

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental



*Propuesta de un programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1 de Holcim Modular Solutions Costa Rica*

Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

Estudiante:

Arlene Montero Arce, 2020072510

Cartago, Costa Rica

Junio, 2025



Propuesta de un programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1 de Holcim Modular Solutions Costa Rica © 2025 por Arlene Montero tiene licencia [CC BY-NC-SA 4.0](#)

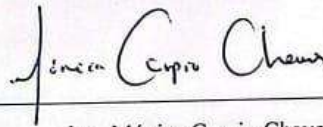
## Constancia de defensa pública

Informe presentado a la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental con el grado de Licenciatura.

### Miembros del Tribunal



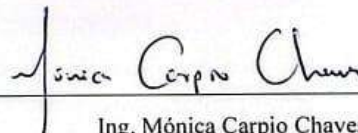
Ing. Gabriela Morales Martínez  
Asesor Académico



Ing. Mónica Carpio Chaves  
Profesora Evaluadora



Ing. Luis Fernández Rivas  
Profesor Evaluador



Ing. Mónica Carpio Chaves  
Coordinación de Trabajo Final de Graduación  
En representación de la Dirección EISLHA

27 de junio, 2025

## **Agradecimientos**

A Milú mi fiel compañera. Aunque te adelantaste en el camino y cruzaste el arcoíris, tu recuerdo y el amor incondicional que me brindaste durante estos años han sido y siguen siendo una fuente de fortaleza e inspiración para seguir adelante.

A mis queridos padres Milagro y Denis, su apoyo ha sido fundamental en todo este recorrido. Les agradezco infinitamente por haberme brindado la oportunidad de dedicarme plenamente a mis estudios, por creer en mis capacidades e impulsarme siempre a perseguir mis sueños. Su confianza, compañía y amor incondicional han sido esenciales para mi desarrollo personal y profesional.

A mis abuelitos Nena y Carlos por acompañarme siempre y por todas las oraciones a Dios para que culminara este proceso con éxito.

Mi sincero agradecimiento a Carlos Q conocido como “Hatillo” quien con paciencia y amabilidad me transmitió todo su conocimiento en el área de tensado, estuvo constantemente pendiente del avance de mi proyecto y me acompañó en cada visita a la nave industrial.

A todo el personal de Holcim que me acompañó durante mi pasantía, y de manera muy especial al equipo H&S. Agradezco sus enseñanzas y el cariño con el que me acogieron.

A mi profesora tutora Gabriela por guiarme a lo largo de todo este proceso, sus consejos y motivación fueron claves para la exitosa conclusión de este proyecto.

## **Dedicatoria**

Este proyecto es fruto del esfuerzo compartido y el apoyo incondicional de mis padres Milagro y Denis, quienes desde el inicio creyeron en mí y con amor y apoyo incondicional me han motivado a crecer tanto personal como profesionalmente. Papi y mami ustedes son mi mayor motivación, mi fuerza para continuar creciendo y mi refugio en los momentos difíciles y de felicidad, les dedico con todo mi amor y esfuerzo este logro.

A Milú mi compañera fiel de cuatro patas, que con su compañía, alegría y amor incondicional me motivó durante todo este proceso y fue mi consuelo en los momentos de estrés.

A mi niña interior, quien me enseñó a no rendirme y luchar por mis sueños, la que nunca dejó de soñar y un día imaginó este momento y trabajó hasta lograrlo.

## Resumen

Este proyecto se centra en la identificación y control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en Holcim Modular Solutions, una empresa dedicada a la producción de soluciones constructivas prefabricadas en concreto. Tiene como objetivo general proponer un programa de seguridad para el control de estos riesgos presentes en el tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1; la iniciativa surge ante el incumplimiento de estándares corporativos como el HSE-106 Protección de máquinas y el Programa de Gestión de Controles Críticos.

El proyecto adoptó un enfoque de investigación descriptivo y aplicado, con el alcance de proveer a la organización de una identificación de las condiciones actuales y medidas de control existentes, así como la evaluación de los riesgos presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto. Para lo cual se aplicaron herramientas como la caracterización del entorno laboral, entrevistas semiestructuradas, registros de protección a maquinaria y medidas de seguridad en tensado, registros de capacitación, Análisis de Modos de Fallos y Efectos, entre otras.

Los resultados obtenidos tras la aplicación de estas herramientas revelaron que los colaboradores llevan a cabo acciones que ponen en riesgo su seguridad, la falta de un plan de capacitación específico para las tareas de tensado, así como para los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía. Además, el 81% de las tareas de tensado requieren intervención tras obtener un índice de prioridad de riesgo alto.

Por lo que, se diseñó un programa que integra controles administrativos e ingenieriles diseñados para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas en la nave 1.

**Palabras clave:** riesgos mecánicos, liberación descontrolada de energía, tensado de concreto, control de riesgos.

## **Abstract**

This project centers on the identification and control of mechanical risks and uncontrolled energy release at Holcim Modular Solutions, a company dedicated to the production of prefabricated concrete construction solutions. Its general objective is to propose a safety program for the control of these risks present in the tensioning of concrete beams in industrial building 1; the initiative arises due to non-compliance with corporate standards such as HSE-106 Machine Guarding and the Critical Controls Management Program.

The project adopted a descriptive and applied research approach, with the scope of providing the organization with an identification of current conditions and existing control measures, as well as the evaluation of the risks present in the concrete beam tensioning process. For which, tools such as the characterization of the work environment, semi-structured interviews, records of machinery protection and safety measures in tensioning, training records, FMEA Failure Modes and Effects Analysis, among others, were applied.

The results obtained after the application of these tools revealed that collaborators carry out actions that put their safety at risk, the lack of a specific training plan for tensioning tasks, as well as for mechanical risks and uncontrolled energy release. In addition, 81% of the tensioning tasks require intervention after obtaining a high-risk priority number.

Therefore, a program was designed that integrates administrative and engineering controls designed for the control of mechanical risks and uncontrolled energy release in the tensioning of beams in building one.

**Keywords:** mechanical risks, uncontrolled release of energy, concrete tensioning, risk control.

## Índice general

I.	Introducción .....	1
A.	Identificación de la empresa .....	1
B.	Planteamiento del problema .....	3
C.	Justificación.....	5
D.	Objetivos .....	6
E.	Alcances y limitaciones .....	7
II.	Marco teórico .....	8
III.	Metodología.....	12
A.	Tipo de investigación .....	12
B.	Fuentes de investigación .....	12
C.	Población y muestra .....	14
D.	Operacionalización de variables por objetivo específico.....	14
E.	Descripción de instrumentos o herramientas de investigación.....	18
F.	Plan de análisis .....	25
IV.	Análisis de la situación actual .....	30
A.	Identificación de las condiciones actuales y las medidas de control para la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía. ....	30
	Caracterización del entorno laboral .....	30
	Registros de protección a maquinaria y documentación de las medidas de seguridad en tensado .....	31
	Registros de calibración y verificación del dinamómetro y manómetros de las máquinas de tensado .....	34
	Registros de tipos de capacitación, cantidad de horas y participantes.....	35
	Formato de verificación del estándar HSE-106 enfocado en protección de máquinas.....	38
	Entrevista semiestructurada a la coordinadora de Salud y Seguridad .....	38
B.	Evaluación de los riesgos en el tensado de vigas en la nave industrial 1 .....	40

Entrevista semiestructurada a los colaboradores del proceso de tensado.....	40
Observación participativa en los procesos productivos.....	42
Análisis de Modos de Fallos y Efectos.....	43
C. Conclusiones.....	44
D. Recomendaciones.....	46
V. Alternativas de solución .....	47
A. Alternativas de solución ingenieriles .....	47
1. Propuestas de solución .....	47
2. Comparación de las alternativas de solución.....	57
3. Desarrollo de la alternativa seleccionada.....	61
4. Validación de la alternativa de solución ingenieril .....	66
B. Alternativas de solución administrativas .....	66
1. Validación de la alternativa de solución administrativa.....	130
C. Conclusiones de las alternativas de solución ingenieril y administrativa .....	132
D. Recomendaciones de las alternativas de solución ingenieril y administrativa .....	133
VI. Bibliografía.....	134
VII. Apéndices .....	139

## Índice figuras

Figura 1. Plan de análisis para la operacionalización de variables .....	26
Figura 2. Reglas de salud, seguridad y medio ambiente de Holcim .....	36
Figura 3. Cantidad de capacitaciones impartidas por mes .....	37
Figura 4. Cantidad de participantes en las inducciones por mes .....	37
Figura 5. Riesgos mencionados por los entrevistados .....	41
Figura 6. Diseño de protección con revestimiento de madera en los extremos de las mesas de tensado .....	54
Figura 7. Propuesta de torre de señalización .....	55
Figura 8 Propuesta de señalización para las mesas de tensado en las torres de señalización .....	56
Figura 9. Restricción de seguridad con cadenas en las mesas de tensado.....	57
Figura 10. Diseño en 3D de la jaula de protección para los operadores que aplican fuerzas de tensado .....	62
Figura 11. Diseño en 2D de la alternativa de solución .....	63
Figura 12. Diseño de las jaulas de protección con las dimensiones específicas .....	65
Figura 13. Guía de las secciones y contenidos del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado .....	68

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Tamaño de la muestra para las herramientas del estudio .....	14
Cuadro 2. Operacionalización de variables para el objetivo específico 1 .....	14
Cuadro 3. Operacionalización de variables para el objetivo específico 2 .....	16
Cuadro 4. Operacionalización de variables para el objetivo específico 3 .....	17
Cuadro 5. Registro de protección a maquinaria en las mesas de tensado .....	32
Cuadro 6. Meses en los que se realizó la verificación a la máquina de tensado 401VH1.....	34
Cuadro 7. Resultados de modos de fallo e índices de prioridad de riesgo .....	43
Cuadro 8. Aspectos, cantidades y costos de la jaula de protección.....	49
Cuadro 9. Aspectos, cantidades y costos de las barreras laterales en las mesas de tensado ..	51
Cuadro 10. Aspectos, cantidades y costos de las zonas de exclusión con detectores fotoeléctricos .....	53
Cuadro 11. Propuesta de dimensiones para las mamparas .....	55
Cuadro 12. Matriz multicriterio de comparación y selección de las alternativas de solución ingenieriles.....	58
Cuadro 13. Reducción del riesgo esperada en las tareas de alta prioridad tras la implementación de los controles ingenieriles .....	66
Cuadro 36. Minuta de la reunión con la asesora industrial para la validación de la alternativa de solución administrativa.....	131

## I. Introducción

### A. Identificación de la empresa

El proyecto se desarrolló en la empresa Holcim Modular Solutions Costa Rica, la cual corresponde a una planta productora de soluciones constructivas prefabricadas de concreto, ubicada en San Rafael de Alajuela, adquirida por Holcim en febrero de 2023.

#### 1. Visión y misión

- **Visión**

“Ser la empresa más respetada y atractiva de nuestra industria, creando valor para todos nuestros clientes, colaboradores, accionistas y comunidades en las que operamos” (Holcim, 2025).

- **Misión**

“Construir los cimientos para el futuro de la sociedad” (Holcim, 2025).

#### 2. Antecedentes históricos

Holcim Modular Solutions, nace con la compra de dos divisiones de la compañía Productos de Concreto: Concrepafa (prefabricados livianos) y de la división de PC de prefabricados de ingeniería en febrero del 2023. Con esta adquisición la organización amplió su propuesta de valor y oferta de productos, al suministrar a clientes soluciones modulares de alta calidad, innovadoras, eficientes y amigables con el medio ambiente (Holcim, 2023).

La empresa, es líder en el mercado con capacidad para producir más de 150.000 toneladas de prefabricados de concreto, buscando atender al mercado nacional y exportar a Centroamérica. Especializada en la investigación, diseño y desarrollo de soluciones constructivas prefabricadas de concreto con altos niveles de ingeniería, innovación y calidad; la compañía cuenta con una sólida cartera de soluciones desde grandes estructuras para la industria, bloques para muros y cubiertas, productos para el sector residencial, tuberías y hasta soluciones de construcción civil para infraestructuras como puentes, muelles, entre otros.

#### 3. Ubicación geográfica

Las instalaciones de Holcim Modular Solutions Costa Rica se encuentran ubicadas en la provincia de Alajuela, cantón de Alajuela y distrito de San Rafael. Del cruce de la Panasonic 1 km al sur y 1 km al oeste sobre la calle Potrerillos.

#### **4. Organigrama de la organización**

La estructura organizacional está conformada por una dirección técnica que se divide en 12 departamentos, los cuales corresponden a Recursos Humanos, Salud y Seguridad, Calidad, Presupuestos, Proveeduría, Finanzas, Producción, Construcción y montaje, Ingeniería, Ventas industriales, Ventas proyectos y Producción Atlántico, (ver apéndice 1).

El departamento de Salud y Seguridad de la planta Holcim Modular Solutions Alajuela está conformado por una coordinadora y un técnico en salud ocupacional que reportan a la gerencia, además el gerente de salud y seguridad reporta al director ejecutivo del país y forma parte del equipo directivo del país. Las funciones del departamento son identificación de peligros, evaluación de riesgos, seguimiento de los indicadores de salud y seguridad, entre otros.

#### **5. Cantidad de colaboradores**

La empresa Holcim Modular Solutions Costa Rica posee un total de 256 colaboradores, la jornada de estos va a depender del departamento. Únicamente el personal de producción trabaja de 6:00 a.m. a 3:30 p.m., mientras que el resto del personal posee un único turno de lunes a viernes de 7:00 a.m. a 5:00 p.m. En el apéndice 2, se puede observar por área, la distribución de los colaboradores que trabajan para Holcim Modular Solutions Costa Rica.

#### **6. Tipos de productos o servicios**

El objetivo primordial de la empresa es la fabricación de tuberías, postes, barreras y durmientes de concreto, pilotes prefabricados, entresijos pretensados, cerramientos y fachadas, muros de retención, naves industriales, puentes prefabricados, estructuras de concreto postensado, instalaciones deportivas, parrillas y bancas de concreto, juegos de jardín, cunetas, entre otros.

#### **7. Mercado**

Holcim Costa Rica busca abastecer el mercado nacional por medio de distintas soluciones para la construcción, adecuadas a cada necesidad. Para cumplir con esto, la empresa posee canteras para la extracción de la materia prima, una planta para la fabricación de cemento, una planta para el coprocesamiento de residuos (Geocycle) y ferreterías franquiciadas (bajo el nombre de Disensa) (Holcim Costa Rica, 2024).

Además, posee la unidad de negocio Holcim Modular Solutions que busca abastecer el mercado nacional, así como exportar a Centroamérica, ofreciendo distintas soluciones de

concreto para vivienda, industria, edificaciones e infraestructura vial adecuadas a cada necesidad.

## **8. Proceso productivo**

Este proyecto se desarrolló en el proceso de tensado de vigas, abarcando tanto el pretensado como el destensado y se llevará a cabo en la nave industrial 1, el detalle de éste se encuentra en el apéndice 3. Se destaca que esta nave industrial alberga el proceso productivo de elementos prefabricados, tanto livianos (modulares) como pesados destinados a obras de ingeniería civil, (ver apéndice 4).

El proceso de elementos pre y postensados de concreto se realiza en la nave industrial 1, en la cual hay tres mesas de tensado y la nave industrial 3 en la cual hay seis mesas de tensado, en ambas naves, en cada mesa de tensado trabajan desde 6 hasta 20 colaboradores. Las naves industriales 1 y 3 son de espacio abierto ya que en ellas se realizan diversas tareas, asimismo cada una alberga alrededor de 200 personas. La nave 1 tiene un área de 3456 m<sup>2</sup> y la nave 3 de 6720 m<sup>2</sup>.

El proceso de tensado abarca diversas fases, iniciando con la preparación de herramientas, equipos, materiales y mesas de tensado, seguido de la fase de aplicación de la fuerza de tensado, en ambas fases se da la intervención de seis colaboradores de los cuales dos son propios y cuatro son contratistas. Una vez que la pieza alcanza la tensión requerida se procede con labores de armadura de la pieza y preparación para la colada de concreto, para lo cual los colaboradores realizan las tareas sobre la pieza tensada, dichas tareas involucran hasta 20 personas de las cuales aproximadamente tres colaboradores son propios y los demás son contratistas.

Finalmente, el destensado se lleva a cabo con la colaboración de seis personas: dos colaboradores propios y cuatro contratistas, para proceder a su posterior despacho.

Cabe destacar que los contratistas que participan en el tensado realizan rotación en otras tareas dentro de la nave industrial 1, por lo tanto, implica que el personal contratista varíe, pero la exposición a los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía se mantiene constante.

## **B. Planteamiento del problema**

En el 2018, Holcim implementó a nivel corporativo el estándar HSE-106, enfocado en la protección de máquinas. Esta medida pretende garantizar la seguridad de los colaboradores en

todas las operaciones a escala global, estableciendo lineamientos y controles claros y rigurosos en materia de salud y seguridad.

Posteriormente, en el año 2021, a nivel corporativo se implementó el Programa de Gestión de Controles Críticos para lo cual se realizó un análisis histórico sobre las fatalidades a nivel mundial y se identificaron los eventos prioritarios no deseados (PUE's) que representan los mayores riesgos para la seguridad de los colaboradores. Entre estos eventos se encuentra el contacto con maquinaria en movimiento y como respuesta a este riesgo se definieron controles críticos específicos para mejorar la gestión de la salud y seguridad, garantizando que las máquinas en todas sus operaciones a nivel global cumplan con los lineamientos establecidos en dicho programa.

Sin embargo, a pesar de la implementación de estándares corporativos, las auditorías internas y externas realizadas a la unidad de negocio de Holcim Modular Solutions en Costa Rica adquirida en febrero 2023, se han presentado incumplimientos en las medidas de salud y seguridad durante el proceso de tensado. Al no cumplir con el estándar HSE-106 y el Programa de Gestión de Controles Críticos, se ha evidenciado un mayor riesgo de exposición para los colaboradores tanto propios como contratistas en la nave 1. Esto se debe principalmente a que esta nave concentra la mayor cantidad de personal en comparación con la nave 3, experimenta una alta rotación de personal y la falta de delimitación entre las mesas de tensado y el área de aplicación de fuerza de tensado crea un espacio abierto donde el personal transita con frecuencia aumentando el riesgo de exposición.

Asimismo, de acuerdo con los registros y reportes de accidentes laborales se han identificado como causas más comunes las condiciones de trabajo inseguras, rotación de personal, la falta de capacitación y delimitación del área en el que se realizan las tareas de tensado. Además, como consecuencia se ha observado un impacto negativo en la productividad de la empresa ya que cada vez que se presenta un accidente en el área se detiene el proceso productivo y el cumplimiento de los indicadores corporativos de salud y seguridad se ve comprometido, ya que las metas de cero daños y la cantidad de accidentes (denominados en la empresa como incidentes) según su clasificación se establecen a nivel país para todas las unidades de negocio, por lo que esta planta de prefabricados incrementa el riesgo de no alcanzar dichas metas.

Por tanto, al estar en incumplimiento con el estándar establecido por el corporativo, la planta de prefabricados puede verse sometida a amonestaciones operativas que pueden involucrar suspensiones temporales en la producción generando pérdidas económicas, retrasos en

entregas de productos y hasta penalizaciones por incumplimiento de contratos con clientes. Por lo que es una prioridad y una necesidad para la organización atender este incumplimiento e implementar una solución.

### **C. Justificación**

El proceso de tensado en las vigas de concreto representa un proceso esencial para el mejoramiento en la resistencia y comportamiento estructural. Según Joshi, (2021) este proceso requiere que las cuerdas se “esfuercen” hidráulicamente con una alta tensión, lo que genera la posibilidad de romper la cuerda. Debido a que la nave industrial es abierta y sin delimitación, tanto los trabajadores directamente involucrados en las tareas de tensado como los que realizan otras tareas pueden sufrir lesiones graves cerca de la cama de tensión, por lo que, todos los colaboradores deben seguir protocolos de seguridad mientras están cerca de la planta.

En este sentido tanto los colaboradores que realizan las tareas de tensado como los que realizan otras tareas en la nave industrial 1, se encuentran expuestos a diferentes tipos de peligros mientras realizan sus labores. Entre ellos los mecánicos, químicos, locativos y de estructura y eléctricos que tienen riesgos asociados como las lesiones a nivel del cuerpo, liberación descontrolada de energía, exposición a sustancias químicas, caídas a un mismo nivel, golpes por objetos como herramientas y piezas, entre otros.

Además, las mesas de tensado se encuentran dentro de una nave industrial abierta, sin separaciones entre tareas en las que aproximadamente 200 colaboradores realizan varias actividades al mismo tiempo; considerando que en la proximidad a las mesas de tensado no se encuentra delimitado el acceso a los demás colaboradores.

En la nave en estudio, en muchas ocasiones se ha evidenciado que cuando los torones (cables de acero conformados por un grupo de alambres) se encuentran esforzados en las mesas de trabajo se realizan otras tareas sobre estos como; montaje de armadura, trabajos en caliente de corte y soldadura, lo que aumenta el nivel de exposición principalmente al riesgo de liberación de energía acumulada.

El riesgo de liberación descontrolada de energía en este proceso se debe a la fuerza de pretensión que va a depender del diámetro del torón, donde se aplican fuerzas estándar hasta de 18400 kg/cm<sup>2</sup>, que pueden ocasionar lesiones a la salud como perforaciones e incluso la muerte.

