de corto plazo. Esta capacidad de anticipación está vinculada con la experiencia del operador, y en particular a las situaciones experimentadas anteriormente. Durante las entrevistas, nos hemos encontrado con varias situaciones en las que el operador de la grúa ha aprendido a partir de una situación que no era imaginada. Como resultado de esa experiencia, el operador ha aprendido y desarrollado mecanismos que le permiten generar la envolvente de variabilidad potencial de cara a futuras situaciones.

En la Tabla 9 se presentan las diferentes categorías que se han identificado en la fase de análisis y comparación de resultados. A continuación, se detalla cada una de ellas para profundizar más en el tipo de situaciones inesperadas a las que se refiere:

1. Cables

En esta categoría se incluyen situaciones en las que los cables han sido el elemento principal del evento inesperado.

2. Organización de Trabajo

Dentro de esta categoría se organizan las situaciones que están relacionadas directamente con la organización del trabajo del operador de grúa en la obra.

3. Problemas con cargas

En esta categoría se incluyen las situaciones en las que las cargas son el elemento principal.

4. Comunicación e interferencias

Esta categoría es general y, aunque se podrían incluir las situaciones dentro de otras categorías, se ha decidido separar ya que los tres gruistas entrevistados recordaron situaciones imprevistas en relación a problemas concretos de comunicación o interferencias.

5. Situaciones con viento

En esta categoría se incluyen situaciones en las que el viento ha sido protagonista de la situación inesperada.

6. Inspecciones

Esta categoría incluye situaciones en las que la Inspección de trabajo o algún organismo de control tomó parte de la situación.

7. Varios

Finalmente, esta categoría incluye situaciones que no encajan directamente en ninguna categoría anterior y que son de tipo genéricas.

Como se puede observar en la Tabla 9, la categoría que presenta un porcentaje más elevado de situaciones es la que está relacionada con problemas con las cargas (38.46%). A continuación, las situaciones en relación a la organización del trabajo (17.95%) y los problemas de comunicación e interferencias (12.82%) ocupan el segundo y tercer lugar, respectivamente. Finalmente, con porcentajes similares, las situaciones categorizadas como cables, viento y varios ocupan las últimas posiciones. Sin embargo, cabe destacar que a pesar de ser éstas últimas las que cuentan con un número de situaciones, incluyen situaciones por parte de los tres operadores de grúa entrevistados. La otra categoría que incluye situaciones por parte de los tres es la relacionada con los problemas en las cargas.

	O ₁	O ₂	O ₃	TOTAL	
				N	%
CABLES	1		1	2	5,13%
ORGANIZACIÓN DE TRABAJO	4		3	7	17,95%
PROBLEMAS CON CARGAS	3	7	5	15	38,46%
COMUNIC./INTERFERENCIAS	1	1	3	5	12,82%
VIENTO	1	1	1	3	7,69%
INSPECCIONES	3			3	7,69%
VARIOS	1	1	2	4	10,26%

Tabla 9. Categorías de situaciones imprevistas
(Elaboración propia)

A partir de esta primera tabla de resultados con la categorización de situaciones imprevistas, se plantea la clasificación de estas situaciones en las dos categorías previamente explicadas: *situaciones imprevistas (P)* y *situaciones no imaginadas (NI)*. Los resultados de esta clasificación se pueden observar en la Tabla 10, dónde para

cada operador de grúa entrevistado se subdividen las situaciones previamente enumeradas en estas dos categorías. En la parte derecha de la Tabla se presenta el porcentaje tanto para las *situaciones potenciales* como para las *situaciones no imaginadas* en cada una de las categorías. De manera similar, en la parte inferior de la Tabla, se resume el total de situaciones para dichas categorías para cada uno de los operadores de grúa.

En cuatro de las siete categorías, el porcentaje total de *situaciones potenciales* está por encima del 50% y en dos de éstas es el 100%. Por el contrario, el número de *situaciones no imaginadas* es superior al 50% en tres de las siete categorías. Como se detalló en la Tabla 8 de manera general, el número de *situaciones potenciales* duplica al de *situaciones no imaginadas*.

A continuación, se detallan algunas curiosidades en relación a los resultados presentados en la Tabla 10:

- Todas las situaciones de la categoría de viento han sido identificadas como *situaciones potenciales*.
- Todas las situaciones de la categoría de cable han sido identificadas como *situaciones potenciales*.

	O ₁		O ₂		O ₃		TOTAL	
	P	NI	P	NI	P	NI	%P	%NI
CABLES	1				1		100%	0%
ORGANIZACIÓN DE TRABAJO	1	3			2	1	43%	57%
PROBLEMAS CON CARGAS	2	1	5	2	4	1	73%	27%
COMUNIC./INTERFERENCIAS		1	1		3		80%	20%
VIENTO	1		1		1		100%	0%
INSPECCIONES	1	2					33%	67%
VARIOS		1		1	1	1	25%	75%
Total situaciones P/NI	6	8	7	3	12	3		

Tabla 10. Clasificación de situaciones imprevistas Potenciales (P) y No Imaginadas (NI)
(Elaboración propia)

Esto refleja que este tipo de situaciones corresponden con eventos ampliamente conocidos en el ámbito de los operadores de grúa, que han sido aprendidos y asimilados durante la formación de dichos trabajadores. En estas situaciones el grado de novedad

es reducido ya que las situaciones que pueden ocurrir son más o menos conocidas. En la situación potencial que se detalla a continuación en la Figura 24, se puede observar como el operador de la grúa tiene integrado en su procedimiento de trabajo un protocolo de comprobación antes de coger la grúa y, además, sabe qué hacer en caso de encontrarse ante una situación de este tipo.



Figura 24. Situación Potencial de la categoría de cables
(Elaboración propia)

Las situaciones relacionadas con el viento, también han sido clasificadas como *situaciones potenciales* porque la situación inesperada era conocida con anterioridad al momento del suceso. En dos de las tres situaciones obtenidas el problema radica en que el anemómetro o el sistema de aviso sonoro estaba averiado, por lo que los gruistas no tenían información y no eran conscientes del fuerte viento hasta que no tenían la carga en suspensión. En estas dos situaciones, los dos operadores de grúa recibieron presiones por parte del encargado de la obra para que llevaran la carga a pesar de las altas rachas de viento. Uno de ellos, llevó la carga con la máxima prudencia a pesar del viento y el otro decidió parar la grúa y llevarse la botonera para que no pudiera llevar la carga otra persona ya que la responsabilidad de la grúa recae sobre él.