Relacionado a lo anterior, al ser una unidad de negocio recientemente adquirida, hasta enero del 2024 se incluyó en la herramienta corporativa (iCare) en la que se lleva el registro de los indicadores de salud y seguridad. Y según dichos indicadores, en el año 2024 hubo 10 registros que corresponden a accidentes ocurridos en colaboradores propios y contratistas. Algunos de ellos con consecuencias graves como la proyección de un torón durante el tensado que provocó la detención inmediata del proceso productivo en la nave, a pesar de que no se materializaron daños en esos casos, es evidente el potencial de causar lesiones graves e incluso la muerte de los colaboradores. Además, se han reportado otros accidentes que resultaron en la pérdida de días laborales debido a incapacidades

Como parte de las afecciones a la organización se derivan costos asociados a incapacidades, daños a la propiedad, disminución de la productividad, detenimiento del proceso de producción en el área debido a que la operación de la máquina de tensado la realiza un único colaborador calificado y el incumplimiento de estándares corporativos.

Otra gran afección es el impacto negativo de esta unidad de negocio en los indicadores en salud y seguridad, ya que el corporativo establece metas y un límite de accidentes, para esto los accidentes se clasifican en seis tipos (ver apéndice 5). El índice de frecuencia de accidentabilidad que toman en cuenta los accidentes con tratamiento médico, actividad laboral modificada y días de incapacidad, por lo que, se realiza una sumatoria de los mismos, se divide entre la totalidad de horas laboradas y se multiplica por un millón. En los registros del 2024 para Holcim Modular Solutions Alajuela fue de 1.44 accidentes por cada millón de horas trabajadas y este debe ser menor a 0.44, por lo que se refleja el incumplimiento.

Por otra parte, según los datos del Consejo de Salud Ocupacional (2023), en su informe de estadísticas de salud ocupacional en la actividad económica de construcción se registraron 16 392 accidentes, ocupando el tercer puesto en las actividades económicas en las que ocurren mayor cantidad de accidentes, actividad dentro de la que se encuentra el presente estudio.

Debido a lo anteriormente expuesto, es necesario un programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas que incorpore controles ingenieriles y administrativos con el propósito de reducir la exposición de los colaboradores de la nave 1 a las condiciones de riesgo, así como la accidentabilidad en las tareas de tensado.

## **D. Objetivos**

### **1. Objetivo General**

- Proponer un programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1 de la empresa Holcim Modular Solutions, ubicada en San Rafael de Alajuela.

## 2. Objetivos específicos

- Identificar las condiciones actuales y las medidas de control existentes relacionadas con la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto.
- Evaluar los riesgos presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1.
- Diseñar controles ingenieriles y administrativos integrados en un programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el proceso tensado de vigas de concreto.

## E. Alcances y limitaciones

### **Alcances:**

El presente proyecto tiene como alcance proveer a la organización de una identificación de las condiciones actuales y las medidas de control existentes relacionadas con los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto, y una posterior evaluación de los riesgos presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1. Además del aporte de controles ingenieriles y administrativos integrados en un programa para el control de los riesgos evaluados.

### **Limitaciones:**

El acceso a la nave industrial es restringido, por lo que únicamente se puede ingresar con personal autorizado. Adicionalmente, las tareas de tensado no se llevan a cabo diariamente ya que su ejecución se basa en la demanda. Si bien estas condiciones no impidieron la aplicación de las herramientas del proyecto, sí limitaron el progreso en la recopilación de la información.

En las tareas de tensado hay mucha rotación del personal contratista con otras tareas dentro de la misma nave industrial, lo cual limitó la muestra, sin embargo, se obtuvo la información requerida para el desarrollo del proyecto.

## II. Marco teórico

Los productos prefabricados en la construcción se han convertido en una tendencia en crecimiento en Costa Rica y la región, debido a su capacidad para ofrecer soluciones rápidas, eficientes y sostenibles en un contexto de demanda creciente de vivienda, proyectos comerciales e industriales. Además, los prefabricados de concreto tienen una serie de beneficios que abarcan aspectos ambientales, sociales y de calidad del producto, en términos de obra, aceleran el plazo de entrega en un promedio del 30% debido a la posibilidad de fabricar la estructura antes de iniciadas las tareas en sitio, con personal especializado para luego realizar el montaje con mucho menos personal en sitio que una obra tradicional, incluyendo el uso de la tecnología del pretensado logrando disminuir los costos al optimizar el uso de materiales entre un 20% y 30%. (*Construcción industrializada*, 2024)

El hormigón pretensado según Kral'ovanec et al., (2021) es la aplicación de una fuerza de pretensado que induce una compresión axial contrarrestando la totalidad o parte de las tensiones de tracción. Esta técnica de acuerdo con la Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina, (2016) fue originada en 1928 y ha evolucionado a través de los años especialmente en 1940 con la escasez de acero en Europa y se empezó a trabajar en Estados Unidos en 1949 expandiéndose a nivel mundial con la creación de la Federación Internacional del Pretensado (F.I.P)

En el proceso de tensado se utilizan los torones que, según Gómez y Wilches, (2003) son varios cables de acero de alta resistencia enrollados helicoidalmente alrededor de sus respectivas almas o núcleos y de acuerdo con García et al., (2013) los tipos de torones más comunes son los de capa simple, seale Filler, Warrington y Warrington-Seattle. Estos torones son tensados entre soportes antes de verter el hormigón y la fuerza se transforma en la estructura a través de la unión entre la armadura de acero y el hormigón. Mientras que en el postensado la fuerza se aplica empujando los torones de acero contra un elemento ya colado, de modo que el pretensado se transfiere a través de anclajes incorporados. (Kral'ovanec et al., 2021). Los sistemas de anclaje restringen el movimiento de los torones y evitan que pierda la fuerza de tensión para la cual fue diseñado garantizando el rendimiento y la seguridad estructural. (García et al., 2013)

El hormigón pretensado presenta algunas ventajas como lo destacan Torres y Morales (2011) entre las cuales se incluye una mejora el comportamiento estructural, mayor resistencia frente a

fenómenos de fatiga, disminución de la fisuración del hormigón y aumento en la vida útil, menores deformaciones, entre otros. Sin embargo, a pesar de las ventajas estructurales de este tipo de hormigón, el proceso de pretensado y postensado implica riesgos como deformación y proyección de torones, corrosión de las herramientas de trabajo, golpes, entre otros.

Según la Nota Técnica de Prevención 552: Protección de máquinas frente a peligros mecánicos: resguardos, elaborada por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2000) indica que el peligro mecánico es el conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos y las formas elementales del peligro son principalmente: aplastamiento; cizallamiento; corte; enganche; atrapamiento o arrastre; impacto; perforación o punzonamiento; fricción o abrasión; proyección de sólidos o fluidos. Esta misma nota establece que se deben considerar los resguardos como la primera medida de protección a tomar para el control de los peligros mecánicos en máquinas, entendiendo como resguardo: "un medio de protección que impide o dificulta el acceso de las personas o de sus miembros al punto o zona de peligro de una máquina.

En este mismo contexto el Instituto Estatal de Capacitación Guanajuato México, (2021) subraya que las plantas industriales donde se produce el hormigón pretensado y postensado son grandes generadoras de empleo y se da una alta concentración de personas en los espacios de trabajo como lo son las naves industriales para llevar a cabo tareas de producción, en estos casos, las organizaciones pasan a ser responsables de la seguridad de los colaboradores. Por lo que un sistema apropiado que permita controlar la seguridad de los colaboradores dentro de la planta es clave para garantizar resultados en la productividad, la salud y seguridad de la empresa.

En relación con lo anterior el Consejo de Salud Ocupacional (2022) indica que durante las labores de tensado se debe prohibir la permanencia de personas en la loza superior e inferior de donde se va a tensar el cable, además, la persona que realiza el tensado nunca se debe posicionar sobre el cable que se va a tensar y debe aislar y barricar el área durante las labores. En caso de la liberación de la energía almacenada en un torón bajo tensión que puede causar lesiones graves y hasta fatales se recomienda utilizar cadenas, correas, barras, clips fabricados, mamparos, barreras y estribos fabricados con materiales absorbentes como revestimiento o madera dura, de manera que el alambre se incruste en la madera en lugar de rebotar, aumentando la posibilidad de contención durante una liberación descontrolada (Mineral Products Association, 2023).

En los últimos años se han presentado avances tecnológicos en el monitoreo y ejecución del hormigón pretensado y postensado como los cordones de acero inteligente con detección óptica-eléctrica con un sensor de fibra óptica distribuida y un interferómetro Fabry-Perot con cable coaxial integrados que citando a Yang, H., Zhou, Z., & Ou, J, (2023) estos cordones miden simultáneamente pequeñas deformaciones en la fase de daño inicial con alta precisión y permiten obtener información en la fase de gran deformación con una precisión relativamente baja, además, monitorea eficazmente la distribución de la tensión y la deformación del cordón durante todo el proceso de carga. Asimismo, Zelickman y Amir, (2021) proponen un método que optimiza el diseño de cables postensados en losas de hormigón que se modelan utilizando B-splines tridimensionales de modo que las fuerzas de pretensado se derivan de acuerdo con la geometría exacta y se proyectan sobre la malla de elementos finitos de la losa de hormigón.

Sin embargo, a pesar de estos avances el riesgo asociado al proceso de tensado sigue siendo elevado y resalta la necesidad de mejoras en la capacitación de los trabajadores, la importancia de la relación entre máquinas y humanos en las plantas de prefabricados es resaltada por Joshi, (2021) indicando que es riesgosa en caso de ignorancia, para lo que sugiere la red bayesiana como la herramienta más eficaz para modelar y medir la complejidad entre las relaciones hombre-máquina con datos cualitativos y cuantitativos al mismo tiempo. Además, según Schwarze et al., (2019) como se citó en Joshi et al., (2021) para mejorar la seguridad proponen utilizar la realidad virtual como una nueva herramienta de capacitación que permite a los trabajadores experimentar de manera simulada situaciones reales de trabajo, como el uso de equipo de protección personal, manejo de cargas suspendidas y el proceso de tensado a diferencia de los métodos tradicionales de formación en seguridad de hormigón prefabricado que solamente incluyen vídeo, formación in situ y presentaciones en conferencias que pueden ser costosos, poco atractivos y riesgosos.

Finalmente, la implementación de un programa de salud y seguridad que combine controles ingenieriles y administrativos integrados en propuestas de solución es fundamental para disminuir los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía durante las tareas de tensado en la nave industrial, demostrando con su implementación el compromiso por parte de la organización con la salud y seguridad de los colaboradores. La norma INTE T29: Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo, de acuerdo con INTECO (2016) es de vital importancia para la mejora de la salud y seguridad en las organizaciones, ya que se fundamenta en principios básicos de gestión de la seguridad ocupacional universalmente reconocidos y establece los requisitos mínimos para elaborar programas efectivos en salud y

seguridad incluidos en los apartados de participación de la persona trabajadora, identificación de peligros y evaluación de riesgos, prevención y control de riesgos, entre otros.

### III. Metodología

#### A. Tipo de investigación

La investigación de este proyecto corresponde a la de tipo descriptivo, donde se identifican las variables y componentes a medir y se recolectan los datos sobre personas y hechos, lo que permite a través de una descripción detallada comprender las situaciones y problemas en estudio (Sampieri et al., 2014). De igual manera este proyecto es aplicado debido a que está orientado a resolver o controlar un problema en específico (Padrón, 2006, como se citó en Vargas, 2009).

#### B. Fuentes de investigación

Para la elaboración de este proyecto se utilizaron diversas fuentes de información primarias, secundarias y terciarias, las cuales se detallan a continuación.

##### 1. Fuentes primarias

- **Estándares de la empresa:**

- Holcim. (2023). Programa de gestión de controles críticos.
- Holcim. (2021). Sistema de gestión de salud, seguridad y medio ambiente HSE-001.
- Holcim. (2018). Protección de máquinas HSE-106.

- **Documentos oficiales de bases de datos de la empresa:**

- Reportes sobre accidentes, incidentes y actos inseguros que se han registrado en iCare la plataforma oficial de la empresa que involucran a colaboradores, tanto propios como contratistas.

- **Trabajos Finales de Graduación del Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR):**

- Propuesta de programa de seguridad en máquinas para los riesgos mecánicos presentes en la elaboración de tuberías de PVC en el área de extrusión en la empresa Durman by Aliaxis.
- Propuesta de programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos presentes en la elaboración de perfiles metálicos con máquinas de rollforming en la División de Aceros de Instalaciones y Servicios Macopa S.A.

##### 2. Fuentes secundarias

- **Normativa nacional**

- INTE T29:2016: Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo. Aspectos generales.
- Reglamento General de Seguridad e Higiene.
- Reglamento de Construcciones.
- Código de trabajo.
- Estadísticas de salud Ocupacional en Costa Rica por el Consejo de Salud Ocupacional.
- INTE/ISO 14120: 2016 Seguridad en las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.
- INTE/ISO 12100: 2012 Salud y seguridad ocupacional. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación y reducción del riesgo.
- INTE/ISO 13855:2011 Seguridad de las máquinas. Posicionamiento de los protectores con respecto a la velocidad de aproximación de partes del cuerpo humano.
- **Normativa internacional**
  - NTP 552: Protección de máquinas frente a peligros mecánicos: resguardos.
  - NTP 235: Medidas de seguridad en máquinas: criterios de selección.
  - NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.
  - Norma ANSI/ASSP A10.9-2013 (R2018) Requisitos de seguridad para trabajos de hormigón y mampostería.
  - ASTM A416/A416M: *Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete.*

### 3. Fuentes terciarias

- **Boletines**
  - Guía del Consejo de Salud Ocupacional sobre: Medidas de Seguridad para Trabajos en Concreto Armado, Albañilería y Acabados.
  - Guía del Consejo de Salud Ocupacional sobre: Disposiciones básicas para el Reglamento General de Seguridad en Construcciones.
- **Bases de datos**
  - Sitio Web de Holcim Costa Rica.
  - Google académico.
  - Bases de datos del Tecnológico de Costa Rica.

### C. Población y muestra

La empresa Holcim Modular Solutions tiene una población total de 256 colaboradores, sin embargo, para este proyecto se trabajó con tres colaboradores del departamento de producción y los contratistas asociados a las tareas de tensado presentes en el momento de la aplicación de las herramientas.

Detallando lo anteriormente mencionado, en la nave industrial 1 considerando el personal propio y contratista el flujo es de hasta 200 personas, sin embargo, como se indicó en el proceso productivo el tensado se divide en etapas y la cantidad de participantes varía de acuerdo con cada etapa y el tamaño de la pieza a trabajar.

Por lo anteriormente expuesto, se utilizó un método de muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que la muestra fue elegida de acuerdo con la conveniencia del investigador eligiendo de manera arbitraria cuántos participantes puede haber en el estudio (Hernández, 2021). En el siguiente cuadro, se detalla la muestra a utilizar en cada una de las herramientas.

**Cuadro 1. Tamaño de la muestra para las herramientas del estudio**

Herramienta	Muestra
Caracterización del entorno laboral con la coordinadora de salud y seguridad	1 persona
Entrevista semiestructurada a la coordinadora de H&S	1 persona
Entrevista semiestructurada a los colaboradores de proceso	2 colaboradores propios y los colaboradores contratistas presentes en el momento de la aplicación de la herramienta
Análisis de Modos de Fallas y Efectos	4 personas (3 trabajadores del Departamento de producción y 2 del departamento de salud y seguridad)

### D. Operacionalización de variables por objetivo específico

En los siguientes cuadros se presenta la operacionalización de variables según los objetivos específicos del proyecto se proponen las variables, conceptualización, indicadores y herramientas.

**Cuadro 2. Operacionalización de variables para el objetivo específico 1**

Objetivo específico 1	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas
Identificar las condiciones actuales y las medidas de control	Condición actual de la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y	Condiciones en las que se encuentra la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación	Cantidad y tipos de tareas que se realizan en la nave industrial 1.	Caracterización del entorno laboral con la coordinadora de salud y seguridad sobre las

Objetivo específico 1	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas	
existentes relacionadas con la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto.	liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto.	descontrolada de energía durante las tareas de tensado.		condiciones generales de los trabajadores expuestos a riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía.	
			Cantidad de protecciones a maquinaria y medidas de seguridad implementados en las mesas de tensado.	Formulario para el registro de protección a maquinaria y documentación de las medidas de seguridad en tensado.	
			Cumplimiento anual de las calibraciones del dinamómetro de la máquina de tensado.	Registros de calibración del dinamómetro de la máquina de tensado.	
	Medidas de control existentes relacionadas con la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas.	Acciones, actividades o equipos que se implementan para reducir o controlar la exposición ocupacional a los riesgos evaluados.		Cumplimiento mensual de las verificaciones de los manómetros de la máquina de tensado.	Registros de las verificaciones mensuales de los manómetros de las máquinas de tensado.
				Cantidad de horas, cantidad de participantes y tipos de capacitación requeridas para la operación de la maquinaria de tensado, participación en las tareas de tensado y de protección de máquinas.	Registros de tipos de capacitación, cantidad de horas y participantes.
				Número de peligros identificados y evaluaciones de riesgo realizadas.	Formato verificación del estándar corporativo HSE-106 enfocado en la protección de máquinas.
				Número de accidentes investigados.	Entrevista semiestructurada a la coordinadora de H&S.
				Cantidad de mantenimientos preventivos	

Objetivo específico 1	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas
			realizados a los equipos.	
			Cumplimiento de auditorías externas e internas en temas de tensado.	
			Presupuesto disponible para iniciativas de salud y seguridad y control de riesgos laborales.	
			Cantidad de capacitaciones impartidas por la organización en temas de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía al personal expuesto en la nave 1.	

**Cuadro 3. Operacionalización de variables para el objetivo específico 2**

Objetivo específico 2	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas
Evaluar los riesgos presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1.	Riesgos en el proceso de tensado de vigas.	Es la probabilidad de que se produzca un daño para los colaboradores en el proceso de tensado de vigas considerando la exposición, a peligros, los modos, las causas y efectos de los fallos potenciales.	Cantidad de riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía presentes en el proceso de tensado.	Entrevista semiestructurada a los colaboradores de proceso.
			Cantidad de condiciones inseguras relacionados con riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía.	Observación participativa en los procesos productivos.
			Número de modos de falla identificados.	Análisis de Modos de Fallas y Efectos.
			Índice de prioridad de riesgo.	

Objetivo específico 2	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos herramientas
			Número de controles actuales.	

**Cuadro 4. Operacionalización de variables para el objetivo específico 3**

Objetivo específico 3	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos herramientas
Diseñar controles ingenieriles y administrativos integrados a un programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto.	Controles ingenieriles.	Modificaciones enfocadas en mejoras de diseño, equipamiento o procesos de las tareas para reducir la exposición a los peligros que puedan ocasionar daños a colaboradores o la propiedad.	Cantidad de criterios relacionados a aspectos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y cumplimiento de estándares para determinar la mejor alternativa de solución. Criterios de seguridad: dimensiones de las mesas de tensado, área de la nave, cantidad de jaulas, comportamiento esperado del torón.	Matriz multicriterio de evaluación de las alternativas de diseño.
	Programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.	El programa integra los procesos, actividades, responsabilidades, recomendaciones y controles a seguir por parte de la organización para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.	Cantidad de apartados incluidos en la propuesta de programa.	Formato de programa basado en la INTE T29:2016: Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo.
			Cantidad de responsabilidades asignadas para la implementación del programa.	Matriz de asignación de responsabilidades (Matriz RACI).
			Cantidad de temas y capacitaciones sobre riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el	Plan de capacitación a los colaboradores que realizan tareas de tensado.

Objetivo específico 3	Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas
			proceso de tensado.	
			Cantidad de recursos económicos, humanos y materiales que debe aportar la empresa para la implementación del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.	Matriz de recursos requeridos para la implementación del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.
			Cantidad de actividades asignadas y meses requeridos para el desarrollo e implementación del programa.	Diagrama de Gantt.
			Cantidad de aspectos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de estándares cumple la alternativa de solución ingenieril seleccionada.	Matriz basada en el Análisis de Modos de Fallas y Efectos para la validación de la alternativa de solución ingenieril. Minuta de la reunión con el beneficiario para verificación del cumplimiento de los requisitos y validar la solución administrativa. Matriz aspectos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de estándares para la solución propuesta.

### E. Descripción de instrumentos o herramientas de investigación

A continuación, se describen detalladamente los instrumentos o herramientas mencionados en la operacionalización de variables para el desarrollo de los objetivos.

Las herramientas utilizadas para los objetivos específicos uno y dos, fueron validadas a través de criterio experto por el Ingeniero en prevención de riesgos Rodrigo Vásquez Herrera, Coordinador de Seguridad Vial en Holcim Costa Rica.

1. Objetivo 1: Identificar las condiciones actuales y las medidas de control existentes relacionadas con la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto.

### **Caracterización del entorno laboral con la coordinadora de salud y seguridad sobre las condiciones generales de los trabajadores expuestos a riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía**

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2008) plantea que una encuesta higiénica es una “foto” de un ambiente y lo que se necesita para evitar el riesgo es una sucesión de fotos, o sea una “película”, que muestre la idoneidad del ambiente y tiene como objetivo obtener información válida para evaluar el riesgo en un puesto de trabajo por lo que una buena encuesta higiénica inicia recopilando información sobre el proceso productivo.

Esta caracterización del entorno laboral se aplicó a la coordinadora de salud y seguridad, consistió en recopilar información detallada a través de 14 preguntas sobre la cantidad y tipos de tareas realizadas en la nave industrial 1 y las condiciones de salud y seguridad relacionadas a la exposición a riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía. Las preguntas fueron basadas en las condiciones generales de salud y seguridad de la nave industrial 1, los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía, (ver apéndice 6).

### **Formulario para el registro de protección a maquinaria en las mesas de tensado y documentación de las medidas de seguridad**

A pesar de que el programa de gestión de controles críticos establece dentro de sus controles las protecciones físicas de manera que las guardas dejen un espacio suficiente entre el peligro y el alcance del cuerpo de una persona que impidan el acceso o la proyección de objetos y sólo puedan retirarse utilizando una herramienta, las mesas de tensado en su totalidad no cuentan con sistemas de resguardos.

El formulario diseñado para el registro de protección a maquinaria y la documentación de las medidas de seguridad en tensado permitió registrar las protecciones en las mesas de tensado y las medidas de seguridad implementadas (ver apéndice 7).

## **Registros de calibración del dinamómetro de las máquinas de tensado**

De acuerdo con Velasco (2023) la calibración de equipos se lleva a cabo para asegurar que los instrumentos de medición funcionen dentro de los parámetros especificados y proporcionen resultados precisos, además es crucial ya que la precisión de las mediciones puede impactar significativamente en la calidad y seguridad de los productos.

Esta herramienta recopiló los datos de identificación del manómetro número de serie, unidades de presión, rango de medición, fecha y resultados de la calibración, fecha de próxima calibración y certificado de calibración (ver apéndice 8).

## **Registros de las verificaciones mensuales de los manómetros de las máquinas de tensado**

Esta herramienta permitió recopilar los datos de identificación del manómetro como número de serie, marca, unidades de presión, lectura del manómetro, lectura de la máquina, diferencia en la lectura de la máquina, fecha de verificación, condición del manómetro y persona que realiza la verificación, (ver apéndice 9).

## **Registros de tipos de capacitación, cantidad de horas y participantes**

Actualmente los estándares en salud y seguridad a nivel corporativo como lo es el HSE 106 definen los requisitos de capacitación y competencias, incluyendo como mínimo a quién debe ir dirigido, duración y frecuencia de las capacitaciones.

Estos registros de tipos de capacitación, cantidad de horas y participantes, identificó los tipos de capacitación brindados, la cantidad de horas de aprovechamiento por cada colaborador, el nivel de avance en los registros de capacitación para la operación de la máquina de tensado, participación en las tareas de tensado y protección de máquinas (ver apéndice 10).

## **Formato verificación del estándar corporativo HSE-106 enfocado en la protección de máquinas**

Esta herramienta correspondió a una lista enfocada en la protección de máquinas que se divide en tres grandes apartados: protección física con cuatro ítems, aislamiento de energía con tres ítems y paros de emergencia con cinco ítems, obteniendo un porcentaje de cumplimiento para cada apartado puntuando si el control está en el lugar y si es efectivo, permitiendo conocer el número de peligros identificados y las evaluaciones de riesgo realizadas (ver apéndice 11).

## **Entrevista semiestructurada a la coordinadora de H&S**

Una entrevista es una técnica que se caracteriza por tratarse de una conversación más o menos dirigida entre el investigador y el sujeto de estudio con un fin siempre bien determinado y enfocado a la resolución de los objetivos y preguntas de investigación de trabajo. La entrevista semiestructurada cuenta con preguntas fijas, pero en este caso los entrevistados pueden contestar libremente, los investigadores pueden interactuar y adaptarse a los entrevistados y a sus respuestas, en definitiva, son entrevistas más dinámicas, flexibles y abiertas, y por tanto permiten una mayor interpretación de los datos. (Lopezosa, 2020)

En este caso la entrevista estuvo conformada por 15 preguntas (ver apéndice 12) dirigida a la coordinadora de salud y seguridad con el objetivo de obtener información detallada sobre los accidentes investigados, mantenimientos preventivos realizados a los equipos, cumplimiento de auditorías externas e internas en tensado, las capacitaciones impartidas por la organización en temas de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía al personal expuesto en la nave 1 y el presupuesto disponible para iniciativas de salud, seguridad y control de riesgos laborales.

2. Objetivo 2: Evaluar los riesgos presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1.

## **Entrevista semiestructurada a los colaboradores de proceso**

La entrevista semiestructurada conformada por 28 preguntas y orientada a los colaboradores directos del Departamento de Producción de la empresa y los contratistas presentes al momento de la aplicación de la herramienta, permitió cuantificar los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía presentes en el tensado, procedimientos y prácticas que realizan durante las tareas de tensado, equipo de protección personal y el conocimiento y cumplimiento de las medidas de seguridad (ver apéndice 13).

## **Observación participativa en los procesos productivos**

La observación participativa como indican Campos y Lule (2012) es una técnica utilizada en la investigación que permite realizar un registro visual y verificable de las tareas, procedimientos y condiciones que se desean conocer, así como describir, analizar y explicar de manera sistemática y objetivas las tareas realizadas en los procesos a evaluar.

Para la aplicación de esta herramienta se inspeccionó el proceso de tensado con el objetivo de identificar las condiciones inseguras relacionadas con riesgos mecánicos y la

liberación descontrolada de energía, para lo cual se utilizó una hoja de campo para registrar las observaciones incluyendo tareas del proceso, condiciones inseguras, riesgos, equipo de protección personal utilizado y medidas de control (ver apéndice 14).

### **Análisis de Modos de Fallas y Efectos**

Rojas, (2019) expresa que el Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) es una herramienta que se utiliza para identificar los problemas que se puedan suscitar en un proceso, producto o servicio, con el fin de eliminarlo o mitigar su efecto que perjudique eventualmente al cliente final.

Esta herramienta aplicada al proceso de tensado de vigas de concreto brindó los modos de fallo que son las formas en las que un proceso puede fallar, los efectos y causas de los fallos, índice de prioridad de riesgo y los controles actuales para mitigar o eliminar los efectos de manera que los fallos perjudiquen en menor grado al proceso en estudio, (ver apéndice 15).

3. Objetivo 3: Diseñar controles ingenieriles y administrativos integrados a un programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto.

### **Matriz multicriterio de evaluación de las alternativas de diseño**

Esta matriz multicriterio para el análisis de las diferentes alternativas de diseño permitió realizar una comparación en requerimientos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de cumplimiento de estándares permitiendo elegir la mejor alternativa considerando todos los requerimientos antes mencionados.

Esta herramienta fue de tipo cuali-cuantitativo, ya que se asignó un puntaje a los criterios de comparación que se usan para analizar las alternativas de diseño, de manera que la propuesta con mayor puntaje correspondió a la mejor alternativa a implementar (ver apéndice 16).

### **Formato de programa basado en la INTE T29:2016: Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo. Aspectos generales.**

De acuerdo con INTECO (2016) la norma INTE T29:2016: Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo. Aspectos generales, establece los requisitos mínimos para elaborar programas efectivos en salud y seguridad.

La propuesta de programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto al usar el

formato de la INTE T29:2016 contiene los siguientes apartados: información general de la organización, liderazgo para la prevención de riesgos ocupacionales, participación de las personas trabajadoras, identificación de peligros y evaluación de riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía, prevención y control de estos riesgos, capacitación y formación, coordinación y comunicación entre multi-empleadores en los sitios de trabajo en común, cumplimiento legal, programa de evaluación y mejora y control de cambios.

### **Matriz de asignación de responsabilidades (Matriz RACI)**

En palabras de Alviry (2022) esta matriz ilustra el objetivo de cada tarea dentro de la organización y la acción que debe realizar cada individuo, ayuda a cada trabajador a comprender no solo su responsabilidad sino también las responsabilidades de todos trabajando dentro de la organización. Lo que esto hace es ayudar a reducir la confusión y dar claridad, lo que a su vez ayuda a que las decisiones se lleven a cabo más rápido asegurando así la eficiencia del proyecto. Sus siglas significan:

- R: responsable de ejecutar la tarea.
- A: aprueba el trabajo realizado por las contrapartes responsables.
- C: consultado, brinda información valiosa sobre la realización de la tarea.
- I: informados, las personas que se mantienen actualizadas sobre los avances y novedades con respecto a la tarea.

Esta herramienta se utilizó para asignar y contabilizar los responsables de las tareas para la implementación del programa (ver apéndice 17).

### **Plan de capacitación a los colaboradores que realizan tareas de tensado**

Citando a Parra y Rodríguez, (2015) la capacitación es el proceso en el que una empresa busca que sus empleados obtengan habilidades y destrezas necesarias para el desempeño en el cargo donde se impulsa el aprendizaje de sus colaboradores.

Esta matriz de plan de capacitación detalló la cantidad de temas, objetivos, contenidos, duración en horas y recursos requeridos sobre riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía, necesarios para la formación de colaboradores en las tareas del proceso de tensado, (ver apéndice 18).

### **Matriz de recursos requeridos para la implementación del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía**

Esta herramienta consistió en una matriz que estima los recursos financieros, humanos y materiales que se requieren por parte de la empresa para la implementación del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía. La estructura de esta matriz correspondió a una columna que clasifica el recurso en económico, material o humano, seguido de otra columna que describe el recurso y por último una columna con el costo asociado a cada recurso, (ver apéndice 19).

### **Diagrama de Gantt**

Es una herramienta que organiza el orden de las actividades a realizar y el tiempo que toma realizar dichas tareas brindando un seguimiento y dando conocimiento a los involucrados de las tareas que se están realizando en el tiempo. En la columna de la izquierda se detallan las tareas y en las columnas hacia la derecha el periodo de tiempo que tienen las personas para ejecutar la tarea (ver apéndice 20). Esto con el objetivo de conocer las actividades asignadas, los meses requeridos para su desarrollo y mantener un orden en la implementación de las tareas del programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía en el proceso de tensado.

### **Matriz basada en el Análisis de Modos de Fallos y Efectos para la validación de la alternativa de solución ingenieril**

Para la evaluación de los riesgos presentes en el proceso de tensado se utilizó un Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE) y para validar la alternativa de solución ingenieril se realizó un segundo AMFE considerando el diseño ingenieril como base y se actualizaron los valores de gravedad, probabilidad de ocurrencia, probabilidad de detección y el índice de prioridad de riesgo. Se compararon los índices de prioridad de riesgo del AMFE inicial con los del recalculado de manera que una reducción significativa en este índice indica que la alternativa de diseño logra reducir los riesgos de manera efectiva, (ver apéndice 21).

### **Minuta de la reunión con el beneficiario para la verificación del cumplimiento de los requisitos y validar la solución administrativa**

Esta herramienta consistió en una minuta que incluyó los datos generales de la reunión: objetivo, fecha, hora de inicio y fin, participantes, la cantidad de requerimientos, una descripción detallada de cada requerimiento y si cumplía o no, además de un espacio para observaciones, acuerdos y por último la firma de los participantes para dar por validada la solución administrativa propuesta, (ver apéndice 22).

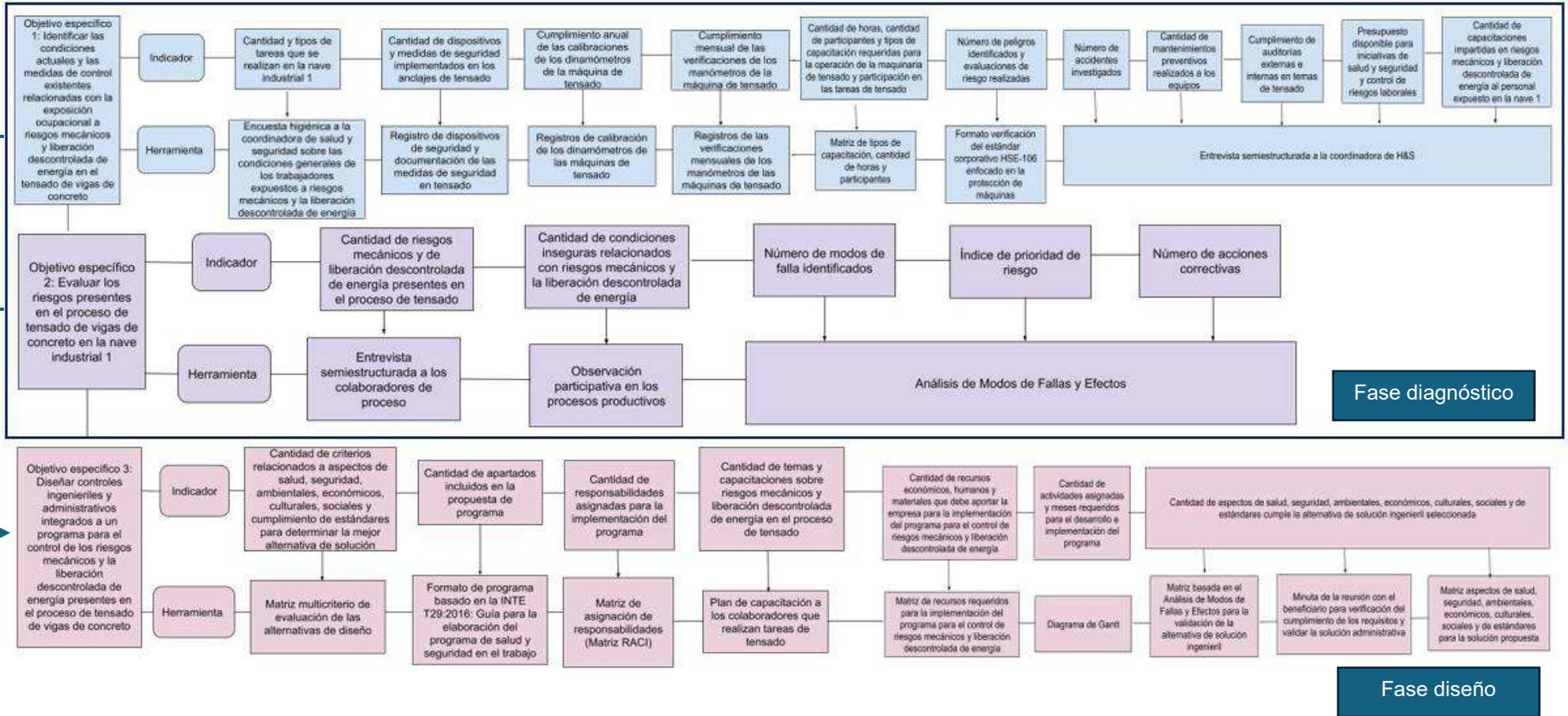
## **Matriz de aspectos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de estándares para la solución propuesta**

A través de esta matriz cualitativa se verificó el cumplimiento en criterios de salud y seguridad, ambientales, económicos, socioculturales y de estándares de la propuesta de solución ingenieril y administrativa elegidas para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía (ver apéndice 23).

### **F. Plan de análisis**

En la figura 1 se detalla el plan de análisis para la elaboración del proyecto, el cual incluye dos fases: la fase de diagnóstico con la identificación de las condiciones actuales, las medidas de control existentes y la evaluación de riesgos presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1, así como la fase de diseño con las alternativas de diseño ingenieril y administrativa integradas al programada para el control de los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía.

**Figura 1. Plan de análisis para la operacionalización de variables**



A continuación, se detallan los indicadores y herramientas para cada objetivo específico según las fases anteriormente mencionadas.

## **1. Fase de diagnóstico**

Objetivo específico 1: Identificar las condiciones actuales y las medidas de control existentes relacionadas con la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto

Este objetivo específico permitió conocer las condiciones actuales y las medidas de control existentes, para su cumplimiento se establecieron dos variables, la condición actual y las medidas de control existentes en la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía.

Para la primera variable se realizó una caracterización del entorno laboral con la coordinadora de salud y seguridad sobre las condiciones generales de los trabajadores expuestos a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía que incluyó preguntas sobre los tipos de tareas que se realizan en la nave industrial 1, existencia de áreas delimitadas y señalizadas en las zonas de mayor riesgo, el uso de equipo de protección personal, la frecuencia de inspecciones para evaluar y corregir los riesgos, existencia de resguardos en la mesa de tensado, entre otras preguntas (ver apéndice 6).

Para la segunda variable por medio de diversas matrices se obtuvo la cantidad de protecciones a maquinaria y medidas de seguridad implementados en las mesas de tensado, el cumplimiento anual de las calibraciones de los dinamómetros y las verificaciones de los manómetros de las máquinas de tensado, así como la cantidad de horas, participantes y tipos de capacitación requeridos para la operación de la máquina de tensado y la participación en las tareas de tensado.

Asimismo, para esta misma variable se aplicó el formato de verificación del estándar corporativo HSE-106, obteniendo el número de peligros identificados y evaluaciones de riesgos realizadas y se aplicó una entrevista semiestructurada a la coordinadora de salud y seguridad para la recolección de información relacionada a las medidas de seguridad implementadas, cumplimientos de auditorías externas e internas, capacitaciones impartidas por la organización y el presupuesto disponible para iniciativas de salud y seguridad para el control de riesgos laborales.

## Objetivo 2: Evaluar los riesgos presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1

El segundo objetivo tuvo como fin evaluar los riesgos en el proceso de tensado de vigas, para lo cual fueron necesarias herramientas como la entrevista semiestructurada a los colaboradores de proceso para obtener la cantidad de riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía presentes en el proceso de tensado, así como información sobre la frecuencia con la que realizan las inspecciones a las herramientas y máquinas de tensado, seguimiento de procedimientos de trabajo seguros, conocimiento sobre los riesgos presentes, las medidas de seguridad y las capacitaciones recibidas.

Asimismo, a través de la herramienta de observación participativa en los procesos productivos se registró la cantidad de condiciones inseguras relacionadas con los riesgos identificados. Esta información se integró posteriormente al Análisis de Modos de Fallos y Efectos en el cual cada modo de fallo fue evaluado según los criterios de gravedad, probabilidad de ocurrencia y detección, a partir de estos criterios se calculó el índice de prioridad de riesgo lo que permitió priorizar los riesgos según su nivel de criticidad.

### **2. Fase de diseño**

## Objetivo 3: Diseñar controles ingenieriles y administrativos integrados a un programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el proceso de tensado de vigas de concreto

Para esta fase se hace uso de la información recolectada en la fase de diagnóstico y las herramientas generadas para este tercer objetivo específico. Por lo que, con la información relacionada a las condiciones de exposición ocupacional, medidas de control existentes y la evaluación de riesgos presentes en el proceso de tensado se procedió con la primera variable que son los controles ingenieriles para lo cual a través de una matriz multicriterio se evaluaron las alternativas de diseño propuestas en aspectos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y cumplimiento de estándares para determinar la mejor alternativa.

La variable del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía incluye herramientas como el formato de programa basado en la INTE T29:2018: Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo, una matriz de responsabilidades RACI para determinar la cantidad de responsabilidades asignadas para la implementación del programa y un plan de capacitación a los colaboradores que realizan tareas

de tensado. Además, con el diagrama de Gantt se obtuvo un cronograma con las tareas requeridas para la implementación del programa y el plazo para su ejecución distribuidas en los 12 meses del año 2026 y como parte de la validación de la alternativa ingenieril elegida se aplicó un Análisis de Modo de Fallos y Efectos, mientras que para la alternativa administrativa se realizó una reunión con el beneficiario que dio como resultado una minuta con la verificación del cumplimiento de los requisitos.

Por último, para las alternativas de solución elegidas se desarrolló una matriz de recursos requeridos para su implementación y de cumplimiento de aspectos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de cumplimiento de estándares, (ver apéndice 19 y 23).

#### **IV. Análisis de la situación actual**

A continuación, se presenta la información obtenida relacionada a riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía tras aplicar las herramientas propuestas en la operacionalización de variables.

##### **A. Identificación de las condiciones actuales y las medidas de control para la exposición ocupacional a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.**

###### **Caracterización del entorno laboral**

La caracterización del entorno laboral mostró que la empresa cuenta con 256 colaboradores, 51 corresponden al departamento de producción, de los cuales se estará trabajando únicamente con dos trabajadores que son los que están autorizados para realizar tareas de tensado y los contratistas que estén presentes al momento de aplicación de las herramientas. Los colaboradores directos administrativos laboran de lunes a jueves de 7:00 am a 5:00 pm y los viernes de 7:00 am a 3:00 pm, mientras que el personal operativo labora de lunes a viernes de 6:00 am a 3:30 pm y ocasionalmente los sábados como horas extra.

La nave industrial 1 tiene una longitud de 72 m y el ancho es de 48 m aproximadamente, lo que resulta en un área de 3456 m<sup>2</sup>, tanto las zonas de trabajo como las peatonales se encuentran demarcadas a nivel de piso y se realizan tareas de corte, doblado de armadura, armado de moldes, colado de las piezas con concreto, trabajos de detallado de las piezas, izaje y transporte de cargas para las cuales los colaboradores utilizan el equipo de protección personal básico y específico como zapatos de seguridad, casco, guantes, camisa manga largo con retro reflectivo, entre otros.