A continuación, se detallan algunas *situaciones no imaginadas*:

La primera situación está incluida en la categoría de Organización del trabajo.



Figura 25. Situación no imaginada de la categoría de Organización del trabajo

Como se puede observar en esta situación recogida en la Figura 25, ocurren dos situaciones inesperadas; por un lado, que el encargado le pida al peón que coja la grúa sin tener formación y, por otro lado, y en consecuencia de su inexperiencia, que la carga se balancea excesivamente.

A continuación, se detalla otra situación, presentada en la Figura 26, que era desconocida por el operador de la grúa antes de que se produjera. En esta situación, el cambio en la forma de colocar los pescantes hace que el operador de grúa tenga que desarrollar una nueva metodología de trabajo para evitar que los pescantes puedan salir disparados y ocasionar un accidente en la obra.



Figura 26. Situación no imaginada de la categoría de Problemas con Cargas

Por último, se detalla una situación dentro de la categoría de Varios. Lo interesante de esta última situación presentada en la Figura 27 y que se ha observado en otras situaciones de distinta naturaleza es la actitud que desarrolla en base a la experiencia el operador de grúa para reducir o evitar que vuelvan a ocurrir estas situaciones que hasta ese momento eran no imaginadas. Es posible que estas situaciones se repitan en un futuro, pero en este caso se clasificarían dentro de *situaciones potenciales*. En el caso comentado, el operador de grúa se lleva la llave de la botonera y le quita la batería mientras no está en la obra para evitar que nadie la pueda utilizar en su ausencia.



Figura 27. Situación no imaginada de la categoría de varios

6.3 Propuestas de mejoras en materia de Cultura Preventiva

En este apartado se presentan las principales medidas preventivas y/o correctivas relacionadas con los objetivos del proyecto. Dichas medidas han sido desarrolladas a partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación del FRAM a las actividades de construcción de estructuras con forjados reticulares en edificación residencial y de la aplicación del método de decisión crítica a las tareas realizadas por los operadores de grúa. Posteriormente se realizó una consulta a un panel expertos para analizar las propuestas obtenidas. Finalmente se obtuvieron las siguientes medidas:

- **Mejora de la comunicación y del flujo de información con los técnicos de seguridad.** En ocasiones los técnicos de seguridad responsables de la instalación de protecciones colectivas e individuales en la obra pueden no recibir con suficiente antelación la información sobre los próximos trabajos que se ejecutarán en la obra. Esto dificulta la instalación a tiempo de las protecciones, de manera que éstas estén listas antes de iniciar los trabajos. Por ello, es necesario establecer de forma clara canales de comunicación eficaces que garanticen que la información sobre la evolución y previsión de la ejecución de tareas es recibida con suficiente antelación por los técnicos de seguridad. Así mismo, es necesario mejorar la comunicación entre los encargados, tanto de la obra como de las diferentes cuadrillas y subcontratas, y los técnicos de seguridad y fomentar que en este proceso de comunicación los encargados pongan en valor las recomendaciones de los técnicos, incluso aunque comprometan la productividad. Por tanto, debe existir un flujo de información bidireccional que facilite la instalación a tiempo de las protecciones.
- **Dimensionamiento adecuado del ritmo de trabajo y los recursos de los técnicos responsables de la instalación de protecciones colectivas e individuales en la obra.** Para mantener las condiciones de seguridad necesarias en la obra, es necesario no solo que los técnicos de seguridad dispongan de la información suficiente y a tiempo sobre la planificación de los trabajos a ejecutar de forma inminente, sino que es necesario que estos técnicos dispongan de los recursos necesarios para ello. En ocasiones, el personal técnico asignado a la obra no es suficiente para instalar en un momento dado las protecciones que se necesitan a tiempo. Para evitar esta situación deben tenerse previstas acciones que eviten esta falta de recursos en un momento dado. Si no es posible la contratación puntual de personal, podría valorarse la

replanificación de los trabajos o la asignación temporal de mano de obra que, bajo la supervisión de los técnicos, ayude a agilizar el proceso de instalación de protecciones. Además, como se ha mencionado anteriormente, es importante que los trabajos relacionados con la instalación y desinstalación de protecciones colectivas e individuales sean preferentes en el uso de la grúa.

- **Desarrollo de estrategias y acciones específicas para poner en valor la importancia de las medidas de seguridad en la obra.** En relación con las medidas de seguridad en general en la obra, y en particular con las protecciones colectivas e individuales, es necesario establecer mecanismos para garantizar que los trabajadores entiendan que no deben iniciar la ejecución de ninguna tarea si no están instaladas y disponibles para su uso las protecciones necesarias. Además, deben concienciarse de su uso siempre que sea necesario. Para ello, pueden establecerse charlas periódicas donde puedan, por un lado, recibir información y formación al respecto y conocer casos reales al respecto, y por otro lado, exponer dificultades para llevar a la práctica este precepto. Es fundamental para ello, que los mandos intermedios y responsables directos de los trabajadores sean los primeros que interioricen este precepto y sean ellos mismos los que fomenten el cumplimiento por parte de los trabajadores, aunque esto suponga el sacrificio de productividad en alguna ocasión.
- **Fomento de la escucha activa y mejora en la forma de comunicar las ordenes de los mandos intermedios.** Para la mejora de la cultura preventiva es esencial desarrollar una escucha activa por parte de los mandos intermedios. Esto facilita el proceso de comunicación con los trabajadores, suaviza las tensiones y favorece el entendimiento mutuo. Además, la escucha activa unida a una comunicación adecuada y respetuosa de las ordenes de trabajo favorece la tranquilidad y cooperación en la ejecución diaria de las tareas. Por ello, es importante que los mandos intermedios sean formados y adquieran capacidades en este sentido para mejorar la comunicación y la motivación de los trabajadores.
- **Reuniones breves antes del inicio del tajo.** Una buena forma de apoyar la adecuada ejecución de los trabajos diarios es la realización de reuniones breves cada día antes de comenzar a trabajar. Estas reuniones podrían basarse en una adaptación de la técnica de trabajo colaborativo SCRUM. Para ello, estas reuniones no deberían durar nunca más de 15 minutos y en ellas se debería abordar algunas preguntas claves: ¿Qué tareas se ejecutaron en el día anterior?