La seguridad en esta área es una prioridad, sin embargo, la coordinadora en salud y seguridad indica que es necesario aplicar mejoras en el proceso de orden y limpieza de manera que haya una segregación de materiales en las áreas para mejorar el tránsito de personas en la nave. Asimismo, comentó que con miras a favorecer de las condiciones de trabajo se realizan inspecciones periódicas para identificar y mitigar los riesgos en las que participan todos los colaboradores de la empresa tanto propios como contratistas a través de la aplicación en tus zapatos, iCare o directamente con el departamento de H&S.

Además, ante cualquier accidente se lleva a cabo una investigación y se comentan las oportunidades de mejora con los colaboradores en paros por enfoque, los cuales son pausas

planificadas de las actividades laborales con el objetivo de concentrar en un punto en común a todos los colaboradores que se encuentren en las instalaciones de la organización con el objetivo de describir y analizar el accidente que se haya presentado, así como comentar las acciones correctivas y preventivas para evitar que se presente nuevamente un accidente. Además indicó que la totalidad de colaboradores conocen los riesgos asociados a las tareas realizadas y las medidas preventivas, estas medidas incluyen barreras físicas como mamparas de madera y metal en los extremos de las mesas de tensado, el uso de cadenas para prevenir la proyección de torones y la designación de un monitor que es una persona encargada de alertar a los demás solamente mientras se está realizando la aplicación de las fuerzas de tensado para restringir el acceso del resto del personal al área.






A partir de lo anterior cabe mencionar que, a pesar de las medidas de seguridad existentes en la planta, se identifican áreas de mejora como que la señalización de advertencia sobre riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía se encuentra deteriorada y se requiere una renovación y un diseño más efectivo. Otro aspecto crítico es la falta de protecciones en las mesas de tensado, por lo que la entrevista arroja que se pueden implementar nuevas medidas de seguridad o mejorar las existentes considerando los riesgos específicos del proceso.

### **Registros de protección a maquinaria y documentación de las medidas de seguridad en tensado**

A través de la identificación cuantitativa de las protecciones de seguridad en tensado realizada en la nave industrial 1 se obtuvo que las tres mesas cuentan con tubos con cadenas que son colocados en los extremos de los torones para que sean retenidos en caso de liberación, pantallas de seguridad en la parte superior de la mesa de tensado, mamparas de madera y metal móviles que se colocan en frente de los torones tensados y señalización de advertencia.

La mesa 1 tiene dos líneas para realizar tensado, mientras que las mesas 2 y 3 tienen solamente una. En el siguiente cuadro, se detalla la cantidad de cada protección de seguridad según la mesa de tensado.

**Cuadro 5. Registro de protección a maquinaria en las mesas de tensado**

Protección de seguridad	Fotografía referencia	Mesa de tensado 1		Mesa de tensado 2	Mesa de tensado 3
		Línea de tensado 1	Línea de tensado 2		
Tubos con cadenas que se colocan en los extremos del torón		8 en cada extremo 16 en total	8 en cada extremo 16 en total	8 en cada extremo 16 en total	6 en cada extremo 12 en total
Pantallas de seguridad		2		2	2
Mamparas de metal y madera		2		2	0
Señalización "Advertencia Tensado en proceso"		1 en cada extremo 2 en total		1 en cada extremo 2 en total	0
Señalización "Advertencia Presión de trabajo desde 2 870 Kgf Hasta 19 845 Kgf"		2		2	2

Protección de seguridad	Fotografía referencia	Mesa de tensado 1		Mesa de tensado 2	Mesa de tensado 3
		Línea de tensado 1	Línea de tensado 2		
Señalización acceso restringido			1	1	0
Barricada con cadena amarilla			1	1	0

Se identificó que la mesa de tensado 3 cuenta con menos protección en comparación con las demás mesas, específicamente carece de mamparas de seguridad móviles, señalización que alerte sobre el proceso de tensado y restrinja el acceso a personal no autorizado, además la zona no está delimitada con cadena amarilla para evitar el acceso del personal.

En cuanto a las medidas de seguridad, se registró el uso de conos a lo largo de la mesa durante la aplicación de fuerzas de tensado con la máquina y se retiran al finalizar la tarea, para ello la nave industrial 1 dispone de 10 conos. Adicionalmente, se solicita al personal presente en la zona que se retire para lo cual se designan uno o dos monitores en los extremos de las mesas para controlar el acceso y asegurar que ninguna persona ingrese al área durante la tarea específica de aplicación de las fuerzas a los torones con el pistón hidráulico y la máquina de tensado.

### **Registros de calibración y verificación del dinamómetro y manómetros de las máquinas de tensado**

En la empresa se tiene solamente un dinamómetro el cual se calibra anualmente en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) y el registro de la última calibración realizada corresponde al 8 de noviembre del 2024, por lo que se encuentra en cumplimiento con la calibración vigente.

Para garantizar que las máquinas de tensado funcionen de acuerdo con las especificaciones establecidas se utiliza un dinamómetro para realizar la verificación de los manómetros. El análisis del cumplimiento de las verificaciones mensuales realizadas en la máquina de tensado 401VH1 ubicada en la nave industrial 1, durante el periodo de enero del 2024 y febrero del 2025 indica una situación variable en la ejecución de las verificaciones, la cual se detalla en el siguiente cuadro.

**Cuadro 6. Meses en los que se realizó la verificación a la máquina de tensado 401VH1**

Mes	Registro de verificación
Enero 2024 – Mayo 2024	No
Junio 2024 – Setiembre 2024	Sí
Octubre 2024 – Diciembre 2024	No
Enero 2025 – Febrero 2025	Sí

De acuerdo con el cuadro anterior se evidencia un porcentaje de cumplimiento del 46% durante los trece meses evaluados con los registros durante los meses de junio, julio, agosto,

setiembre del 2024 así como enero y febrero del 2025 en los que la condición del equipo fue apta. Sin embargo, en los meses restantes del periodo de estudio no se dispone de registros, esta ausencia de información impide determinar si las verificaciones fueron realizadas o no, lo que genera incertidumbre sobre la condición del manómetro.

Asimismo, la máquina de tensado se utiliza con pistones hidráulicos adaptados a los diámetros de los torones de 0.5", 0.6" y 9.5", sin embargo, se identificó que el registro de las verificaciones del manómetro se realiza únicamente para los torones de 0.5" lo que representa un riesgo significativo, ya que cada tipo de torón posee características y tensiones diferentes. Además, el colaborador responsable de realizar el proceso de verificación se restringe a tomar una única medición de verificación, lo cual limita a detectar variaciones en los datos que podrían influir en la condición de uso del manómetro y comprometer la seguridad del proceso de tensado.

### **Registros de tipos de capacitación, cantidad de horas y participantes**

El personal no recibe capacitación, únicamente participan de la inducción que es dirigida a todo el personal nuevo que ingrese a la organización tanto contratista como personal propio. Tiene una duración de una hora y los contenidos incluyen la política de salud, seguridad y medio ambiente de la organización, la política sobre el uso y abuso de alcohol y drogas y las ocho reglas de seguridad que se detallan en la siguiente figura.

**Figura 2. Reglas de salud, seguridad y medio ambiente de Holcim**

**REGLAS DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

Para siempre cualquier trabajo que no sea seguro

 <p><b>1</b> Reporta todos los incidentes en un plazo de 24 horas.</p> <p><b>REPORTAR</b></p>	 <p><b>5</b> No te saltes o deshabilites ningún equipamiento de seguridad ni control crítico.</p> <p><b>CONTROLES CRÍTICOS</b></p>
 <p><b>2</b> Utiliza los equipos de protección individual (EPIs) obligatorios y los requeridos para la tarea.</p> <p><b>EPIs</b></p>	 <p><b>6</b> No trabajes sin las protecciones de la maquinaria, no te sitúes o camines bajo una carga suspendida o en zonas de exclusión.</p> <p><b>LÍNEA DE FUEGO</b></p>
 <p><b>3</b> Obtén y haz seguimiento de los permisos para Trabajos en altura, Trabajos con material caliente, Espacios confinados, Elevación de cargas y Aislamiento energético. Aísla, bloquea, etiqueta y prueba siempre.</p> <p><b>PERMISOS DE TRABAJO</b></p>	 <p><b>7</b> No conduzcas sin cinturón, mientras utilices el teléfono móvil ni supieras los límites de velocidad o las horas de servicio.</p> <p><b>CONDUCCIÓN SEGURA</b></p>
 <p><b>4</b> Cumple con los permisos medioambientales y operacionales.</p> <p><b>CUMPLIMIENTO DE PERMISOS</b></p>	 <p><b>8</b> No trabajes o conduzcas bajo la influencia del alcohol o de las drogas.</p> <p><b>DROGAS NO</b></p>

Cumplir estas reglas es condición de empleo



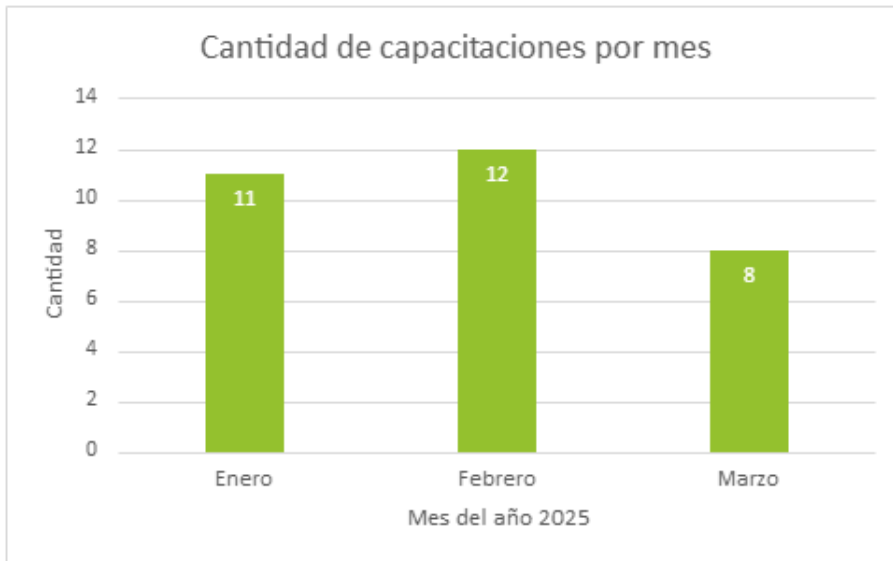

© 2023 Holcim. Sólo para uso interno

Nota: Holcim (2023).

Los lineamientos generales incluidos en la inducción son los requisitos de ingreso tanto a la planta como los proyectos constructivos, protocolo de enfermedades infectocontagiosas, orden y limpieza, procedimiento en caso de emergencia, puntos de reunión, equipo de protección personal básico y específico, peligros y medidas de control, así como el protocolo de hidratación, sombra, descanso y protección. En esta inducción se menciona de forma general el riesgo de liberación descontrolada de energía y se indica que el control para este riesgo es que el personal no ingrese a las zonas de tensado, sin embargo, no se explican de manera completa los riesgos asociados a este proceso.

Los datos dados por la organización para completar los registros corresponden al periodo comprendido de enero a la tercera semana de marzo del 2025. En el siguiente gráfico se observa la cantidad de capacitaciones registradas en el periodo en estudio.

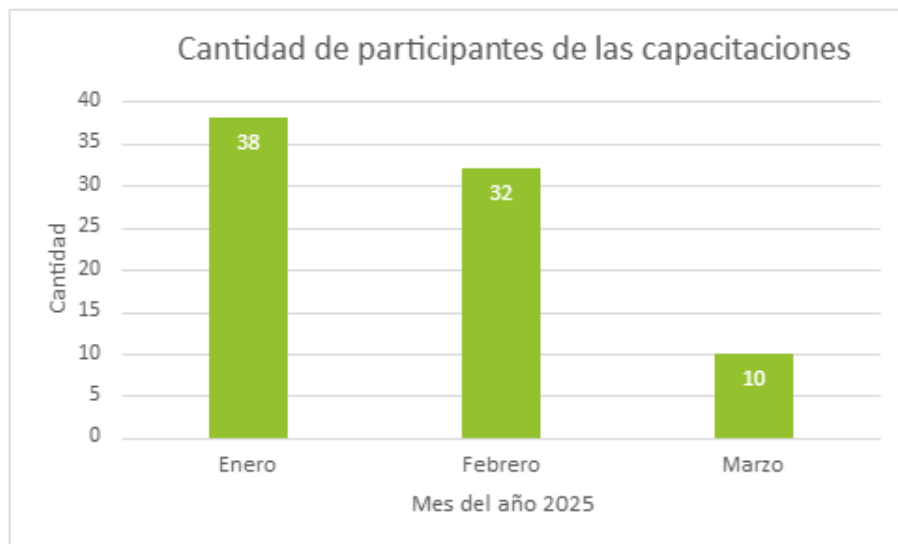
**Figura 3. Cantidad de capacitaciones impartidas por mes**



Las inducciones son impartidas por un miembro del departamento de salud y seguridad el cual está compuesto por la coordinadora y un técnico, la cantidad de capacitaciones mensuales depende de la demanda del personal de nuevo ingreso, ya que no existe una planificación o cronograma con fechas establecidas para su realización.

En el siguiente gráfico se detalla la cantidad de personas que participaron de las inducciones por cada mes.

**Figura 4. Cantidad de participantes en las inducciones por mes**



La cantidad de personas que asistieron a las capacitaciones en cada una de las fechas durante cada mes fue variable, registrando un mínimo de un participante y un máximo de nueve, además, del total de 31 inducciones impartidas durante el periodo en estudio la asistencia correspondió mayoritariamente al personal contratista, con una participación de seis colaboradores propios.

Aunque no hay un equipo de trabajo dedicado exclusivamente a las tareas de tensado, se puede garantizar que todo el personal que participe en estas actividades ha recibido la inducción de salud y seguridad. Ya que la inducción se imparte a todo el personal el primer día de trabajo. Además, el oficial de seguridad verifica diariamente al ingreso que cada persona esté autorizada para entrar a la planta y que su inducción esté vigente, asegurando así que solo personal capacitado y con el conocimiento de los protocolos de seguridad ingrese a la organización.

### **Formato de verificación del estándar HSE-106 enfocado en protección de máquinas**

No fue posible realizar la evaluación con la herramienta corporativa de revisión trimestral de los controles críticos del evento prioritario no deseado contacto con maquinaria en movimiento, basado en el estándar HSE-106. Lo anterior debido a que su diseño y funcionalidad, así como características y criterios específicamente se orientan hacia la evaluación de procesos relacionados a la planta de cemento Holcim, mientras que el proceso en estudio se centra en el tensado de concreto.

El tensado es un procedimiento que posee características y requerimientos específicos, ya que implica la aplicación de fuerzas para mejorar la resistencia y durabilidad de las estructuras de concreto, por lo que se requiere de criterios distintos para su evaluación.

### **Entrevista semiestructurada a la coordinadora de Salud y Seguridad**

Al aplicar esta herramienta a la coordinadora de salud y seguridad, se obtuvo que se han registrado diez accidentes en la nave industrial 1 de los cuales dos corresponden a riesgos mecánicos o liberación descontrolada de energía. Todos han sido investigados y comentados a los colaboradores en paros por enfoque o reuniones diarias de cinco minutos previo al inicio de labores.

Con relación al mantenimiento para las herramientas y la máquina de tensado, la organización no cuenta con un programa que indique el procedimiento a seguir, frecuencias ni

tipos de revisiones a realizar, sin embargo, el colaborador encargado del tensado como iniciativa propia realiza los mantenimientos sin una periodicidad establecida.

En la planta de Holcim Modular Solutions se han realizado auditorías internas trimestrales y externas anuales en controles críticos, sin embargo, el proceso de tensado no forma parte del Programa de Gestión de Controles críticos por lo que estas auditorías no han sido dirigidas a este tipo de proceso en específico, no obstante, en los recorridos a la planta, los auditores han realizado hallazgos sobre el tensado. Algunos de los hallazgos realizados a la nave industrial 1 corresponden al colapso estructural de las mesas de tensado, actualización del procedimiento de trabajo seguro, mejoras en las señalización, capacitación y concientización del personal sobre la exposición a los riesgos y las medidas preventivas.

Además, la organización no ha brindado capacitaciones en temas de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía al personal expuesto en la nave 1, la única capacitación impartida es la inducción al personal de nuevo ingreso. Cabe destacar también, no existe un plan de capacitación formal que autorice al personal a participar en tareas de tensado o manipular la máquina, por lo que los ayudantes no reciben capacitación y el personal que opera la máquina de tensado es instruido de manera informal y práctica en la nave industrial 1 por el colaborador propio con más experiencia. Esta práctica adoptada por los colaboradores no constituye un plan de capacitación estructurado por la organización que abarque los contenidos, la duración y las modalidades teóricas-prácticas necesarias para asegurar la calidad de la formación.

Debido a lo anterior, se comentó con la coordinadora la viabilidad de llevar a cabo actividades para atender situaciones de riesgos mecánicos y asociados a la liberación descontrolada de energía en procesos de tensado, a lo cual mencionó que no existe un presupuesto establecido, sin embargo, se puede realizar un análisis de la viabilidad económica para clasificarlo como un proyecto en caso de que se requiera mucha inversión y definir los plazos de ejecución. Además, para la implementación y seguimiento de las actividades relacionadas en la seguridad del tensado se contaría con la disponibilidad de todo el personal, desde gerencia, coordinadores, personal de mantenimiento, ingeniería, producción, salud y seguridad, entre otros. Lo que permitiría, establecer responsables para dar seguimiento mensual al control de la ejecución de dichas actividades.

## **B. Evaluación de los riesgos en el tensado de vigas en la nave industrial 1**

### **Entrevista semiestructurada a los colaboradores del proceso de tensado**

En la aplicación de la entrevista semiestructurada participaron dos colaboradores propios y cinco contratistas, cuyo tiempo laborado para la organización varía significativamente desde los dos meses hasta dos años.

Primeramente, se identificó que las tareas de tensado carecen de una planificación previa basándose en la demanda. Por lo que la necesidad de preparar más de un tensado a la vez puede implicar la solicitud de apoyo a personal rotativo de empresas contratistas que, al no haber participado previamente en el proceso de tensado desconoce las condiciones de riesgo asociadas.

Dentro de las tareas del proceso de tensado que realizan los colaboradores se encuentran la colocación de los torones en el molde, armadura, instalación de las herramientas como cuñas y barriles, la revisión de los anclajes, operación de la máquina y sostener el pistón hidráulico durante la aplicación de fuerzas de pretensado o destensado. Aunque todos indicaron que antes de iniciar las tareas realizan revisiones visuales a las herramientas, accesorios y máquinas de tensado, la autorización para operar la máquina de tensado se limita a dos colaboradores propios, sin embargo, por la experiencia adquirida solamente uno es el encargado del proceso de tensado, el cual actualmente está compartiendo su conocimiento a un colaborador contratista para operar la máquina de tensado.

Cabe mencionar también que la totalidad de los colaboradores entrevistados coincidieron en identificar la aplicación de fuerzas con el pistón hidráulico y la máquina de tensado como la tarea de mayor riesgo dentro del proceso, debido a la exposición directa tanto del personal que ejecuta la tarea como del resto de los trabajadores que se encuentran en la nave 1. Ya que a pesar de la colocación de conos de advertencia para delimitar la zona mientras se aplican las fuerzas de tensado muchos no se percatan e ingresan al área restringida.

En el siguiente gráfico se detallan los riesgos mencionados con mayor frecuencia sobre los que tiene conocimiento el personal.

**Figura 5. Riesgos mencionados por los entrevistados**



Los trabajadores mencionaron principalmente riesgos como la liberación de los torones, majonazos y caídas, sin embargo, todos afirmaron no haber participado anteriormente en la identificación de peligros e indicaron que, debido a la falta de capacitación, no tienen un conocimiento completo sobre los riesgos a los que están expuestos.

Asimismo, el 100% de los entrevistados manifestó no haber recibido capacitación específica sobre riesgos mecánicos, liberación descontrolada de energía o las tareas del proceso de tensado, ya sea en la operación de la máquina de tensado o en la sujeción el pistón hidráulico. Únicamente han recibido la inducción el primer día laboral y lo aprendido ha sido por instrucciones puntuales, observación del proceso y acompañamiento del operador encargado del proceso, pero no cuentan con un permiso que los acredite como personal autorizado para realizar dichas tareas, lo que evidencia una ausencia de concienciación sobre los riesgos presentes durante este tipo de trabajos.

Debido a la falta de capacitación, los colaboradores desconocen el instructivo de trabajo seguro en tensado y destensado existente en la organización que incluye información general sobre la realización de las tareas y se limitan a seguir las indicaciones de sus supervisores o del único trabajador encargado del proceso de tensado.

Finalmente, se evidenció que el personal cumple con el equipo de protección personal establecido por la organización para la realización de las tareas de tensado. El equipo de protección personal utilizado incluye pantalón y camisa de manga larga con material retro reflectivo, zapatos de seguridad, casco, lentes de seguridad, guantes de cuero cabrito, todos

acordes con los riesgos asociados a las tareas realizadas. Adicionalmente, para los trabajos en caliente se observó el uso de polainas, guantes para trabajos en caliente, pantalla para careta.

### **Observación participativa en los procesos productivos**

La observación participativa en las tareas de tensado permitió registrar los comportamientos riesgosos y las condiciones inseguras relacionadas con riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía a los que están expuestos los colaboradores durante estos trabajos.

A través de la observación participativa se obtuvo una descripción detallada sobre la manera en la que los colaboradores realizan el proceso de tensado, algunas de las tareas realizadas fueron preparación de las mesas de tensado con la armadura, instalación de las cuñas, medición de la longitud del torón, ensamble de conos de anclaje, aplicación de las fuerzas de pretensado, colocación de las mamparas de seguridad y chorrea de la pieza de concreto, además se observó el destensado. Además, permitió registrar los comportamientos riesgosos y las condiciones inseguras relacionadas con riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía a los que están expuestos los colaboradores durante estos trabajos.

Las fuerzas aplicadas durante la observación fueron de 4000 kgf y 7280 kgf toneladas, para lo cual previamente el coordinador de producción entregó al encargado de tensado una hoja con la información de acuerdo con la pieza que incluye: la cantidad y tipos de torones, diámetro del pistón hidráulico, longitud del molde, fuerzas iniciales, presiones iniciales y los rangos esperados de elongación. Posteriormente el encargado del tensado realizó una revisión visual de la mesa de tensado y los accesorios de tensado para colocar los conos a lo largo de la mesa, designar el monitor y proceder a aplicar las fuerzas con la máquina de tensado.

Durante la ejecución de las tareas se registraron observaciones relevantes en relación con la seguridad de los trabajadores. Uno de los principales hallazgos fue que los colaboradores se subieron a la mesa de tensado para realizar el montaje de la armadura previo a aplicar las fuerzas de pretensado y posteriormente realizaron algunas tareas sobre los torones tensados. También al momento de la colocación del pistón hidráulico y la operación de la máquina de tensado, los colaboradores estuvieron expuestos directamente a la condición de riesgo de reventadura o proyección del torón, además cabe destacar que algunos trabajadores de la nave industrial 1 no visualizaron los conos de seguridad que se colocaron a lo largo de la mesa para alertar que se estaban aplicando las fuerzas de tensado y el monitor les tuvo que solicitar que se

retiraran del área, sin embargo, a pesar de la indicación algunos continuaron transitando por la nave.

Además, se observó que la comunicación entre los colaboradores encargados de aplicar las fuerzas es prácticamente nula, aumentando el riesgo durante la ejecución de la tarea. Finalmente, durante el izaje de la canasta con el concreto para la chorrea de la pieza varios trabajadores seguían en sus tareas o transitando debajo de esta carga suspendida, lo cual incrementa el riesgo en el entorno laboral.

El equipo de protección personal utilizado durante los trabajos fue pantalón, camisa manga larga con retro reflectivo, casco, lentes, zapatos de seguridad y guantes de cabrito, polainas, pantalla para careta y guantes para trabajos en caliente, sin embargo, se observó a colaboradores que no estaban utilizando los lentes ni los guantes de cabrito.

### **Análisis de Modos de Fallos y Efectos**

Tras la aplicación del Análisis de Modos de Fallos y Efectos (AMFE) (ver apéndice 24) y la revisión por parte del equipo integrado por colaboradores del departamento de producción y salud y seguridad, se identificaron ocho principales tareas y 21 modos de fallo, de los cuales el 81% tienen un índice de prioridad de riesgo alto. Es decir, mayor o igual a 100 según lo establecido en la normativa NTP 679 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (INSHT). En el siguiente cuadro se detallan los modos de fallo con un índice de prioridad alto.

**Cuadro 7. Resultados de modos de fallo e índices de prioridad de riesgo**

Nº	Modo de fallo	Índice de prioridad de riesgo
1	Liberación brusca del torón en pretensado	<b>810</b>
2	Liberación brusca del torón en destensado	<b>810</b>
3	Falta de delimitación del área y señalización en el pretensado	<b>720</b>
4	Falta de delimitación del área y señalización en el destensado	<b>720</b>
5	Cargas suspendidas	648
6	Operación inadecuada de la grúa (velocidad, comunicación)	504
7	Error en el ensamble del torón y los empates	480
8	Secuencia de tensado	441
9	Secuencia de destensado inadecuada	441
10	Cuñas, barriles y armadura en mal estado	378
11	Colocación de los pistones hidráulicos en destensado	360
12	Torones mal sujetos	324
13	Colocación de los pistones hidráulicos	260

N°	Modo de fallo	Índice de prioridad de riesgo
14	Error en la medición en campo o en los cálculos de tolerancia dados por ingeniería	224
15	Cálculos incorrectos de las fuerzas de destensado	180
16	Ruptura del gancho o de los puntos de anclaje	160
17	Procedimiento de preparación del torón	126

El AMFE identificó cuatro modos de fallo críticos, cuyas prioridades de riesgo oscilan entre los 810 y 720, sin embargo, deben ser intervenidos todos los que sean iguales o mayores a 100. La liberación brusca del torón durante el pretensado o destensado obtuvo el mayor índice de prioridad de riesgo y las causas principales son el mal funcionamiento del pistón hidráulico, errores en la instalación o el deterioro de los anclajes del torón. Para controlar este riesgo actualmente se colocan tubos con cadena en los externos de los torones y mamparas de madera y metal que se colocan en los extremos de las mesas de tensado.

El segundo modo de fallo crítico es la falta de delimitación y señalización del área de trabajo en el pretensado y destensado debido a la ausencia tanto de barreras físicas, señalización y la exposición directa de los colaboradores; los controles actuales son la colocación de conos durante la aplicación de las fuerzas de pretensado o destensado y la asignación de un monitor para restringir el acceso a la zona.

### **C. Conclusiones**

A continuación, se presentan las principales conclusiones obtenidas del análisis de la situación actual del proceso de tensado.

- El procedimiento actual de verificación de los manómetros de la máquina de tensado no garantiza la seguridad del equipo, ya que se limita a los torones de 0.5" y excluye los de 0.6" y 9.5", también utilizados en el proceso. Además, la ausencia de los registros mensuales de dichas verificaciones impide asegurar que el equipo esté en condiciones seguras para su uso, lo que incrementa el riesgo para los colaboradores y la confiabilidad del equipo.
- La capacitación actual es insuficiente, ya que los colaboradores solo reciben una inducción general que únicamente menciona el riesgo de tensado sin profundizar en riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía, lo que incrementa la exposición a condiciones riesgosas por parte del personal.

- La herramienta actual de la organización de verificación del estándar HSE-106 enfocado en protección de máquinas no permite una evaluación de los aspectos de seguridad asociados al proceso de tensado. Dado que no se ajusta a las características ni riesgos específicos del tensado, lo que impide la generación de información de valor para el análisis de aspectos de seguridad en dicho proceso.
- Existe una dependencia operativa en un solo colaborador propio para la aplicación de las fuerzas de pretensado y destensado, lo que representa un riesgo para la continuidad del y seguridad del proceso.
- La falta de conocimiento por parte de los colaboradores y la desactualización del Instructivo de Trabajo en pretensado y destensado aumenta el riesgo de errores operativos comprometiendo la seguridad y la eficiencia en la ejecución de las tareas del proceso.
- La ausencia de registros de las inspecciones realizadas a la máquina y herramientas previo a las tareas de tensado impide verificar su cumplimiento y calidad, por lo que puede generar condiciones inseguras durante el proceso de tensado.
- Los riesgos más mencionados por los colaboradores en las tareas de tensado fueron la liberación del torón, majonazos, caídas, cortes e incluso la muerte. Además, la exposición al aplicar las fuerzas de tensado fue considerada la tarea más riesgosa debido a la exposición directa a fuerzas de hasta 19 845 kg/cm<sup>2</sup> al manipular el pistón hidráulico y operar la máquina de tensado.
- La observación de prácticas inseguras durante el proceso de tensado evidencia la falta de controles operativos y de cultura preventiva, lo que incrementa el riesgo de que los colaboradores sufran accidentes.
- La evaluación de riesgos en el proceso de tensado dio como resultado que el 81% de los modos de fallo tienen un índice de prioridad de riesgo alto, es decir mayor o igual a 100. Por lo que los controles actuales no son eficientes para prevenir el modo de fallo o minimizar sus efectos en caso de que se presenten, lo que refleja la necesidad urgente de intervención para el control de riesgos en el proceso.
- La liberación brusca del torón durante el pretensado o destensado, así como la falta de delimitación y señalización del área de trabajo, expone directamente a los colaboradores. Por lo que se evidencia una deficiencia en las medidas de seguridad incrementando el riesgo de lesiones graves o fatales durante el proceso.

## **D. Recomendaciones**

A partir de las conclusiones previamente expuestas, se presentan recomendaciones para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas de concreto.

- Implementar una lista de verificación del proceso de tensado, que permita dar seguimiento al cumplimiento de las medidas de seguridad requeridas en el proceso.
- Poner en práctica un registro para la verificación de los manómetros con todos los tipos de torones utilizados y las inspecciones visuales de todas las herramientas involucradas en el proceso.
- Actualizar el instructivo de trabajo para pretensado y destensado, incluyendo una descripción de cada tarea del proceso, el registro de las revisiones de las herramientas de trabajo, así como los mantenimientos y verificaciones realizadas a la máquina de tensado y pistón hidráulico.
- Instalar barreras físicas para restringir el acceso únicamente al personal autorizado en los extremos de las mesas de tensado durante la aplicación de las fuerzas de tensado.
- Aumentar la cantidad de personal capacitado y autorizado para operar la máquina de tensado, el cual debería ser designado como personal específico a participar en el proceso de tensado para disminuir la rotación y reducir la dependencia en un solo colaborador.
- Diseñar e implementar un plan de capacitación específico para trabajos en tensado que incluya los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía. Este plan asegura que los colaboradores propios y contratistas que participan directamente del proceso, así como los colaboradores de la nave 1 reciban capacitación sobre los peligros a los que están expuestos y las medidas de seguridad necesarias para realizar de manera segura las tareas de tensado.
- Se recomienda la creación de una alternativa de solución que integre controles administrativos y propuestas de solución ingenieril para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1.

## **V. Alternativas de solución**

A continuación, se presentan las alternativas de solución en dos secciones: ingenieriles y administrativos para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto.

### **A. Alternativas de solución ingenieriles**

En esta sección se describen las tres alternativas de solución de control ingenieril para la minimización de riesgos en el proceso de tensado.

El beneficiario, expresó su interés en implementar una solución que garantice la seguridad y bienestar del personal, limitando el acceso a este proceso considerando que se encuentra en una nave industrial de espacio abierto y que por el diseño de la planta no es posible trasladar el proceso a una nave designada únicamente para tareas de tensado.

#### **1. Propuestas de solución**

##### **Alternativa 1: Jaula de protección para el operador que aplica las fuerzas de tensado.**

Para la alternativa 1 se propone elaborar una jaula de protección con acero de alta resistencia para el colaborador que sostiene el pistón hidráulico y el que opera la máquina al momento de aplicar las fuerzas de tensado, de manera que esta jaula rodee la zona de operación de la máquina de tensado y delimite el acceso a los demás colaboradores. Esta jaula actúa como una barrera física entre los torones que representan la fuente de riesgo y los colaboradores protegiéndolos de posibles impactos directos.

Esta alternativa se sugiere implementar al extremo de cada mesa de tensado, para lo cual se considera que no hay un extremo definido para la aplicación de fuerzas de tensado y ambos pueden funcionar como extremo vivo en el que se aplica y retira la fuerza de tensión a los torones o muerto que es el extremo fijo de la mesa de tensado opuesto al extremo para tensar el torón, es decir, se puede tensar en ambos extremos. De esta manera se propone una estructura perimetral de la zona construida con perfiles de acero estructural de alta resistencia, una base fijada al suelo y las paredes de la jaula construidas con lámina de metal expandido de alta resistencia.

Además, para controlar el acceso a la jaula se incorpora un portón corredizo para delimitar el ingreso de los colaboradores que no participan de la tarea y las láminas de metal expandido que conforman la jaula pueden ser removidas con herramientas para cuando se requiera realizar el cambio de las bobinas de torones.

En el siguiente cuadro se muestra el detalle de los aspectos, beneficios y costos de esta alternativa de solución.

**Cuadro 8. Aspectos, cantidades y costos de la jaula de protección**

Aspectos	Posible proveedor	Cantidad	Costo unitario	Costo mesa 3	Costo mesa 2	Costo mesa 1	Costo total
Tubo estructural hierro negro 1.5 mm espesor	Construplaza	128	₡ 12 400	₡ 396 800 (32 tubos)	₡ 595 200 (48 tubos)	₡ 595 200 (48 tubos)	₡ 1 587 200
Lámina de metal expandido (Jordomex) 3 mm espesor	Construplaza	53	₡ 30 000	₡ 390 000 (13 láminas)	₡ 600 000 (20 láminas)	₡ 600 000 (20 láminas)	₡ 510 000
Carro para riel de portón	Construplaza	14	₡ 8 000	₡ 48 000 (6 unidades)	₡ 32 000 (4 unidades)	₡ 32 000 (4 unidades)	₡ 112 000
Riel galvanizado para portón	Construplaza	7	₡ 18 000	₡ 54 000 (3 rieles)	₡ 36 000 (2 rieles)	₡ 36 000 (2 rieles)	₡ 126 000
Placa de hierro negro	Construplaza	53	₡ 2 600	₡ 33 800 (13 unidades)	₡ 52 000 (20 unidades)	₡ 52 000 (20 unidades)	₡ 137 800
Expander 3/8" x 4"	EPA	33	₡ 2050	₡ 26 650 (13 bolsas de 4 unidades)	₡ 20 500 (10 bolsas de 4 unidades)	₡ 20 500 (10 bolsas de 4 unidades)	₡ 67 650
Costo total de la alternativa de solución:							<b>₡ 2 540 650</b>

Precios consultados en línea al 24/4/2025

En el cuadro anterior no se incluyeron los costos de fabricación e instalación de la alternativa de solución ya que, en caso de implementarse, la mano de obra estaría a cargo de los colaboradores de la empresa. Se estima que, asignando cuatro colaboradores para la construcción de las jaulas, cada uno requeriría aproximadamente 40 horas de trabajo y el costo de la hora trabajada es de ₡3200.

### **Alternativa 2: Barreras de protección laterales en las mesas de tensado**

La segunda alternativa corresponde a la implementación de barreras físicas continuas a lo largo de las mesas de tensado hasta los extremos de tensado ancladas al suelo para prevenir el acceso de personal no autorizado. Estas barreras elaboradas con lámina de metal expandido de alta resistencia actúan como una contención física que protege a los colaboradores sin intervenir en la visibilidad de las mesas ni en la operación del tensado.

En el diseño se considera que estas barreras pueden ser removidas por personal autorizado para labores de mantenimiento previamente autorizadas de las mesas de tensado.

**Cuadro 9. Aspectos, cantidades y costos de las barreras laterales en las mesas de tensado**

Aspectos	Posible proveedor	Cantidad	Costo unitario	Costo total (3 mesas)
Tubo estructural hierro negro 1.5 mm espesor	Construplaza	150	₡ 12 400	₡ 1 860 000
Lámina de metal expandido (Jordomex) 3 mm espesor	Construplaza	153	₡ 30 000	₡ 4 590 000
Placa de hierro negro	Construplaza	102	₡ 2 600	₡ 265 200
Expander 3/8" x 4"	EPA	408	₡ 2050 (bolsa de 4 unidades)	₡ 209 100
Costo total de la alternativa de solución:				<b>₡ 6 924 300</b>

Precios consultados en línea al 24/4/2025

### **Alternativa 3: Zonas de exclusión con detectores fotoeléctricos**

Esta alternativa de solución corresponde a la instalación de detectores fotoeléctricos, específicamente cortinas de luz que emitan un haz de luz continuo de un extremo a otro. En caso de que el haz de luz sea interrumpido por la presencia de personas u objetos emite una alarma sonora para alertar la interrupción.

Se propone la instalación de un emisor y receptor en los extremos de las mesas de tensado, específicamente en los laterales, de manera que, si el colaborador intenta subirse a la mesa de tensado o tener contacto con los torones tensados, se detecte la interrupción del haz de luz y se emita una alarma sonora.

**Cuadro 10. Aspectos, cantidades y costos de las zonas de exclusión con detectores fotoeléctricos**

Aspectos	Posible proveedor	Cantidad	Costo unitario dólares	Costo unitario colones	Costo total
Cortina de luz	Industrial direct	30	\$2500	₡ 1 263 625	₡ 37 908 750
Cables de conexión	Ditesa	400 m		₡ 1 103 precio por metro	₡ 441 200
Tubería emt	Ditesa	134 tubos de 3 m		₡ 3 889	₡ 521 126
Soja Sirena	Industrial direct	6	\$ 392	₡ 198 000	₡ 1 188 000
Relé de seguridad	Industrial direct	6	\$400	₡ 202 180	₡ 1 213 080
Servicio de instalación	Solís y Castro	-	-	-	₡ 750 000
Costo total de la alternativa de solución:					₡ 44 022 156

Precios consultados en línea al 24/4/2025

Tipo de cambio de dólar al 28/4/2025 según el Banco Central ₡ 505.45

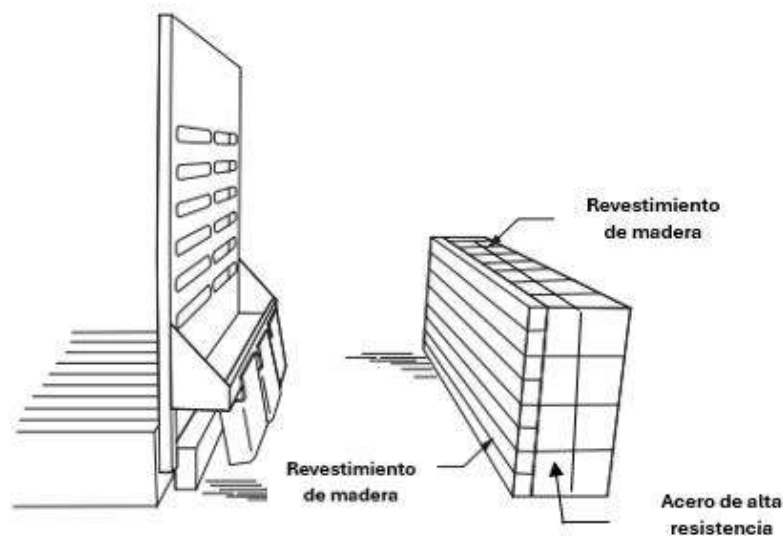
## Complementos a la alternativa de solución ingenieril

Para las alternativas de solución ingenieril propuestas, se sugieren los siguientes complementos con el fin de optimizar su efectividad, estos elementos contribuyen a reforzar el control del riesgo.

### Mamparas fijas en los extremos de las mesas de tensado

Las alternativas de solución ingenieril se complementan con mamparas fijas en los extremos de cada mesa de tensado, en la siguiente figura se observa el diseño de esta protección.

**Figura 6. Diseño de protección con revestimiento de madera en los extremos de las mesas de tensado**



Nota: Mineral Products Association (MPA) (2023).

Como se pudo observar en la imagen anterior la cual fue adaptada a esta propuesta de diseño de mamparas, las protecciones se proponen que sean elaboradas con un núcleo interno de acero de alta resistencia reforzado externamente con un revestimiento de madera dura de alto grosor en ambos extremos, de manera que el acero quede internamente para que en caso de una liberación del torón se incruste en la madera en lugar de rebotar aumentando la probabilidad de contención.

Se proponen dos mamparas para cada mesa de tensado, específicamente una para cada extremo. En el siguiente cuadro se detallan las medidas para las propuestas de diseño de mamparas.

**Cuadro 11. Propuesta de dimensiones para las mamparas**

Característica	Mesa 1		Mesa 2	Mesa 3
	Línea de tensado 1	Línea de tensado 2		
Alto	1 m	1 m	1 m	1 m
Ancho	1.15 m	1.15 m	1.15 m	2.8 m

El diseño de las mamparas con estas medidas cubre completamente los torones en los extremos de las líneas y mesas de tensado, conteniendo la liberación descontrolada de un torón en el revestimiento de madera.

**Torres de señalización industrial de 3 colores con indicador sonoro**

Este complemento corresponde a la instalación en cada línea de tensado de una torre de señalización industrial, tipo semáforo como se observa en la siguiente imagen.

**Figura 7. Propuesta de torre de señalización**



Nota: Impact Company (2025).

Esta torre de señalización como se observó se compone de 3 colores, en este caso, el color verde hace referencia a tareas de preparación anclajes de tensado en esa mesa, el color naranja refiere a que hay torones tensados y el color rojo con el indicador sonoro a que se están aplicando las fuerzas de tensado con el pistón hidráulico y la máquina.

Además, se propone la siguiente señalización para comunicar a los colaboradores el significado de los colores.

**Figura 8 Propuesta de señalización para las mesas de tensado en las torres de señalización**



Como se observó en la imagen anterior la señalización indica la advertencia que genera cada color, de manera que el personal de la nave industrial comprenda los tres tipos de advertencias como lo es el acceso restringido a toda la nave cuando las luces rojas y las sirenas estén en funcionamiento. En caso de implementarse, se recomienda que la señalización tenga dimensiones de 56 cm de alto por 40 cm de ancho con letra Arial o Holcim.