¿Qué incidencias o problemas surgieron? ¿Qué se va a hacer ese día? ¿Qué impedimentos o problemas dificultan llevar a cabo las tareas previstas? Además, en esas reuniones breves debería introducirse un recordatorio de la importancia de trabajar en condiciones seguras e incluso podría repasarse muy resumidamente puntos clave desde el punto de vista de la seguridad de las tareas que van a ejecutarse ese día.

- **Confirmación de incidencias y desviaciones en las reuniones de trabajo.** Para mejorar la cultura de seguridad, es necesario no solo la comunicación de incidencias y desviaciones, sino su adecuado registro para su posterior análisis y aprendizaje a partir de ellas. Por lo tanto, es importante que los mandos hablen con los trabajadores y comprendan adecuadamente qué ha sucedido. Una buena estrategia podría ser que tras las breves reuniones diarias se aprovechara para confirmar y registrar adecuadamente tanto las incidencias o desviaciones que no habían sido comunicadas cuando sucedieron, pero se han puesto de manifiesto en la reunión como las que, habiendo sido comunicadas, necesitan ser revisadas para concretar la información exacta sobre lo acontecido.
- **Puesta en valor el feedback de todos los trabajadores y establecer canales y acciones para ello.** Una de las claves para mejorar la cultura de seguridad es el feedback a los trabajadores. Para que los trabajadores participen activamente de la seguridad y la interioricen es fundamental que vean una respuesta de la organización antes sus comunicaciones, problemas o sugerencias. Si ellos se sienten escuchados y observan que, cuando es necesario, el trabajo se adapta para facilitarles la ejecución de sus tareas, se implicarán más aún en la seguridad. Por ello, se deben desarrollar canales y acciones específicos que faciliten este feedback. De este modo, todas las comunicaciones, problemas o sugerencias deben tener una respuesta que se haga visible a los trabajadores. Además, podrían desarrollarse acciones como colocación de posters o reuniones mensuales donde se transmitan las acciones más relevantes que se han llevado a cabo en respuesta a comunicaciones de los trabajadores.
- **Recopilar e integrar en el trabajo buenas prácticas y estrategias para responder antes eventos potenciales y situaciones no imaginadas.** Los trabajadores son los que mejor conocen los problemas que surgen en el día a día para ejecutar las tareas como “en teoría” debería ejecutarse (“trabajado

imaginado”). La realidad no es perfecta y es cambiante, más aún en una obra. Por ello, los trabajadores constituyen una fuente de información y conocimiento esencial para la mejora de la resiliencia y de la seguridad en la obra. En este sentido, las estrategias que ellos desarrollan para adaptarse a este entorno cambiante pueden ser de gran utilidad para otros trabajadores. Así, se recomienda que se incorporen a los procedimientos de trabajo y a la formación de los trabajadores en general, aquellas buenas prácticas y estrategias que otros trabajadores han desarrollado para responder a imprevistos, ya sean previsibles o no, como son eventos potenciales y situaciones no imaginadas. Así, es recomendable que todas esas desviaciones o mejoras que han sido detectadas en las reuniones o comunicaciones y que han supuesto el desarrollo de acciones concretas, sean evaluadas para ser integradas en la forma habitual de trabajar en el día a día y supongan una fuente de aprendizaje. De este modo, se deben establecer mecanismos que garanticen que la experiencia se transmite de unos trabajadores a otros para fortalecer la cultura preventiva de toda la organización en conjunto.

- **Implantar y fomentar el uso de canales de comunicación adecuados.** Como se ha visto en estas medidas propuestas se incluyen diferentes canales de comunicación, con los técnicos de seguridad, con los trabajadores con los mandos intermedios, etc. Hay que tener en cuenta que la idea sobre la que se sustentan estos canales son la mejora y la eficacia de la comunicación y la seguridad. De este modo, cuando se creen estos canales es necesario que se sustenten en la simplicidad y la eficacia, evitando que supongan que consuman demasiado tiempo o que su documentación sea excesiva, dado que esto podría ser contraproducente. Además, hay que desarrollar buenas prácticas y hábitos en relación al uso de los canales de comunicación para fomentar e incitar su uso por parte de los trabajadores.
- **Especial atención al trabajador que se incorpora nuevo mediante protocolos de acogida.** El desarrollo de protocolos específicos de acogida a los nuevos trabajadores que se incorporan a la obra es incrementa la satisfacción del trabajador y favorece que se transmita de una forma clara a la cultura de seguridad de la empresa al trabajador para que este pueda interiorizarla y ponerla en práctica en la ejecución diaria de sus tareas. Además, de proporcionar información escrita al trabajador es conveniente explicar y

transmitirle de forma cercana mediante una conversación los principales valores, la forma de trabajar y los canales de comunicación que tiene a su disposición.

- **Desarrollo de acciones por parte del contratista principal para fomentar una cultura preventiva adecuada entre los subcontratistas.** Establecer acciones concretas que mejoren la cultura preventiva, no solo de los trabajadores, sino también de las subcontratas como organización. Se encontró que algunos trabajadores reconocían tomar riesgos a pesar de tener formación en seguridad para lograr alcanzar los objetivos de trabajo debido a presiones internas en su organización, ya que de otro modo podrían poner en riesgo su puesto de trabajo. Para evitar que se den estas presiones, el contratista principal debe transmitir a las diferentes subcontratas que participan en la obra la importancia de la seguridad y de su aplicación real y efectiva. Es habitual que el contratista tenga una red de subcontratas con las que trabaja en los diferentes proyectos que va ejecutando. Por ello, el contratista debe ejercer su efecto tractor sobre las demás empresas y potenciar y poner en valor la cultura de seguridad como elemento clave para continuar trabajando en proyectos futuros. A la vez debe servir de guía y ejemplo a las subcontratas para transmitirles procedimientos de trabajo y conductas seguras. Además de las acciones específicas que se desarrollen para el fomento de la cultura preventiva, el contratista principal debe integrarla como un elemento habitual en sus reuniones y comunicaciones con las subcontratas.
- **Actualización de la planificación de los trabajos que van a realizarse para mantener un ritmo de trabajo adecuado a los recursos disponibles y a las dificultades que emergen del desempeño diario.** En relación a la capacidad de prever los trabajos en la obra es fundamental no solo que exista una planificación, sino que esa planificación se actualice en tiempo real y se adecue a las condiciones de trabajo que existan en cada momento en la obra. Así, esta previsión debe actualizarse para considerar retrasos y modificaciones que pueden derivarse de diversos factores como la previsión meteorológica, la capacidad de trabajo de la mano de obra, la disponibilidad de recursos materiales, la disponibilidad de la grúa, la instalación de protecciones, etc. Además, esa previsión es importante que sea comunicada adecuadamente a todos los trabajadores que se puedan ver afectados por ella.

- **Planificación y priorización de los trabajos con la grúa.** Tal y como se ha puesto de manifiesto en este estudio la planificación de los trabajos con la grúa es clave para mantener un ritmo de trabajo adecuado en la obra y en ocasiones puede ser fuente de conflicto en la obra. De acuerdo con las entrevistas realizadas, aunque los gruistas reciben algunas indicaciones de sus superiores sobre tareas puntuales como carga/descarga de camiones u hormigonado, la mayor parte de las tareas las organizan ellos. Por este motivo, es necesario desarrollar criterios de priorización de trabajos para las operaciones con la grúa, así como valorar la necesidad y grado de participación de responsables de la obra como jefe de obra y encargado y verificar que en esta priorización se tiene en cuenta la previsión de la evolución real e inmediata de los trabajos en la obra. Otro punto que no debe olvidarse al elaborar estos criterios es dotar de carácter preferente a los trabajos de instalación de protecciones colectivas sobre los demás. Estos criterios deberían ser elaborados con la participación de gruistas y consensuados con ellos. Además, es esencial la comunicación de estos criterios a los gruistas y la implicación de mandos intermedios como encargados o incluso el jefe de obra en su puesta en práctica.
- **Establecer criterios que garantice que la fecha de entrega del hormigón en la obra se adecua al ritmo de trabajo real en la obra.** De acuerdo con los resultados del FRAM, la determinación de la fecha en la cual el hormigón se recibirá en la obra y estará disponible para su vertido puede incrementar notablemente la variabilidad de todas las actividades de construcción de estructuras. Por ello, deberían establecerse criterios o procedimientos que faciliten la toma de decisiones en este sentido considerando toda la información necesaria para evitar que se fije una fecha demasiado adelantada con respecto al ritmo de trabajo real en la obra. En ningún caso debe emplearse esta fecha de recepción como medida de presión para forzar el ritmo de trabajo en la obra.

6. CONCLUSIONES

Dentro de las medidas propuestas se pone de manifiesto como es esencial el compromiso, no solo de la dirección de la obra, sino de los mandos intermedios. Ellos son una pieza clave para mejorar la cultura de seguridad en la obra. Estos mandos deben facilitar la comunicación con los trabajadores, para transmitirles adecuadamente las ordenes y poniendo en valor la importancia de la seguridad, incluso aunque suponga el sacrificio de la productividad. Además, se debe apoyar la comunicación y la información por parte de los trabajadores para reportar incidencias, problemas o dificultades que surjan en el desempeño de sus tareas. En este sentido, es fundamental que exista un feedback para que los trabajadores sean conscientes de la importancia y del impacto real de sus comunicaciones en la organización y ejecución de los trabajos. Por otro lado, las tareas de los gruitas deben ser organizadas de forma adecuada estableciendo criterios que faciliten esta tarea en el día a día. Los técnicos de seguridad deben recibir la información suficiente y a tiempo para anticiparse a las tareas que van a ser ejecutadas y así instalar a las protecciones necesarias antes del inicio de los trabajos. Por ello, destaca la importancia de la actualización de la planificación de las tareas en la obra considerando el ritmo actual de trabajo y posibles retrasos o desviaciones debidos a diversos factores. Además, esta planificación es fundamental para fijar la entrega del hormigón en la obra sin incrementar notablemente la carga de trabajo para terminar todas las tareas previas. Con todas estas medidas se pretende favorecer la mejora de la resiliencia en la gestión de la prevención y de la cultura de seguridad en las obras de construcción.

AGRADECIMIENTOS

Es importante agradecer a todas las empresas de construcción su colaboración en el presente proyecto facilitando las visitas a obras y a los trabajadores que voluntariamente han participado en las entrevistas. Sin ellos no hubiera sido posible la adecuada ejecución del proyecto. Así mismo, se agradece el apoyo prestado por el Instituto Andaluz de Prevención de Riesgos Laborales de la Conserjería de Empleo, Formación y Trabajo Autónomo de la Junta de Andalucía. Finalmente, se agradece también a la Universidad de Málaga su confianza y ayuda.

REFERENCIAS

- Al Hattab, M., Zankoul, E., Barakat, M., Hamzeh, F., 2018. Crane overlap and operational flexibility: balancing utilization, duration, and safety. *Constr. Innov.* 18, 43–63.
- Amorim, A.G., Pereira, C.M.N.A., 2015. Improvisation at workplace and accident causation - an exploratory study, in: Ahram, T and Karwowski, W and Schmorrow, D. (Ed.), 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, AHFE 2015, *Procedia Manufacturing*. pp. 1804–1811. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.219>
- Arévalo Sarrate, C., 2016. Metodología y técnicas analíticas para la investigación de accidentes de trabajo. Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo, Madrid.
- Cheng, T., Teizer, J., 2012. Modeling tower crane operator visibility to minimize the risk of limited situational awareness. *J. Comput. Civ. Eng.* 28, 04014004.
- Consejería de Empleo, Formación y Trabajo Autónomo, 2017. Estrategia Andaluza de Seguridad y Salud en el Trabajo 2017-2022.
- Dirección General de Relaciones Laborales y Seguridad y Salud Laboral, 2019. Estadística de Accidentes de Trabajo en Andalucía 2017. Consejería de Consejería de Empleo, Formación y Trabajo Autónomo.
- Eurostat, 2019. Accidents at work statistics - Statistics Explained [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics#Incidence_rates (accessed 7.7.19).
- Flanagan, J.C., 1954. The critical incident technique. *Psychol. Bull.* 51, 327–358. <https://doi.org/10.1037/h0061470>
- Haddad, A.N., Rosa, L.V., 2015. Construction sustainability evaluation using AHP and FRAM methods, in: IIE Annual Conference. Proceedings. Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), p. 556.
- Häkkinen, K., 1993. Crane accidents and their prevention revisited. *Saf. Sci.* 16, 267–277.
- Hale, A.R., Hovden, J., 1998. Management and culture: the third age of safety. A review of approaches to organizational aspects of safety, health and environment, in: *Occupational Injury: Risk, Prevention and Intervention*. London, pp. 129–165.
- Heinrich, H.W., 1931. *Industrial accident prevention: a scientific approach*. McGraw-Hill, New York.