### **Cadenas en las mesas de tensado que se coloquen sobre los torones tensados**

Para minimizar el movimiento del torón en caso de que se produzca una liberación de la tensión, se recomienda la instalación de sujeciones como cadenas a lo largo de las mesas de tensado, de manera que puedan ser colocadas en anclajes previamente instalados en los extremos laterales de las mesas de tensado. En la siguiente imagen se ejemplifica la colocación de este elemento de seguridad.

**Figura 9. Restricción de seguridad con cadenas en las mesas de tensado**



Nota: Mineral Products Association (MPA) (2023).

Las cadenas ejemplificadas en la imagen anterior de Mineral Products Association, (2023) recomienda que sean colocadas a separaciones entre 5 y 10 m a lo largo de toda la mesa de tensado.

## **2. Comparación de las alternativas de solución**

En el cuadro 12 se visualiza la matriz multicriterio para la comparación y selección de la alternativa de solución ingenieril, basada en aspectos de salud y seguridad, ambientales, económicos, socioculturales, de estándares y factibilidad de implementación. Para la selección de la alternativa considerando los aspectos antes mencionados se creó una escala de valor numérico en donde el uno corresponde a que se incumple el aspecto, el dos que se cumple parcialmente y el tres refiere a que sí cumple con el aspecto evaluado.

**Cuadro 12. Matriz multicriterio de comparación y selección de las alternativas de solución ingenieriles**

Alternativa	Salud y seguridad	Ambientales	Económicos	Socioculturales	Estándares	Puntuación total
<p>Alternativa 1: Jaula de protección para el operador que aplica las fuerzas de tensado.</p>	<p>La alternativa reduce la exposición durante la aplicación de las fuerzas de tensado y restringe el acceso solo a personal autorizado. <b>Puntuación: 3</b></p>	<p>La propuesta no genera residuos ni emisiones ambientales. Los materiales son resistentes lo que aumenta la vida útil y en caso de que se reemplacen no requieren una disposición especial. <b>Puntuación: 3</b></p>	<p>La primera propuesta requiere la menor inversión económica, el total en materiales es de ₡ 2 540 650. <b>Puntuación: 3</b></p>	<p>Esta propuesta sí permite el aumento de la seguridad en el tensado y no implica modificaciones en los procesos y la realización de las tareas. <b>Puntuación: 3</b></p>	<p>La propuesta cumple con lo establecido en la INTE/ISO 12100:2012 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación y reducción del riesgo y en la INTE/ISO 14120:2016 Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles. <b>Puntuación: 3</b></p>	<b>15</b>
<p>Alternativa 2: Barreras de protección laterales en las mesas de tensado</p>	<p>La alternativa elimina el acceso a las mesas de tensado de los colaboradores de la nave industrial 1 en ambos extremos, eliminando el acceso para realizar trabajos sobre los cables tensados. <b>Puntuación: 3</b></p>	<p>No genera residuos ni emisiones ambientales. Los materiales son resistentes lo que aumenta la vida útil y en caso de que se reemplacen no requieren una</p>	<p>La segunda propuesta requiere una inversión económica intermedia en comparación con las otras alternativas, el total en materiales es de ₡ 6 924 300</p>	<p>Esta alternativa elimina el acceso de los colaboradores a las mesas de tensado, contribuyendo a la cultura de salud y seguridad disminuyendo el contacto con los torones tensados,</p>	<p>Cumple con lo establecido en la INTE/ISO 12100:2012 Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación y reducción del riesgo y en la INTE/ISO</p>	<b>13</b>

Alternativa	Salud y seguridad	Ambientales	Económicos	Socioculturales	Estándares	Puntuación total
		disposición especial. <b>Puntuación: 3</b>	<b>Puntuación: 2</b>	sin embargo, interfiere en el proceso, ya que no permite realizar tareas sobre los cables tensados, lo cual a pesar de que no son practicas recomendables son necesarias de acuerdo con el departamento de producción. <b>Puntuación: 2</b>	14120:2016 Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles. <b>Puntuación: 3</b>	
Alternativa 3: Zonas de exclusión con detectores fotoeléctricos	Esta alternativa no está asociada a la parte de alimentación de energía del equipo, es decir, si se interrumpe el haz de luz no se detiene el proceso y solamente se activa una alarma audiovisual por lo que no contribuye a que el trabajador disminuya la exposición a los riesgos asociados al tensado ya que funciona a través de rayos infrarrojos que no son visibles y no evitan el acceso del colaborador a la mesa de tensado.	La propuesta no genera emisiones ambientales. Sin embargo, por los componentes electrónicos genera un consumo eléctrico en comparación con las otras alternativas, los materiales son menos resistentes lo que generaría más residuos por los elementos dañados y la vida útil del sistema. <b>Puntuación: 2</b>	Esta propuesta requiere la mayor inversión económica, el total en materiales es de ₡ 44 022 156 <b>Puntuación: 1</b>	Esta alternativa requiere un proceso de adaptación de los colaboradores ya que al no ser visible se pueden generar mayores interrupciones al haz de luz y activar la alarma audible y visible. Además, interfiere en las tareas del proceso de tensado ya que no permite realizar tareas sobre los cables tensados, las cuales a pesar de que no son	Cumple con lo establecido en la INTE/ISO 13855:2011 Seguridad de las máquinas. Posicionamiento de los protectores con respecto a la velocidad de aproximación de partes del cuerpo humano. <b>Puntuación: 3</b>	<b>8</b>

Alternativa	Salud y seguridad	Ambientales	Económicos	Socioculturales	Estándares	Puntuación total
	Además, en caso de que haya una desconexión eléctrica se detiene el funcionamiento. <b>Puntuación: 1</b>			recomendables son necesarias de acuerdo con el departamento de producción. <b>Puntuación: 1</b>		

Posterior a la comparación y evaluación de las alternativas de solución, en el cuadro anterior se evidencia que la que posee un mayor puntaje de cumplimiento en los aspectos considerados es la alternativa de solución 1 que corresponde a la jaula de protección para el operador que aplica las fuerzas de tensado.

En la siguiente imagen se puede observar a detalle el diseño de la alternativa de solución seleccionada.

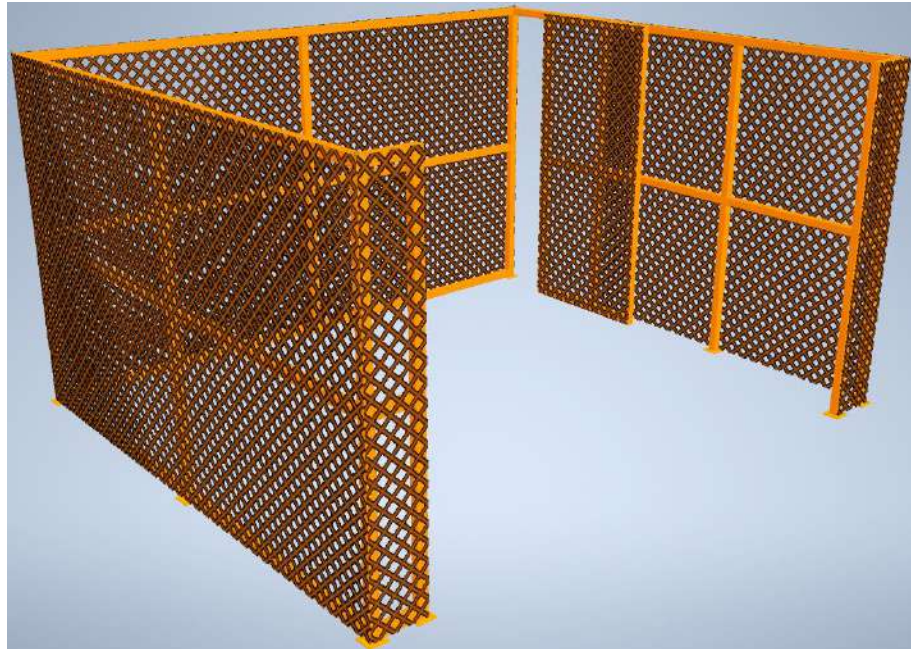
### **3. Desarrollo de la alternativa seleccionada**

La implementación de una jaula de protección para los operadores que aplican las fuerzas de tensado, es decir el que opera la máquina y el que manipula el pistón hidráulico es una medida de control ingenieril que mitiga los riesgos asociados al proceso de tensado. Esta alternativa crea una delimitación física segura que protege a los operadores, rodea completamente la posición de los operadores durante la aplicación de las fuerzas de tensado y mantiene al resto de personal fuera de la zona de peligro. La estructura está compuesta por malla de acero y perfiles de acero estructural de resistencia, además, cuenta con uno o más portones corredizos de acceso.

Como se mencionó anteriormente, el acceso a la jaula se regula con los portones corredizos para restringir la entrada únicamente a los colaboradores autorizados que participan en la tarea. La elección del portón corredizo responde a criterios de seguridad y funcionalidad, ya que este diseño no interfiere en las áreas de tránsito y no requiere espacio adicional para abrirse, asimismo, en caso de una emergencia dentro de la jaula el portón corredizo puede ser abierto desde el interior como el exterior, facilitando la evacuación o el ingreso de personal de apoyo, por lo que asegura que los colaboradores no queden atrapados en el interior. Por último, las láminas de metal expandido que forman la jaula pueden ser removidas con herramientas para cuando se requiera realizar el cambio de las bobinas de torones.

La siguiente figura presenta el diseño en tercera dimensión de la jaula de protección.

**Figura 10. Diseño en 3D de la jaula de protección para los operadores que aplican fuerzas de tensado**

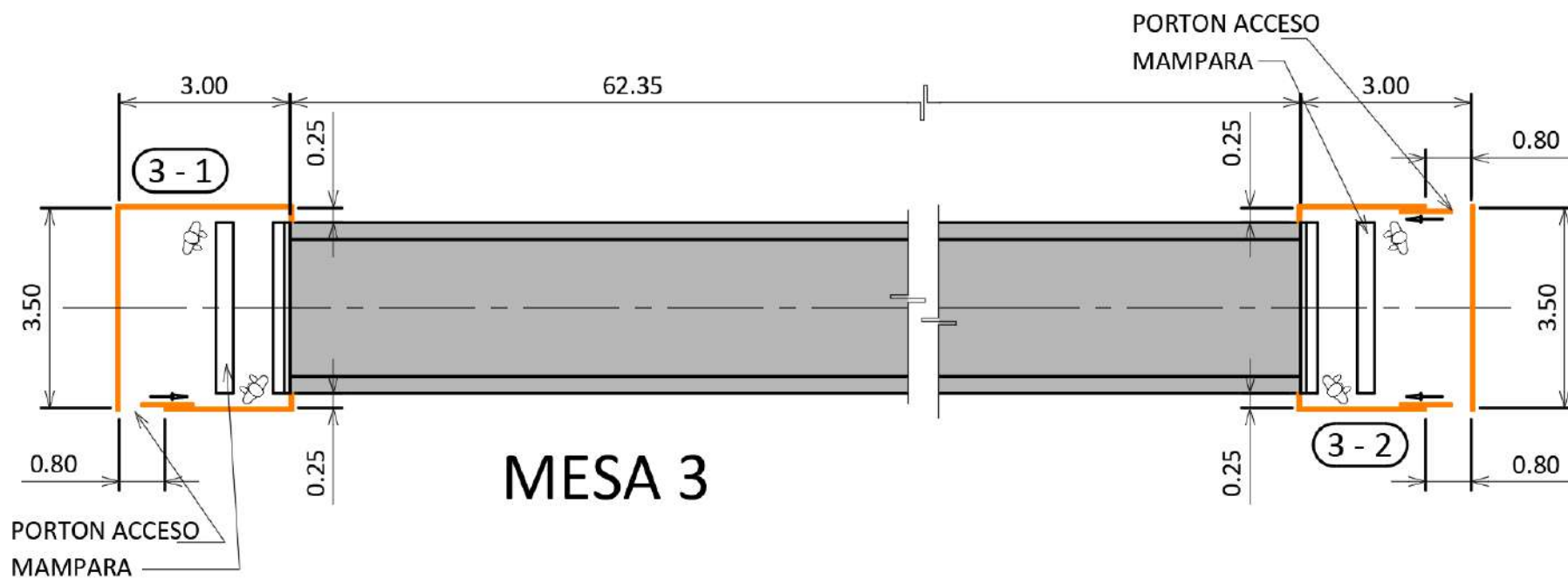


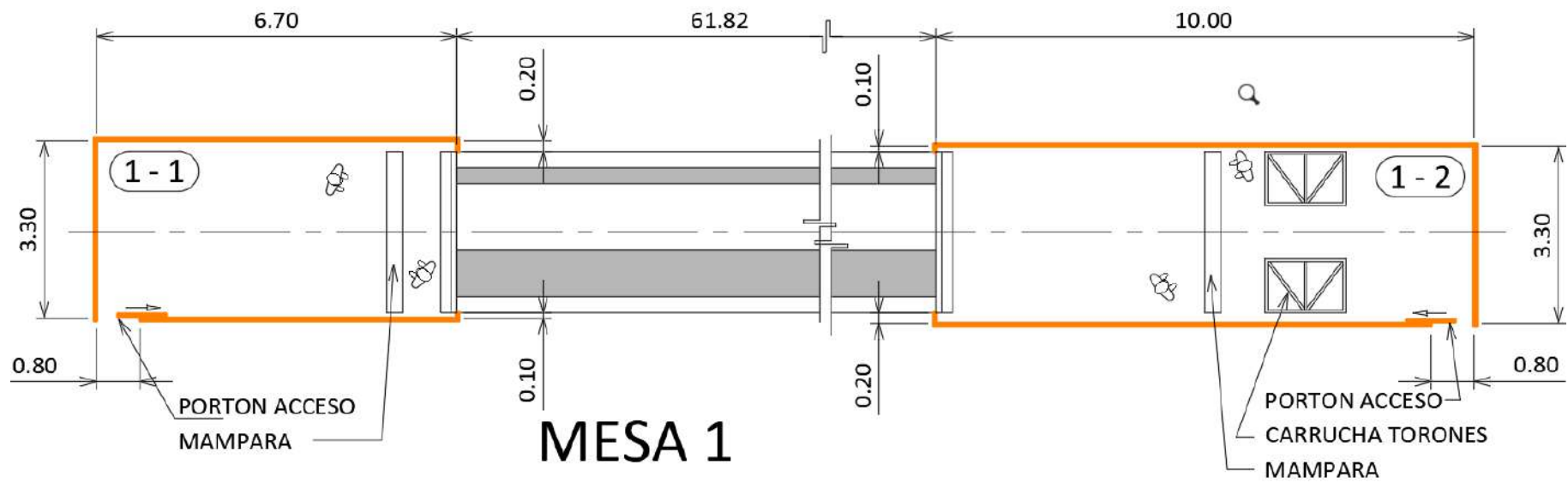
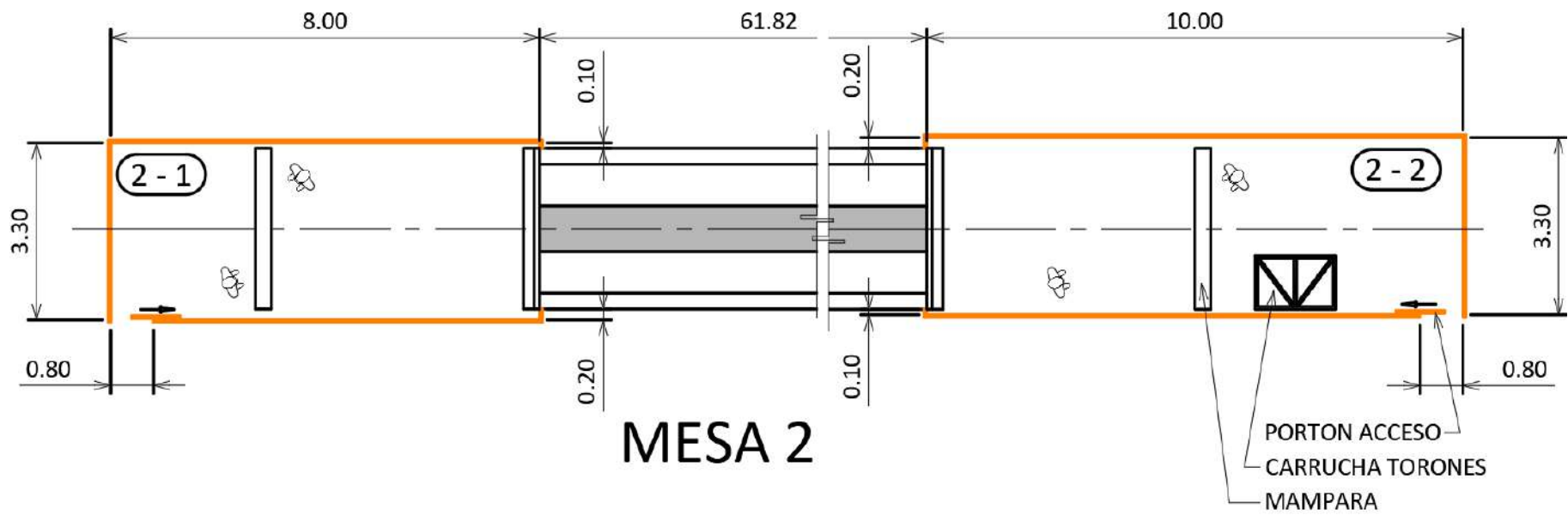
El diseño propuesto para las jaulas de tensado se fundamenta en el análisis del comportamiento del torón en caso de fallo ya sea por reventadura o proyección. Según este análisis basado en los registros de eventos anteriores, la trayectoria más probable del torón es en línea recta, ya sea en dirección horizontal o diagonal en correspondencia con la tensión aplicada. Por lo que la jaula propuesta complementada con cadenas en las mesas de tensado y mamparas en los extremos proporcionan una protección completa a los colaboradores. Adicionalmente, no existen registros en la empresa que evidencien proyecciones verticales.

La ubicación de estas protecciones es a ambos extremos de cada mesa de tensado, para lo cual en la siguiente figura se detallan la ubicación y dimensiones para las tres mesas de tensado de la nave industrial 1.

Figura 11. Diseño en 2D de la alternativa de solución

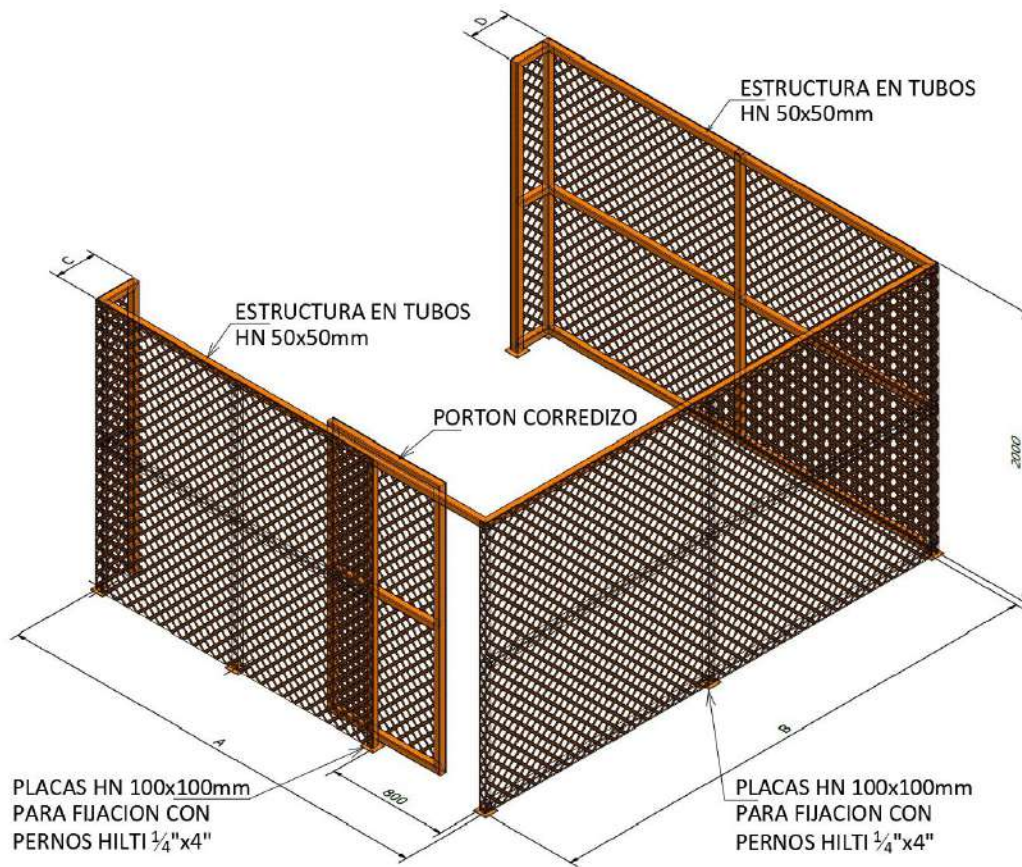
Dimensiones Guardas				
Guarda	A	B	C	D
1 - 1	6,70m	3,30m	0,20m	0,10m
1 - 2	10,00m	3,30m	0,20m	0,10m
2 - 1	8,00m	3,30m	0,10m	0,20m
2 - 2	10,00m	3,30m	0,10m	0,20m
3 - 1	3,00m	3,50m	0,25m	0,25m
3 - 2	3,00m	3,50m	0,25m	0,25m





En la imagen anterior se observa la representación de la ubicación de las jaulas de protección y la disposición general del espacio de acuerdo con las dimensiones de las mesas de tensado y los elementos incluidos como mamparas y bobinas de torones, lo cual representa una base visual de la implementación de la alternativa en el espacio de trabajo. Asimismo, en la siguiente figura se detallan las dimensiones específicas del diseño.