- Hollnagel, E., 2017a. Safe in unsafe world? A Resilience Engineering/Safety-II Perspective.
- Hollnagel, E., 2017b. Safety-II in practice: Developing the resilience potentials, Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315201023>
- Hollnagel, E., 2014. Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate Publishing, Ltd.
- Hollnagel, E., 2012. FRAM, the functional resonance analysis method: modelling complex socio-technical systems. Ashgate.
- Hollnagel, E., 2011. Understanding Accidents, or How (Not) to Learn from the Past.
- Hollnagel, E., 2010a. On How (Not) To Learn from Accidents.
- Hollnagel, E., 2010b. How resilient is your organisation? An introduction to the resilience analysis grid (RAG), in: Sustainable Transformation: Building a Resilient Organization. Toronto, Canada.
- Hollnagel, E., 2009a. Barreras y prevención de accidentes. Editorial Modus Laborandi.
- Hollnagel, E., 2009b. The ETTO principle: efficiency-thoroughness trade-off: why things that go right sometimes go wrong. Ashgate.
- Hollnagel, E., 1998. Cognitive reliability and error analysis method (CREAM). Elsevier.
- Hollnagel, E., Woods, D.D., 2006. Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering. CRC Press.
- Hollnagel, E., Woods, D.D., Leveson, N., 2006. Resilience Engineering: Concepts and Precepts. Ashgate Publishing, Ltd.
- Hwang, S., 2012. Ultra-wide band technology experiments for real-time prevention of tower crane collisions. Autom. Constr. 22, 545–553.
- IAPRL, 2018. La cultura preventiva y el Instituto Andaluz de Prevención de Riesgos Laborales.
- INSAG, 1986. Summary report on the post-accident review meeting on the Chernobyl accident, International Nuclear Safety Advisory. ed. International Atomic Energy Agency.
- INSHT, 2015. Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2015-2020. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSHT, 2008. Análisis cualitativo de la mortalidad por Accidente de trabajo en España (2005-2007). (NIPO: 792-09-067-8). Madrid.
- INSST, 2018a. Actividades prioritarias en función de la siniestralidad. Año 2017. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- INSST, 2018b. Informe anual de accidentes de trabajo en España 2017. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

- Klein, G.A., Armstrong, A.A., 2005. Critical decision method, in: Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods. CRC Press, pp. 347–356.
- Leveson, N., 2004. A new accident model for engineering safer systems. *Saf. Sci.* 42, 237–270. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(03\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(03)00047-X)
- Patriarca, R., Falegnami, A., Costantino, F., Bilotta, F., 2018. Resilience engineering for socio-technical risk analysis: Application in neuro-surgery. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 180, 321–335. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.08.001>
- Rasmussen, J., 1997. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Saf. Sci.* 27, 183–213. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(97\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00052-0)
- Reason, J., 1990. Human error. Cambridge university press.
- Rezazadeh, I.M., Wang, X., Firoozabadi, M., Golpayegani, M.R.H., 2011. Using affective human–machine interface to increase the operation performance in virtual construction crane training system: A novel approach. *Autom. Constr.* 20, 289–298.
- Righi, A.W., Saurin, T.A., Wachs, P., 2015. A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 141, 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.03.007>
- Rosa, L.V., Franca, J.E.M., Haddad, A.N., Carvalho, P.V.R., 2017. A Resilience Engineering Approach for Sustainable Safety in Green Construction. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.* 5, 480–495. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d5.0174>
- Rosa, L.V., Haddad, A.N., de Carvalho, P.V.R., 2015. Assessing risk in sustainable construction using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM). *Cogn. Technol. Work* 17, 559–573. <https://doi.org/10.1007/s10111-015-0337-z>
- Rubio-Romero, J.C., Pardo-Ferreira, M.C., Rojas, M.M., López-Arquillos, A., Suarez-Cebador, M., 2019. Resilience Engineering: Concepts of the New Paradigm, in: *Engineering Digital Transformation*. Springer, pp. 133–140.
- Saurin, T.A., 2016. The FRAM as a tool for modelling variability propagation in lean construction, in: 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. Boston, MA, USA, p. Sect. 11 pp. 3-12.
- Saurin, T.A., Sanches, R.C., 2014. Lean construction and resilience engineering: Complementary perspectives of variability. Presented at the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014, pp. 61–71.
- Schafer, D., Abdelhamid, T.S., Mitropoulos, P., Mrozowski, T., 2009. Resilience engineering: A new approach for safety management, in: *Building a Sustainable*

- Future - Proceedings of the 2009 Construction Research Congress. pp. 766–775.
[https://doi.org/10.1061/41020\(339\)78](https://doi.org/10.1061/41020(339)78)
- Schein, E.H., 1988. Innovative cultures and adaptive organizations. Sloan School of Management, MIT.
- Shapira, A., Lyachin, B., 2009. Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes. *J. Constr. Eng. Manag.* 135, 24–33.
- Stanton, N.A. (Ed.), 2005. Human factors methods: a practical guide for engineering and design. Ashgate Pub. Co, Aldershot, England ; Burlington, VT.
- Stanton, N.A., Salmon, P.M., Rafferty, L.A., Walker, G.H., Baber, C., Jenkins, D.P., 2017. Human factors methods: a practical guide for engineering and design. CRC Press.
- Svedung, I., Rasmussen, J., 2002. Graphic representation of accident scenarios: Mapping system structure and the causation of accidents. *Saf. Sci.* 40, 397–417.
[https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00036-9)
- van der Vorm, J., van der Beek, D., Bos, E., Steijger, N., Gallis, R., Zwetsloot, G., 2011. Images Of Resilience: The Resilience Analysis Grid Applicable At Several Organizational Levels? Paris: TRANSVALOR-Presses des MINES.
- Wong, B.W., 2004. Critical decision method data analysis. *Handb. Task Anal. Hum.-Comput. Interact.* 327–346.
- Woods, D.D., Hollnagel, E., 2006. Prologue: resilience engineering concepts, in: *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. Ashgate, pp. 13–18.
- Zhang, C., AlBahnassi, H., Hammad, A., 2010. Improving construction safety through real-time motion planning of cranes, in: *Proceedings of International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. pp. 105–115.