**Figura 12. Diseño de las jaulas de protección con las dimensiones específicas**



El diseño de las jaulas de protección ubicadas en los extremos de las tres mesas de tensado es uniforme en cuanto a estructura y características, variando únicamente en sus dimensiones para ajustarse a las especificaciones de cada mesa. La figura anterior detalla las dimensiones propuestas para cada jaula de protección, las cuales han sido definidas con base a las dimensiones de las mesas de tensado existentes en la nave industrial 1.

#### 4. Validación de la alternativa de solución ingenieril

Para validar la alternativa de solución ingenieril seleccionada se recalculó el índice de prioridad de riesgo al Análisis de Modo de Fallos y Efectos aplicado inicialmente al proceso de tensado en el análisis de la situación actual. Este recálculo se basó en el diseño ingenieril incluyendo los complementos propuestos a la alternativa de solución y los controles administrativos, actualizando los valores de gravedad, probabilidad de ocurrencia, probabilidad de detección y el índice de prioridad de riesgo, (ver apéndice 25).

Inicialmente el 81% de las ocho principales tareas y 21 modos de fallo obtuvieron un índice de prioridad de riesgo alto, mientras que con el recálculo basado en la implementación de los controles propuestos no se obtuvieron índices de prioridad de riesgo mayores o iguales a 100. Asimismo, el análisis de la situación actual identificó cuatro modos de fallo críticos cuyas prioridades de riesgo oscilaban entre los 810 y 720, en el siguiente cuadro se muestran los resultados de reducción del índice de prioridad de riesgo esperados con la implementación de la alternativa de solución ingenieril.

**Cuadro 13. Reducción del riesgo esperada en las tareas de alta prioridad tras la implementación de los controles ingenieriles**

Modo de fallo	Índice de prioridad de riesgo análisis de situación actual	Recalculo del índice de prioridad de riesgo según controles propuestos
Liberación brusca del torón en el pretensado.	810	14
Falta de delimitación del área y señalización al aplicar las fuerzas de pretensado.	720	4
Liberación brusca del torón en destensado.	810	14
Falta de delimitación del área y señalización al aplicar las fuerzas de destensado.	720	4

La reducción del índice de prioridad de riesgo mostrada en el cuadro anterior es el resultado esperado con la implementación de las jaulas de protección para el operador que aplica las fuerzas de tensado y los complementos de la alternativa de solución que corresponden a mamparas y torre de señalización con indicador sonoro.

#### B. Alternativas de solución administrativas

A continuación, el desarrollo del programa para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1 de Holcim Modular Solutions Costa Rica. En la figura 13 se detalla un esquema de las secciones

y contenidos del programa basados en la norma de referencia: INTE T29:2016: Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo. Aspectos generales.

**Figura 13. Guía de las secciones y contenidos del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado**

Sección del programa	Contenidos
I. Información general de la organización	Ubicación, estructura organizacional, descripción de procesos, productos o servicios
II. Definiciones	Principales definiciones asociadas al proceso de tensado
III. Liderazgo para la prevención de riesgos ocupacionales	Compromiso, objetivos del programa, metas, alcance, asignación de recursos
IV. Participación de las personas trabajadoras	Asignación de responsabilidades por departamento y matriz RACI
V. Identificación de peligros y evaluación de riesgos	Herramienta de observación participativa del proceso y Análisis de Modo de Fallos y Efectos
VI. Prevención y control del riesgo	Controles administrativos e ingenieriles
VII. Formación y capacitación	Plan de capacitación: temas, objetivos, contenidos, duración, participantes y responsables
VIII. Coordinación y comunicación entre multi-empleadores en sitios de trabajo	Mecanismos de coordinación y comunicación: señalización, instructivos de trabajo, comunicación directa, entre otros.
IX. Cumplimiento legal	Legislación obligatoria y voluntaria
X. Programa de evaluación y mejora	Lista de verificación para evaluación del cumplimiento del programa
XI. Diagrama Gantt	Cronograma propuesto para la implementación del programa
XII. Control proactivo del cambio en la organización	Cinco lineamientos: identificación, evaluación, autorización, implementación y documentación del cambio

Programa para el control de los  
riesgos mecánicos y liberación  
descontrolada de energía presentes  
en el tensado de vigas en la nave 1  
de Holcim Modular Solutions Costa  
Rica

---



Elaborado por: Arlene Montero Arce

HOLCIM MODULAR SOLUTIONS COSTA RICA

## I. Información general de la organización

Holcim Modular Solutions es una empresa líder en soluciones modulares de alta calidad, innovadoras, eficientes y amigables con el medio, pertenece a la empresa Holcim Costa Rica desde febrero de 2023.

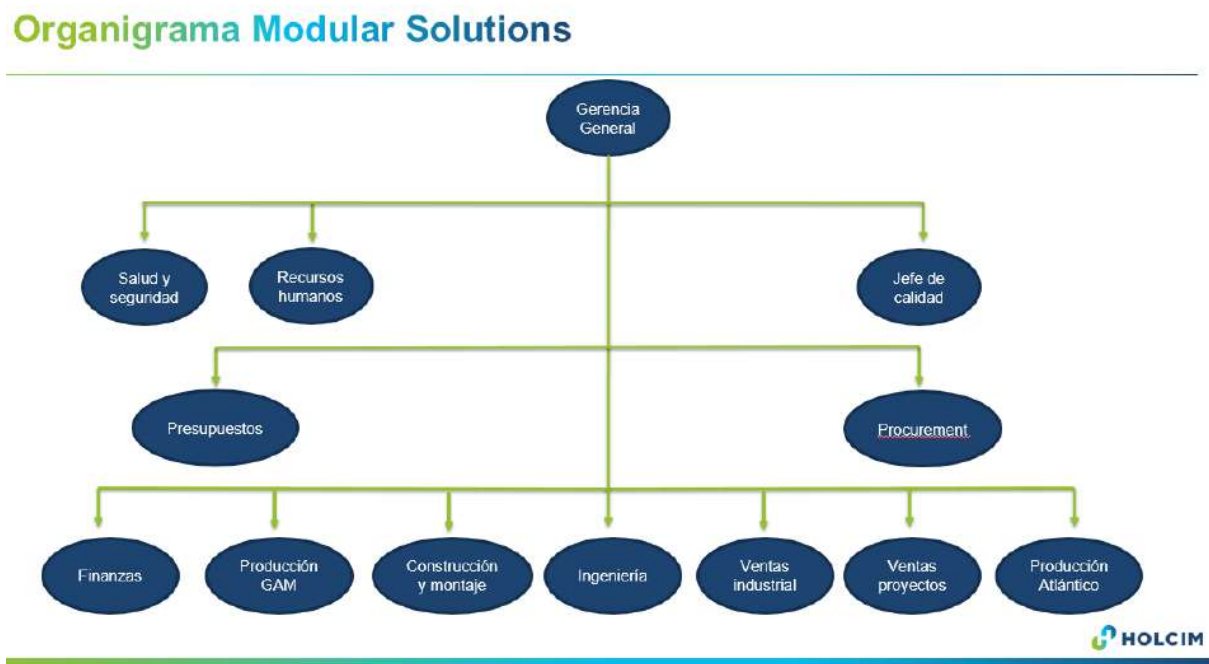
### A. Ubicación

Las instalaciones de Holcim Modular Solutions Costa Rica se encuentran ubicadas en la provincia de Alajuela, San Rafael en calle Potrerillos.

### B. Estructura organizacional

La estructura organizacional está conformada por 256 colaboradores, 12 departamentos y el departamento de Salud y Seguridad de la planta Holcim Modular Solutions Alajuela está conformado por una coordinadora y un técnico en salud ocupacional que reportan a la gerencia, además el gerente de salud y seguridad reporta al director ejecutivo del país y forma parte del equipo directivo del país. En la siguiente figura se muestra el detalle de la organización.

Figura 14. Organigrama de Holcim Modular Solutions



### **C. Descripción de los procesos**

El proceso de tensado de vigas en la nave industrial 1, se detalla en el apéndice 3. Asimismo, esta nave industrial alberga el proceso productivo de elementos prefabricados, tanto livianos (modulares) como pesados destinados a obras de ingeniería civil, (ver apéndice 4).

### **D. Productos o servicios**

Se especializa en el diseño y desarrollo de soluciones constructivas prefabricadas de concreto con altos niveles de ingeniería, innovación y calidad, sus productos incluyen desde grandes estructuras para la industria, bloques para muros y cubiertas, productos para el sector residencial, tuberías y hasta soluciones de construcción civil para infraestructuras como puentes, muelles, entre otros.

## II. Definiciones

**Tensado:** Proceso de aplicación de fuerza a los torones de acero para inducir esfuerzos de compresión en el concreto.

**Pretensado:** Proceso en el que el torón se tensa antes de verter el concreto.

**Postensado:** Técnica donde los cables se tensan después del fraguado del concreto.

**Destensado:** Liberación controlada de la tensión aplicada a los cables/torones.

**Torón:** Conta de seis alambres hilados juntos helicoidalmente alrededor de un alambre central que luego se enrolla en bobinas.

**Barril:** Sujeta la cuña de agarre al final de las mesas de tensado.

**Cuña:** Sujeta el torón junto con el barril.

**Empates:** Se utiliza para unir dos piezas de torones.

**Cono:** Está conformado por la unión de la cuña y el barril y es instalado en los extremos de los torones en el extremo vivo.

**Pistón hidráulico:** Equipo que tensa el torón individualmente.

**Extremo vivo:** El extremo de la mesa de tensado en el que se aplica y retira la fuerza de tensión a los torones.

**Extremo muerto:** El extremo fijo de la mesa de tensado opuesto al extremo utilizado para tensar el torón.

**Zona peligrosa:** Es el área identificada como peligrosa en las proximidades de las operaciones de tensado.

**Operario de tensado:** Persona directamente involucrada en la preparación, montaje, pretensado o postensado de las operaciones de tesado.

### III. Liderazgo para la prevención de riesgos ocupacionales

#### A. Compromiso

El compromiso por parte de la empresa para la puesta en marcha del programa se fundamenta en su política de salud y seguridad en el trabajo, la cual se muestra en la figura 15.

Figura 15. Política de salud, seguridad y medio ambiente de Holcim



### POLÍTICA DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

En Holcim, nuestros colaboradores, contratistas, clientes y vecinos están en el corazón de como operamos y son nuestro activo más importante. Holcim asume claramente esta responsabilidad para garantizar el bienestar de nuestra gente y el respeto hacia la naturaleza en todas nuestras operaciones.

La Salud, Seguridad y Medio Ambiente son nuestro valor primordial y este propósito está integrado en todo lo que hacemos.

**NUESTRO ENFOQUE:**

**Gestionar nuestros riesgos críticos** – Priorizamos y garantizamos el más alto nivel de disciplina operativa para controlar nuestros mayores riesgos.

**Involucrar a nuestros grupos de interés** – Empoderamos a los colaboradores y contratistas para que paren los trabajos que no sean seguros y contribuyan a la protección del medio ambiente escuchando, de forma activa, las preocupaciones y las sugerencias de mejora.

**Mejora continua:** – Somos mejores cada día y comprendemos que la excelencia en Salud, Seguridad y Medio Ambiente es un viaje continuo.

**NUESTRO COMPROMISO:**

- Llevamos a cabo nuestro negocio con el objetivo de cero daños a las personas y a la naturaleza.
- Planificamos, diseñamos, operamos y mantenemos nuestras operaciones para exceder los más altos estándares.
- Revisamos nuestras metas y objetivos anualmente.
- Cumplimos con los requisitos legales, normativos, industriales y corporativos.
- Mantenemos la confianza de nuestros grupos de interés mediante la transparencia y la responsabilidad.

Incorporar la Salud, Seguridad y Medio Ambiente en todo lo que hacemos es un factor crítico para nuestro éxito como empresa. Proporcionaremos liderazgo y los recursos necesarios para cumplir estos compromisos.

Esta es una responsabilidad que todos los colaboradores comparten por igual. Nada de lo que hacemos es tan importante como para ponernos en riesgo o dañar el medio ambiente.

  
**Miljan Gutovic**  
Presidente y CEO

  
**Jeffrey Giesse**  
Director de Salud, Seguridad y Medio Ambiente



Ver. 2, Mayo 2024

Nota: Holcim, 2024

## **B. Objetivos del programa**

### **1. Objetivo general**

Mejorar las condiciones de seguridad laboral asociadas a los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía en las tareas de tensado en la nave industrial 1.

### **2. Objetivos específicos**

- Establecer controles ingenieriles y administrativos para la minimización de los riesgos asociados a la realización de tareas en el tensado de vigas de concreto.
- Proponer un plan de capacitación sobre la exposición a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado.
- Elaborar mecanismos para el seguimiento y evaluación del programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto.

## **C. Metas**

En el siguiente cuadro se muestran las metas para cada objetivo específico, así como sus respectivos indicadores.

**Cuadro 14. Metas del programa para cada objetivo específico**

Objetivo específico	Metas	Indicadores	Cálculo del indicador
Establecer controles ingenieriles y administrativos para la minimización de los riesgos asociados a la realización de tareas en el tensado de vigas de concreto.	Implementar del 100 % de los controles ingenieriles para la minimización de los riesgos asociados a la realización de tareas en el tensado.	Porcentaje de controles ingenieriles implementados para la minimización de los riesgos asociados a la realización de tareas en el tensado.	$\frac{\text{Cantidad de controles ingenieriles implementados}}{\text{Cantidad de controles ingenieriles planificados}} * 100$
	Implementar del 100 % de los controles administrativos para la minimización de los riesgos asociados a la realización de tareas en el tensado.	Porcentaje de controles administrativos implementados para la minimización de los riesgos asociados a la realización de tareas en el tensado.	$\frac{\text{Cantidad de controles administrativos implementados}}{\text{Cantidad de controles administrativos planificados}} * 100$
Proponer un plan de capacitación sobre la exposición a riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado.	El 100 % de los colaboradores que realizan trabajos en tensado en la nave 1 estén capacitados para participar y realizar las tareas de tensado.	Porcentaje de colaboradores que realizan tareas de tensado que asistieron a la capacitación.	$\frac{\text{Cantidad de colaboradores capacitados}}{\text{Cantidad de colaboradores de la nave 1}} * 100$
Elaborar mecanismos para el seguimiento y evaluación del programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado de vigas de concreto.	Revisar trimestralmente mediante reuniones con todas los involucrados para efectuar un proceso de revisión de seguimiento el programa y retroalimentación de las prácticas de trabajos en tensado, para identificar oportunidades de mejora.	Porcentaje de revisiones que se realizaron trimestralmente.	$\frac{\text{Número de revisiones realizadas}}{\text{Número de revisiones planificadas}} * 100$


## D. Alcance

El alcance del programa es aportar a la disminución de los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía en las tareas de tensado en la nave industrial 1 por medio de los controles ingenieriles y administrativos propuestos.

## E. Asignación de recursos

A continuación, en la matriz se indican los recursos necesarios para llevar a cabo la implementación del programa.

**Cuadro 15. Matriz de recursos requeridos para la implementación del programa**

 <b>Matriz de recursos requeridos para la implementación del programa para el control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía</b>	
<b>Tipo de recurso</b>	<b>Detalle del recurso</b>
Humano	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gerencia general.</li><li>- Departamento salud y seguridad.</li><li>- Recursos Humanos.</li><li>- Coordinadores de la planta (mantenimiento, producción, almacén).</li><li>- Supervisores de planta (mantenimiento, producción, calidad).<ul style="list-style-type: none"><li>- Personal propio operativo.</li><li>- Personal contratista operativo.</li></ul></li></ul>
Tecnológico	<ul style="list-style-type: none"><li>• Computadora.<ul style="list-style-type: none"><li>• Internet.</li><li>• Pantalla.</li><li>• Video beam.</li></ul></li><li>• Sistemas de la organización de salud y seguridad (iCare, en tus zapatos).</li></ul>
Financiero	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para la implementación de este programa es necesaria una inversión económica por parte de la organización para la ejecución de los controles ingenieriles y administrativos propuestos.</li></ul>
Material	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los espacios necesarios como salas de reuniones para llevar a cabo la capacitación de los trabajadores en tensado, riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.</li></ul>

## IV. Participación de las personas trabajadoras

Todas las personas que laboren en la planta de Holcim Modular Solutions Alajuela deben tener una participación en el programa, dependiendo de la asignación de responsabilidades y tareas.

**Gerencia General (GG):**

- Aprobar el programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1 de Holcim Modular Solutions.
- Aprobar el presupuesto para la implementación del programa.
- Se mantiene informado sobre la implementación del programa.
- Monitorear los indicadores de salud y seguridad para asegurar la mejora continua y la prevención de riesgos.
- Fomentar la participación del personal fortaleciendo los canales de comunicación entre los distintos niveles jerárquicos.

**Departamento proveeduría (DP):**

- Validar el presupuesto destinado a la implementación de los controles ingenieriles y administrativos.
- Gestionar la compra de los materiales necesarios para la implementación de los controles ingenieriles y administrativos.

**Departamento H&S (H&S):**

- Gestionar recursos humanos, tecnológicos, financieros y materiales como sala de reuniones, materiales para capacitación y documentación necesarios para la implementación del programa y de los controles ingenieriles.
- Aprobación del programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1 de Holcim Modular Solutions.
- Comunicar el programa a todos los involucrados.
- Implementación, ejecución y seguimiento del programa.
- Brindar capacitación al personal de la nave 1 en riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.
- Registrar la asistencia de los colaboradores durante el plan de capacitación.
- Revisar y actualizar anualmente los temas y contenidos del plan de capacitación.
- Planificar la implementación de los controles de ingeniería y administrativos.
- Documentar el cumplimiento de los controles establecidos asegurando su actualización en función de los cambios.

- Evaluar la efectividad de las capacitaciones mediante retroalimentaciones y observaciones en campo.
- Liderar reuniones trimestrales con los involucrados para monitorear el cumplimiento del programa.

**Recursos Humanos (RH):**

- Coordinar y asegurar que los colaboradores reciban la capacitación adecuada en procedimientos de tensado seguros.
- Mantener registros actualizados de todas las capacitaciones completadas por los colaboradores.
- En la gestión del desempeño incluir los aspectos de seguridad, asegurando que el cumplimiento de las normativas de seguridad sea un criterio de evaluación para el personal.

**Coordinación de todos los departamentos (CO):**

- Brindar apoyo en las actividades de implementación del programa y control ingenieril.
- Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora.
- Implementar los controles del programa y los solicitados por el departamento H&S en el proceso de tensado.

**Departamento de calidad (DC):**

- Implementar y dar seguimiento a los controles relacionados a la calidad de los materiales y equipos.
- Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora.

**Departamento de ingeniería (DI):**

- Especificar y seleccionar equipos y herramientas de tensado que cumplan con estándares de seguridad.
- Colaborar en la evaluación y análisis de los riesgos en el diseño.
- Colaborar en la revisión y actualización de los instructivos de trabajo seguro en tensado.
- Participar en el desarrollo de capacitaciones en tensado.
- Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora.

**Supervisores en planta (SP):**

- Supervisar que todos los colaboradores a quienes aplique el programa cumplan con lo estipulado dentro de este.
- Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora.
- Enlistar a los colaboradores que deben recibir la capacitación y asegurar que participen del proceso.
- Brindar apoyo y seguimiento a los colaboradores durante las capacitaciones.

**Personal operativo propio del departamento de producción (PROD):**

- Participar en las capacitaciones.
- Cumplir con los controles establecidos en el programa para controlar los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía.
- Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora a través de las herramientas corporativas como iCare o en tus zapatos (BOG).
- Contribuir a un ambiente laboral seguro siguiendo las medidas preventivas y los contenidos dados en las capacitaciones.

**Personal operativo propio del departamento de mantenimiento (MTTO):**

- Realizar la instalación de los controles ingenieriles.
- Realizar el mantenimiento necesario a las máquinas y equipos de tensado.
- Realizar mantenimiento a las medidas de control en tensado como mamparas, pantallas, jaulas, entre otros.
- Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora.

**Personal operativo contratista (PC):**

- Participar en las capacitaciones.
- Cumplir con los controles establecidos en el programa para controlar los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía.
- Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora a través de las herramientas corporativas como iCare o en tus zapatos (BOG).
- Contribuir a un ambiente laboral seguro siguiendo las medidas preventivas y los contenidos dados en las capacitaciones.

En el siguiente cuadro se muestra la matriz de asignación de responsabilidades (RACI) para el personal involucrado en la implementación del programa.