ANEXO

Nº	FUNCIÓN	BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN	CONTRIBUCIÓN DE LA FUNCIÓN AL MODELO	VARIACIONES
1	Iniciar la fase de construcción de estructuras	Se han finalizado las fases de obra anteriores como el movimiento de tierras y la cimentación y ahora comienza la fase de construcción de la estructura.	Activa la función del replanteo de pilares	
2	Replantear de pilares	El encargado con ayuda de un peón realiza el replanteo de los pilares con azulete.	Activa la función de colocar la armadura del pilar por los ferrallas con ayuda de la grúa.	Pueden producirse variaciones en la precisión del replanteo debido a en la información disponible, lectura errónea de la misma o presión de tiempo afectando las características de la estructura. Incluso podría haber retraso porque la información no esté disponible.
3	Colocar armaduras de los pilares	Los ferrallistas colocan y cosen la armadura del pilar a las armaduras de arranque con ayuda de la grúa que transporta y sujeta la armadura durante su colocación. Si es necesario para la adecuada colocación de la armadura se deben grifar las armaduras de arranque previamente.	Activa la función de encofrar los pilares por los encofradores con ayuda de la grúa.	Pueden producirse retrasos porque la grúa no esté disponible. También pueden producirse variaciones en la precisión por diferentes motivos como son que la armadura del pilar no sea cosida adecuadamente, que las armaduras de arranque no hayan sido grifadas adecuadamente en caso de que sea necesario, que la armadura mientras es sujeta por la grúa se desplace debido a condiciones atmosféricas adversas. Todo ello puede verse afectado por la presión de trabajo.
4	Encofrar las armaduras de los pilares	Los encofradores colocan los paneles de encofrado de cada pilar ayuda de la grúa que transporta y sujeta los paneles durante su colocación. Será necesario para el correcto encofrado colocar los separadores	Activa a la función donde el encargado espera a disponer de un grupo de pilares encofrados para posteriormente proceder a hormigonarlos.	Pueden ocurrir variaciones en la precisión debido a condiciones climáticas adversas que afecten al transporte y guiado de los paneles si no se adoptan las medidas adecuadas

		en la armadura antes de colocar los paneles.		o a la colocación imprecisa o ausencia de los separadores. También se pueden originar retrasos por el ensamblado previo inadecuado de los paneles.
5	Disponer de un grupo de pilares encofrados	El encargado de los encofradores en comunicación con el encargado de la obra espera a disponer de un grupo de pilares encofrados en un área de la planta para proceder al hormigonado secuencialmente.	Es una precondition para poder hormigonar los pilares, ya que se hormigonan varios seguidos.	Pueden producirse retrasos si no hay un grupo de pilares encofrados porque no se podría iniciar el hormigonado.
6	Hormigonar los pilares	Un encofrador hormigona cada uno de los pilares y vibra el hormigón vertido entre tongada y tongada. Para ello, necesita ayuda de la grúa que transporta el cubilote con el hormigón.	Activa a la función de esperar a que fragüe el hormigón de los pilares.	Pueden producirse retrasos debido a que la grúa no esté disponible. También pueden producirse variaciones en la precisión por las condiciones climáticas que afecten al cubilote, el uso inadecuado de equipos auxiliares para el hormigonado como plataformas de trabajo, el vibrado inadecuado o por rebasar demasiado la altura del pilar.
7	Esperar a que fragüe el hormigón de pilares	Una vez vertido el hormigón, se debe esperar a que fragüe el hormigón antes de desencofrar. Normalmente encargado de los encofradores controla este tiempo que habitualmente son 24 horas, aunque puede variar dependiendo de las condiciones climáticas.	Activa la función de desencofrar pilares.	Pueden aparecer variaciones al esperar poco tiempo a que el hormigón fragüe afectado a la función aguas debajo de desencofrado, ya sea por falta de experiencia o por presión de tiempo.
8	Tener experiencia en trabajos de encofrado	Los encofradores y especialmente su encargado deben de tener experiencia para, en función de las condiciones climáticas, controlar adecuadamente los tiempos relacionados con el hormigón y su mantenimiento, encofrado o desencofrado. Así se consigue que el hormigón tenga la resistencia deseada.	Determina el momento o tiempo en el que deben activarse otras funciones relacionadas con el hormigón como son aplomar los pilares el momento adecuado, esperar a que el hormigón fragüe antes de desencofrar, mantener el hormigón de la planta húmedo en el proceso de curado o desencofrar la	Las variaciones pueden ocurrir en base a la experiencia y capacidad de juicio del encargado de los encofradores y los propios encofradores originando que otras funciones aguas abajo no se ejecuten en el momento adecuado.

			planta cuando el hormigón haya alcanzado la resistencia deseada.	
9	Aplomar pilares	Los encofradores realizan el aplomado de los pilares una vez se ha vertido el hormigón. Es importante esperar en torno a 30 minutos para evitar desplazamientos.	Es una precondition para dejar que el hormigón fragüe.	Pueden producirse variaciones si se realiza esta función demasiado pronto. También puede realizarse de forma imprecisa afectando la estabilidad del pilar y de la estructura.
10	Desencofrar pilar	Los encofradores retiran los paneles de encofrado con ayuda de la grúa que los transporta a una zona de acopio para su limpieza y preparación.	Activa la función donde el encargado espera a disponer de un grupo de pilares desencofrados para posteriormente iniciar el montaje del mecano en esa zona.	Pueden ocurrir retrasos debido que la grúa no esté disponible. Puede producirse demasiado pronto el desencofrado afectando al curado del pilar. También pueden aparecer variaciones en la precisión al verse afectado el transporte de los paneles por las condiciones climáticas si no se adoptan las medidas adecuadas,
11	Disponer de un grupo de pilares desencofrados	El encargado de los encofradores espera a disponer de un grupo de pilares encofrados en un área de la planta como condición necesaria para proceder al hormigonado secuencialmente.	Es una precondition antes de iniciar la función del montaje del mecano por parte de los encofradores.	Pueden producirse retrasos si no hay un grupo de pilares desencofrados porque no se podría iniciar la instalación del mecano.
12	Montar el mecano	Los encofradores realizan el montaje del mecano empezando siempre por un pilar para apoyar la estructura temporal.	Cuando el mecano está montado en zona por completo se activa la función de colocar los tablero y tabicas. Además, que el mecano esté totalmente montado es una precondition para iniciar la colocación de la ferralla.	Pueden producirse retrasos si faltan materiales porque la grúa no ha estado disponible para transportarlos. También pueden producirse falta de precisión en el montaje del mecano debido a presiones de tiempo, materiales en mal estado o falta de coordinación entre la cuadrilla de encofradores.
13	Colocar tableros de madera y tabicas	Los encofradores colocan los tableros de madera que conformaran el entablado, así como de las tabicas. Necesitan a la grúa para que les proporcione los tableros y demás materiales para su colocación.	Activa la función de replantear el forjado de la planta por el encargado y con ayuda de un peón.	Pueden producirse retrasos si faltan materiales porque la grúa no ha estado disponible para transportarlos. Así mismo, pueden producirse retrasos porque las protecciones necesarias, como la línea de vida, la redes bajo

				forjado u otras, no estén instaladas a tiempo. También podría ejecutarse la función sin ellas o con ellas a medio instalar comprometiendo la seguridad y precisión. Además, se pueden variaciones en la ejecución por presión de tiempo.
14	Replantear el forjado de la planta	El encargado con ayuda de un peón realiza el replanteo del forjado de la planta y los casetones con azulete.	Activa la función de colocar los casetones por los encofradores.	Pueden producirse variaciones en la precisión del replanteo debido a en la información disponible, lectura errónea de la misma o presión de tiempo afectando las características de la estructura. Incluso podría haber retraso porque la información no esté disponible.
15	Colocar casetones	Los encofradores colocan los casetones que previamente han sido transportados por la grúa hasta el lugar de colocación.	Activa la función de colocar la ferralla por los ferrallistas.	Pueden aparecer retrasos si faltan materiales porque la grúa no ha estado disponible para transportarlos.
16	Colocar ferralla de la planta	Los ferrallistas cosen y colocan la ferralla de la planta poniendo los separadores. Necesitan la ayuda de la grúa para transportar la ferralla hasta el lugar de colocación.	Activa la función de verificación por la dirección facultativa de la ferralla de la planta antes del hormigonado.	Pueden aparecer retrasos si faltan materiales porque la grúa no ha estado disponible para transportarlos. También pueden producirse imprecisiones en la colocación de la ferralla por falta de información, coordinación o presión de tiempo.
17	Verificar la ferralla de la planta	La dirección facultativa verifica la adecuada colocación de la ferralla conforme a las especificaciones del proyecto. En caso de que se detecten anomalía éstas deberán corregirse y verificarse de nuevo antes del hormigonado.	Es una precondition para que los encofradores hormigonen la planta. Además, activa la función corregir la ferralla de la planta, en el caso de que se hayan detectado anomalías durante la verificación.	Pueden producirse variaciones en la precisión de la verificación debido a errores en la información disponible, lectura errónea de la misma o presión de tiempo afectando las características de la estructura. Incluso podría haber retraso porque la información no esté disponible.
18	Corregir ferralla de la planta	Si se han detectado anomalías en la ferralla, los ferrallistas deben corregirlas	Activa la función de verificación de nuevo por la dirección facultativa de	Pueden aparecer retrasos si faltan materiales porque la grúa no ha estado disponible para transportarlos.

		para que se cumpla con las especificaciones del proyecto de la obra.	la ferralla de la planta antes del hormigonado.	También pueden producirse variaciones en la precisión por una información incorrecta, falta de coordinación o presión de tiempo.
19	Poner en obra hormigón de la planta	Los encofradores realizan la puesta en obra del hormigón con bomba, habitualmente en cuadrillas de tres: uno vierte el hormigón, otro vibra el hormigón y otro alisa el hormigón.	Activa la función de dejar fraguar el hormigón.	Pueden aparecer retrasos si el hormigón no está disponible a tiempo. También pueden aparecer variaciones en la precisión debido a un incorrecto vertido, vibrado o alisado afectando al hormigón. Así mismo la precisión puede verse afectada por las condiciones climáticas o la presión de tiempo afectando a las características del hormigón.
20	Dejar fraguar el hormigón	Antes de pisar el hormigón se debe esperar a que se endurezca.	Activa la función de mantener húmedo el hormigón	Pueden aparecer variaciones al esperar poco tiempo a que el hormigón fragüe, ya sea por falta de experiencia o por presión de tiempo.
21	Mantener húmedo el hormigón durante el curado	Los encofradores deben mantener la humedad del hormigón durante el proceso de curado, para ello deben regarlo periódicamente de forma adecuada o emplear telas.	Es una precondition de la función de desencofrar parte del mecano por los encofradores.	Pueden ocurrir variaciones en la precisión debido a falta de experiencia o capacidad de juicio.
22	Desencofrar parcialmente la planta	Los encofradores proceden a aclarar el mecano retirando tablonas, puntales y portasopandas. Este aclarado se realiza entre los 7 o 15 días del vertido del hormigón dependiendo de las condiciones climáticas.	Es una precondition de la función de desencofrar totalmente el mecano por los encofradores.	Pueden producirse variaciones al ejecutarse demasiado pronto debido a falta de experiencia o capacidad de juicio afectando a las características del hormigón. Así mismo, puede ejecutarse demasiado pronto si las protecciones colectivas y medidas de seguridad no se han instalado aún. También pueden darse variaciones por falta de experiencia al ejecutar el desencofrado o de coordinación entra los encofradores.

23	Desencofrar totalmente la planta	Los encofradores terminan de desmontar el mecano retirando las sopandas y puntales. Es importante que esta tarea no se realice antes de tiempo, es decir, a los 21 días normalmente, dependiendo de las condiciones climáticas.	Sin salida en este modelo.	Pueden producirse variaciones al ejecutarse demasiado pronto debido a falta de experiencia o capacidad de juicio afectando a las características del hormigón. También pueden darse variaciones por falta de experiencia al ejecutar el desencofrado o de coordinación entra los encofradores.
24	Disponer de la grúa	La grúa se emplea para la ejecución de muchas otras funciones, ya sea para transportar materiales para su montaje o desmontaje o para ubicarlos en el lugar donde serán utilizados posteriormente. Es esencial que la grúa esté disponible cuando otras funciones van a realizarse o de otro modo esas funciones tendrán que esperar para ser ejecutadas.	Es un recurso indispensable para la ejecución de muchas otras funciones del modelo como son colocar las armaduras de los pilares, encofrar los pilares, hormigonar los pilares, desencofrar los pilares, transportar materiales para su posterior uso o instalación en la obra y la instalación o desinstalación de determinadas protecciones colectivas.	Pueden existir retrasos en la disponibilidad de la grúa debido a una inadecuada previsión y organización de los trabajos con la grúa. También puede existir imprecisión si se dispone de la grúa cuando ésta no debe usarse por cuestiones climáticas, falta de mantenimiento o averías. Esta función afectar a gran cantidad de funciones aguas abajo y originar conflictos en la obra.
25	Transportar materiales hasta su lugar de uso o instalación	El operador de grúa transporta materiales proporcionando los recursos para que otras funciones puedan ser ejecutadas.	Proporciona los recursos para que muchas otras funciones puedan ejecutarse como son el montaje del mecano, la colocación de tableros y tabicas, la colocación de casetones, la colocación de la ferralla de la planta y la instalación de protecciones colectivas.	Pueden ocurrir retrasos si la grúa no está disponible para el transporte de materiales. También puede producirse imprecisión debido a la falta de coordinación, las condiciones atmosféricas adversas, la falta de mantenimiento, la presión de tiempo o los conflictos laborales u organizacionales.
26	Recibir el hormigón en la obra	El jefe de obra o el encargado de la obra son los responsables de que encargar el hormigón con suficiente antelación para que se reciba y esté disponible en la obra cuando las tareas o funciones que deben realizarse para su puesta en obra hayan sido terminadas.	Activa las funciones de hormigonado de pilares y de puesta en obra del hormigón de la planta por los encofradores.	Pueden ocurrir variaciones debido a que el hormigón llegue a la obra demasiado pronto o demasiado tarde con respecto a la finalización de los trabajos previos al hormigonado, principalmente esto suele ocurrir por una mala planificación de la fecha de entrega o por factores externos como

				el tráfico o el exceso de trabajo de la planta. Esto afectaría a la puesta del hormigón en la obra. También podrían aparecer variaciones si la entrega del hormigón es imprecisa y no se dispone de la cantidad o el tipo de hormigón necesario.
27	Disponer de personal encargado de las protecciones	Se debe disponer de suficiente personal de seguridad en la obra para instalar y desinstalar las protecciones, teniendo en consideración diferentes factores como la dimensión de la obra, el número de trabajadores simultáneamente en la obra o el ritmo de ejecución.	Es un recurso de para la instalación y desinstalación de protecciones colectivas en la obra.	Pueden ocurrir variaciones debido a que no hay suficiente personal para instalar y desinstalar las protecciones antes del inicio de las tareas esta función puede ejecutarse por completo demasiado tarde.
28	Prever y anticipar la evolución de los trabajos en la obra	Los técnicos de seguridad deben tener la experiencia y la información suficiente para prever las tareas o funciones que se ejecutarán próximamente con el objetivo de anticiparse y tener las protecciones colectivas o individuales instaladas a tiempo, es decir, antes del inicio de la ejecución de las tareas o funciones. Así mismo, el jefe de obra y el encargado también deben prever adecuadamente la ejecución de los trabajos para acordar la fecha de entrega del hormigón en la obra cuando las tareas o funciones necesarias para su puesta en obra se hayan ejecutado.	Determina cuándo la instalación de protecciones colectivas o individuales debe estar terminada o cuándo pueden desinstalarse dichas protecciones. Así mismo determina cuándo debe disponerse del hormigón en la obra para su vertido. También es el control de cómo se organización de los trabajos con la grúa según la previsión de los próximos trabajos.	Pueden ocurrir variaciones debido a falta de precisión en la previsión de los trabajos en la obra. Esto afecta al momento en que se ejecutan funciones aguas abajo cuya salida puede ser demasiado tardía al instalar protecciones fuera de tiempo. También pueden incrementar la presión de tiempo de
29	Instalar protecciones colectivas/individuales	Los técnicos de seguridad instalan las protecciones colectivas o en su defecto individuales en la obra previamente a la ejecución de otras funciones o actividades.	Es una precondition para la ejecución de muchas otras funciones como son que los encofradores hormigonen los pilares, coloquen los tableros y tabicas y desencofren la planta o el encargado realice el replanteo del forjado,	Puede variar y no estar finalizada a tiempo generándose la salida demasiado tarde. De este modo, otras funciones aguas abajo se ejecutarían sin que las protecciones estuvieran preparadas. Además, puede ser imprecisa si no se instalan adecuadamente las protecciones, lo

				que implicaría que estás podrían dejar de ser efectivas.
30	Desinstalar protecciones colectivas/individuales	Los técnicos de seguridad desinstalan las protecciones colectivas o en su defecto individuales en la obra cuando ya no son necesarias, ya sea porque existen otras protecciones instaladas o porque se ha ejecutado una función o actividad y el riesgo ya no existe.	Proporciona el recurso para la instalación de protecciones colectivas e individuales que se desmontan de una zona cuando ya no son necesarias y se montan en otra	Pueden producirse variaciones que afecten a la instalación de protecciones que necesiten la desinstalación previa de otras protecciones, dando lugar a retrasos.
31	Limpiar y preparar paneles de encofrado	Los encofradores deben desmontar los paneles de encofrado de los pilares, limpiarlos, aplicarles desencofrante y volver a montarlos para dejarlos preparados para ser puestos en obra de nuevo.	Es un recurso para encofrar los pilares	Pueden producirse variaciones porque no se haya aplicado el desencofrante adecuadamente o porque los berenjenos no hayan sido colocados, por lo que la salida sería imprecisa.
32	Elaborar elementos estructurales de ferralla	Los ferrallistas, habitualmente in situ si hay suficiente espacio en la obra, elaboran los elementos estructurales de ferralla para su posterior puesta en obra.	Es un recurso para la colocación de las armaduras de los pilares y de la ferralla de la planta	Pueden producirse variaciones en la precisión si los elementos de ferralla no se etiquetan correctamente o retrasos si no se han elaborado todos los elementos de ferralla a tiempo.