**Cuadro 16. Matriz de asignación de responsabilidades**

Tareas	Involucrados										
	GG	DP	H&S	RH	CO	DI	DC	SP	PROD	MMTO	PC
Aprobar el programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1 de Holcim Modular Solutions.	A	I	R	I	I	C	I	I	I	I	I
Aprobar el presupuesto destinado a la implementación del programa y de los controles ingenieriles y administrativos.	R	I	A	I	I	I	I	I	I	I	I
Gestionar la compra de los materiales necesarios para la implementación de los controles ingenieriles y administrativos.	C	R	A	I	I	C	I	I	I	I	I
Liderar el programa.	A	I	R	I	C	C	I	I	I	I	I
Gestionar recursos económicos, humanos, tecnológicos y físicos necesarios para la implementación del programa y de los controles ingenieriles.	A	C	R	I	C	C	I	I	I	I	I
Comunicar el programa a todos los involucrados.	A	I	R	C	I	I	I	I	I	I	I
Implementación, ejecución y seguimiento del programa.	A	I	R	C	C	C	C	I	I	I	I
Coordinar y asegurar que los colaboradores reciban la capacitación adecuada en procedimientos de tensado seguros.	I	I	A	R	I	I	I	I	I	I	I
Mantener registros actualizados de todas las capacitaciones completadas por los colaboradores.	I	I	A	R	I	I	I	I	I	I	I
Brindar capacitación al personal de la nave 1 en riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.	A	I	R	I	C	C	I	I	I	I	I
Registrar la asistencia de los colaboradores durante el plan de capacitación.	A	I	R	I	C	I	I	C	I	I	I
Revisar y actualizar anualmente los temas y contenidos del plan de capacitación.	A	I	R	I	C	C	C	I	I	I	I
Apoyar al departamento de H&S en la implementación del programa.	A	I	I		C	R	C	C	I	I	I
Implementar y dar seguimiento a los controles relacionados a la calidad de los materiales y equipos.	C	I	C		C	A	R	I	I	I	I
Especificar y seleccionar equipos y herramientas de tensado que cumplan con estándares de seguridad.	A	I	C		I	R	C	I	I	I	I
Colaborar en la evaluación y análisis de los riesgos en el diseño.	I	I	A		C	R	C	C	C	C	C
Colaborar en la revisión y actualización de los instructivos de trabajo seguro en tensado.	I	I	A		C	R	C	C	C	I	I
Participar en el desarrollo de capacitaciones en tensado.	I	I	A		C	R	C	C	I	I	I

Tareas	Involucrados										
	GG	DP	H&S	RH	CO	DI	DC	SP	PROD	MMTO	PC
Supervisar que todos los colaboradores a quienes aplique el programa cumplan con lo estipulado dentro de este.	I	I	C		A	C	C	R	I	I	I
Enlistar a los colaboradores que deben recibir la capacitación y asegurar que participen del proceso.	I	I	A		C	I	I	R	I	I	I
Brindar apoyo y seguimiento a los colaboradores durante las capacitaciones.	I	I	A		C	I	I	R	I	I	I
Participar en las capacitaciones.	A	I	C		C	I	I	R	I	I	I
Cumplir con los controles establecidos en el programa.	A	I	C		C	C	I	R	I	I	I
Realizar la instalación de los controles ingenieriles.	A	I	C		I	C	I	I	I	R	I
Realizar el mantenimiento necesario a las máquinas y equipos de tensado, así como las medidas de control (jaulas, mamparas, pantallas, entre otros).	C	C	I		A	C	I	I	I	R	I
Contribuir a un ambiente laboral seguro siguiendo las medidas preventivas y los contenidos dados en las capacitaciones.	A	I	C		I	I	I	C	R	I	I
Comunicar al departamento de H&S las oportunidades de mejora.	A	I	C		I	I	C	R	I	I	I
<b>Abreviaturas:</b>											
R: Persona responsable de ejecutar la tarea A: Persona que aprueba C: Persona consultada I: Persona informada	GG: Gerencia General DP: Departamento Proveeduría H&S: Departamento Salud y Seguridad RH: Recursos Humanos CO: Coordinación de todos los departamentos DC: Departamento de Calidad DI: Departamento de ingeniería SP: Supervisores en Planta PROD: Personal operativo propio del departamento de producción MMTO: Personal operativo propio del departamento de mantenimiento PC: Personal operativo contratista										

## V. Identificación de peligros y evaluación de riesgos


La identificación de peligros y evaluación de riesgos del proceso de tensado son necesarias para analizar las condiciones de riesgo y mejorar las medidas de seguridad. El objetivo de este análisis es determinar el nivel de riesgo durante las tareas de tensado y el aporte de los controles existentes y propuestos en la reducción del riesgo.

- **Observación participativa del proceso**

Mediante la observación participativa el observador se involucra directamente en las tareas del proceso de tensado, realizando una inspección visual que permite identificar peligros al registrar las condiciones inseguras, comportamientos riesgosos y la efectividad de las medidas de control. La información obtenida tras la aplicación de esta herramienta una vez analizada se aprovecha para proponer acciones correctivas y preventivas o mejorar los controles existentes. Esto contribuye a la seguridad del personal permitiendo el ajuste de procedimientos integrados al sistema de gestión de seguridad y fomentando una cultura preventiva que colabore en la realización segura de los trabajos.

En el siguiente cuadro se detalla el formulario de hoja de campo para el registro de las observaciones.

**Cuadro 17. Formulario de bitácora para el registro de la observación participativa del proceso de tensado**

		<b>Formulario de observación del proceso de tensado</b>		
Observación realizada por:				
Fecha de la observación:				
Pasos del proceso	Condiciones inseguras	Comportamientos riesgosos	Equipo de protección personal	Medidas de control

- **Análisis de Modo de Fallos y Efectos**

El análisis de modos de fallos y efectos (AMFE) permite la identificación anticipada de los peligros asociados a los posibles fallos en las tareas del tensado, así como la evaluación de los efectos que se pueden dar con el fin de eliminarlos o mitigar sus efectos. Mediante el análisis de la gravedad, la probabilidad de ocurrencia y de detección de cada fallo, el AMFE genera el índice de prioridad de riesgo, facilitando la priorización de los riesgos críticos y la implementación de medidas preventivas que mejoren los procesos productivos, reduzcan la probabilidad de accidentes y fortalezcan los controles de seguridad a través de la gestión de los riesgos y la mejora continua.

En el siguiente cuadro se detalla el formato del Análisis de Modos de Fallos y Efectos.



## **VI. Prevención y control del riesgo**




### **A. Controles administrativos**






A continuación, se presentan los controles administrativos que se proponen para la implementación del programa para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1. Estos controles están divididos en un apartado que especifica el equipo de protección personal para las tareas de tensado y otro que incluye los instructivos de trabajo del proceso y formatos de control y verificación para el proceso de tensado.

#### **1. Equipo de protección personal**

Para llevar a cabo las tareas de tensado de manera segura los colaboradores propios y contratistas deben utilizar el equipo de protección personal señalado en el siguiente cuadro.

**Cuadro 19. Equipo de protección personal necesario para tareas de tensado**

Elemento de protección personal	Imagen del equipo	Indicación de uso	Certificación	
Equipo de protección personal básico.	Pantalón largo sin huecos y camisa manga larga con cintas reflectivas.		ANSI / ISEA 107-2010	
	Casco de seguridad. Color verde: Personal contratista. Color amarillo: Personal nuevo ingreso y visitas. Color blanco: Personal propio Color rojo: brigadistas.		En todo momento en la zona operativa de Holcim Modular Solutions.	ANSI/ISEA Z89.1-2009 “Protección industrial de la cabeza” y ser tipo 1 y clase E y G.
	Lentes de seguridad.			ANSI Z87.1-2010 “Protección de ojos y rostro”.
	Zapatos de seguridad.			ASTM F2413-11 “Calzado de protección” ISO 20345:2011 “Equipo de protección personal – zapatos de seguridad”.

Elemento de protección personal	Imagen del equipo	Indicación de uso	Certificación
	Guante de cuero de cabrito.		<p>Al manipular los elementos de tensado.</p> <p>UNE-EN 420 y UNE-EN 388 “Guantes de protección”.</p>
Equipo de protección personal específico para trabajos en caliente	Pantalla para careta.		<p>Al realizar trabajos en caliente</p> <p>ANZI Z87.1</p>
	Guantes trabajos en caliente.		<p>EN 407:04 y EN 388 “Guantes de protección”.</p>
	Mangas de cuero.		<p>NFPA 2112 “Ropa resistente al fuego</p>
	Camisa trabajos en caliente.		

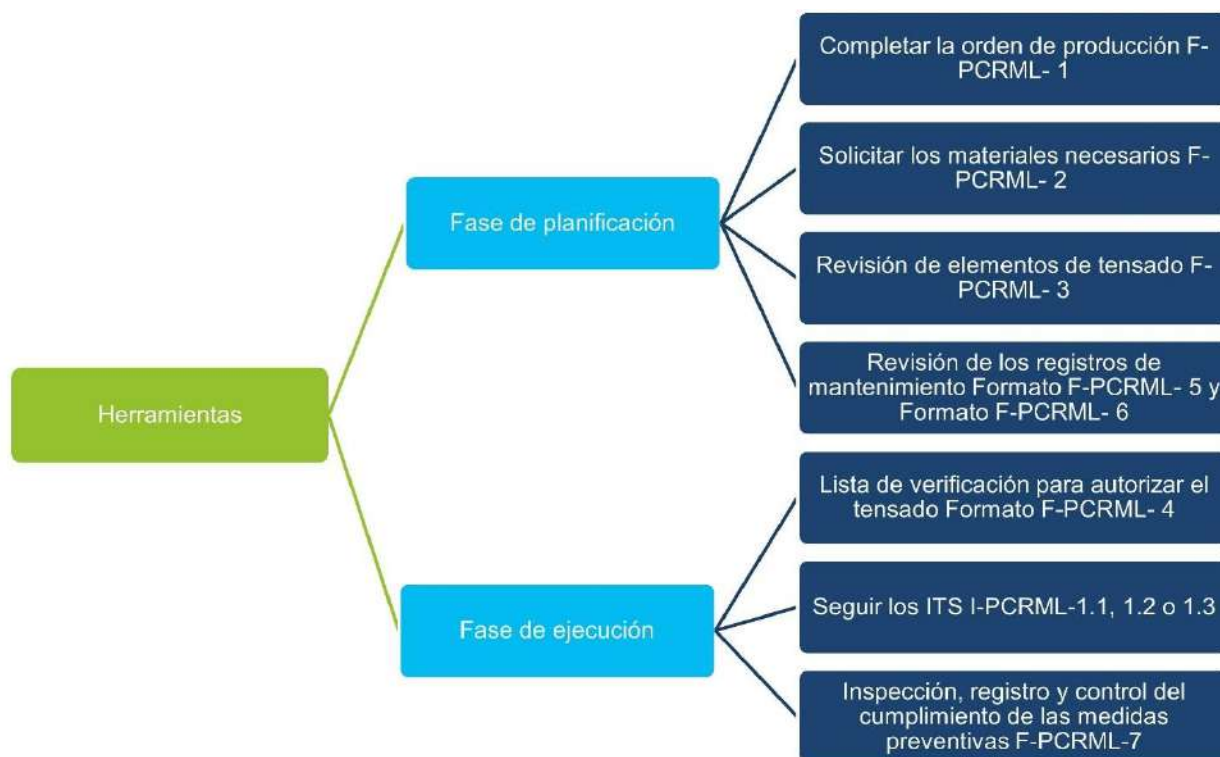
Elemento de protección personal	Imagen del equipo	Indicación de uso	Certificación
	<p data-bbox="579 313 835 370">Chaqueta trabajos en caliente.</p> 		
	<p data-bbox="585 557 829 613">Delantal trabajos en caliente.</p> 		
	<p data-bbox="594 808 821 833">Polainas de cuero.</p> 		<p data-bbox="1591 760 1885 881">EN ISO 11611 "Ropa de protección utilizada durante el soldeo y procesos afines"</p>

Los contratistas deben cumplir con lo especificado en el cuadro anterior según el Catálogo de equipo de protección personal, Holcim Costa Rica Formato F-CL.SG 23.00.03 el cual es entregado a las empresas contratistas previamente al ingreso a las instalaciones de la empresa.

## 2. Herramientas diseñadas para el control y la prevención del riesgo

La siguiente figura organiza las herramientas propuestas para el control de los riesgos en el proceso de tensado en dos fases: planificación y ejecución. Esta figura permite visualizar de manera ordenada las actividades y formatos asociados a cada etapa, facilitando el seguimiento del cumplimiento de los procedimientos establecidos.

**Figura 16. Distribución por fase de las herramientas propuestas para el control en el tensado**



Cada una de las herramientas propuestas será integrada de forma estructurada al sistema de gestión de la organización para la planificación, ejecución y control de las actividades del proceso de tensado.

### 3. Instructivos de trabajo seguro y formatos de control y verificación para el proceso de tensado

En este apartado, se incluyen los instructivos de trabajo seguro, formatos y listas de verificación que aportan a la trazabilidad y gestión de la seguridad en el proceso de tensado. Toda esta documentación está codificada según se detalla en el siguiente cuadro.

**Cuadro 20. Codificación para los documentos de control administrativo**

Codificación	Significado
I-PCRML- #	I: Instructivo. PCRML: Programa de Control de Riesgos Mecánicos y Liberación descontrolada de energía. #: Numeración
F-PCRML- #	F: Formato PCRML: Programa de Control de Riesgos Mecánicos y Liberación descontrolada de energía. #: Numeración

El coordinador de producción y el departamento de salud y seguridad son los responsables de controlar y registrar esta documentación en una carpeta compartida digitalmente. La información recopilada será utilizada para realizar seguimientos de las condiciones operativas, control del riesgo y como evidencia del cumplimiento de los procedimientos establecidos, esto a su vez contribuirá a la toma de decisiones estratégicas que promuevan un ambiente de trabajo seguro impulsando la mejora continua y la prevención de accidentes.



#### 3.1 Instructivo de Trabajo Seguro en tensado

A continuación, se presentan los instructivos de trabajo seguro para las tareas de tensado, los cuales se han desarrollado en tres procedimientos complementarios entre sí para abarcar la totalidad del proceso: pretensado, tensado con empates y destensado. Es necesaria la lectura y comprensión de los tres instructivos, ya que cada uno aborda etapas y medidas de control específicas que, en conjunto, garantizan la ejecución segura de las operaciones de tensado.

### 3.1.1 Instructivo de Trabajo Seguro en Pretensado

A continuación, se detalla la secuencia de pasos y las medidas de control para el pretensado descritas en el instructivo de trabajo.

**Cuadro 21. Instructivo de trabajo seguro en pretensado**

	<b>Instructivo de trabajo seguro para pretensado</b> <b>I-PCRML-1.1</b>			
	Planta: <b>Holcim Modular Solutions Alajuela</b>	Nombre del Equipo/máquina: <b>Pretensado</b>	Fecha de creación <b>3/05/2025</b>	
Área/ Departamento: Producción Nave 1		Tarea: Pretensado		
EPP específico requerido: Epp básico: pantalón largo, camisa manga larga con reflectivo, casco, lentes de seguridad, zapato de Seguridad, guantes. Epp específico para trabajos en caliente: pantalla para careta, guantes, mangas, camisa, chaqueta, delantal y polainas.			Frecuencia de la tarea: Diaria	
Propósito: Establecer los lineamientos y procedimientos necesarios para realizar de forma segura las tareas de tensado en elementos de concreto, previniendo accidentes, controlando los riesgos asociados a la liberación de energía acumulada y protegiendo la integridad física de los colaboradores, así como de los equipos e instalaciones.				
Alcance: Aplica a las tareas relacionadas con el proceso de tensado de torones en elementos de concreto, realizadas dentro de la nave industrial 1 en las instalaciones de Holcim Modular Solutions. Es de cumplimiento obligatorio para todo el personal operativo, supervisores y contratistas que participen en el proceso.				
#	Secuencia de pasos básicos	Peligros/Riesgos	Medida de Control	
1	Recepción de la orden de producción para tensado F-PCRML- 1.	Riesgos de comunicación, recibir órdenes de producción con datos incompletos, interpretación errónea, no comprender completamente las especificaciones.	Revisar detalladamente la información dada por producción para el tensado incluyendo: pretensado, destensado, cantidad y tipos de torones, diámetro del pistón hidráulico, longitud del molde, fuerzas iniciales, presiones iniciales y los rangos esperados de elongación.	
2	Solicitar los materiales necesarios F-PCRML- 2.	Omitir elementos necesarios para el tensado, errores en las características de los materiales, cantidad.	Completar el formato de registro de préstamo de materiales de tensado con la cantidad y tipos de elementos a necesitar, debe ser entregado con el nombre del solicitante al encargado del proceso de tensado.	

3	El encargado del proceso de tensado revisa los elementos de tensado F-PCRML- 3: cuñas, barriles, torones.	Golpes, cortes, fallas no detectadas, desprendimiento de óxido o suciedad, sobreesfuerzo visual, iluminación insuficiente.	<p>Antes de entregar los elementos de tensado solicitados en el registro de préstamos de materiales de tensado, el encargado del proceso de tensado debe revisar con una lupa y en un espacio con buena iluminación que todos los elementos estén limpios libres de polvo, herrumbre y restos de concreto.</p> <p>Los barriles, cuñas y empates se deben limpiar con un cepillo metálico y aplicar lubricante.</p> <p>Las cuñas deben revisarse minuciosamente que no tengan desgaste, reventaduras ni fisuras en las caras internas.</p> <p>Los torones no deben tener corrosión, cortes, dobleces ni deformaciones físicas. Deben estar limpios, libres de polvo, grasa.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
4	Revisión de los elementos de tensado: cuñas, barriles, torones por parte de la persona que realiza la solicitud F-PCRML-3.	Golpes, cortes, fallas no detectadas, desprendimiento de óxido o suciedad, sobreesfuerzo visual, iluminación insuficiente.	<p>En un espacio bien iluminado revisar que todos los elementos estén limpios libres de polvo y herrumbre. Las cuñas libres de desgaste y reventaduras en las caras internas y los torones sin corrosión, cortes, dobleces ni deformaciones físicas. Deben estar limpios, libres de polvo y grasa.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
5	Desenrollar el torón de la bobina.	Giro del torón sobre el mismo ocasionando golpes, esfuerzo físico, tropiezos	<p>El torón se debe desenrollar entre 2 personas y la bobina o canasta del torón debe tener un anillo y varilla central para evitar el enrollamiento.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los torones.</p>

6	Posicionamiento de los torones.	Cortes, esfuerzo físico, golpes, tropiezos.	<p>Alertar al personal de la nave realizando el cambio a color verde en la torre de señalización para indicar que se están realizando tareas de preparación de anclajes de tensado.</p> <p>El hilado de los torones en la mesa de tensado debe realizarse de acuerdo con las especificaciones de la pieza a tensar.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los torones.</p>
7	Corte del torón.	Cortes, esfuerzo físico, golpes, tropiezos, contacto con elementos filosos, posturas forzadas, sobreesfuerzo visual, errores en la medición de la longitud.	<p>Delimitar el área de trabajo.</p> <p>Revisar la herramienta antes de realizar el corte.</p> <p>Medir la longitud entre anclajes y cortar el torón con una longitud mayor para asegurar las longitudes mínimas recomendadas y asegurar que el pistón sujete de manera segura el torón.</p> <p>Cortar el torón con una cortadora de disco abrasivo sujetando firmemente contra un bloque de corte de madera, con un pie en el lado de la bobina del bloque.</p> <p>Utilizar el epp básico, guantes de cuero, protección facial completa, protección respiratoria, polainas, delantal.</p> <p>Extintor en el área de trabajo y permiso de trabajos en caliente.</p>
8	Ensamble de los conos de anclaje: barriles y cuñas Preparación de los anclajes. Enroscar el barril sobre el extremo limpio del torón y empujarlo, insertar las cuñas dentro del barril y socarlas.	Caída de herramientas, posturas forzadas, golpes, majonazos, tropiezos, caídas al mismo y diferente nivel.	<p>Los colaboradores deben tener continua comunicación y asegurar la correcta alineación de los elementos de tensado.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes.</p>
9	Verificación visual de la máquina de tensado y pistón hidráulico.	Golpes, exposición a residuos de grasas, lubricantes, polvo.	<p>Revisar que la máquina de tensado esté en buenas condiciones y limpia, que no se observen golpes y que las llantas no estén estalladas), sin derrames de aceite, cable eléctrico en buen estado y que cuente con las verificaciones</p>



			<p>mensuales y que se hayan realizado con el tipo de torón a utilizar.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito.</p>
10	<p>El supervisor revisa los anclajes de la mesa de tensado.</p>	<p>Golpes, contacto con elementos filosos, caída al mismo nivel, posturas forzadas, sobreesfuerzo visual.</p>	<p>El encargado del proceso de tensado realiza la revisión en campo y completa el formato de lista de verificación para autorizar la pretensión F-PCRML- 4 revisando los extremos vivo y muerto.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito.</p>
11	<p>Aplicación de las fuerzas de tensado iniciales es cercana al 25% de la fuerza final especificada en planos y luego se aplican las fuerzas de tensados finales.</p>	<p>Liberación descontrolada de energía.</p> <p>Rotura del torón.</p> <p>Fallas en el anclaje.</p> <p>Falla de la máquina de tensado o pistón hidráulico.</p> <p>Golpes, tropiezos, caídas, posturas forzadas.</p> <p>Reventaduras en la pieza, deformación excesiva, daños en el molde o el anclaje.</p> <p>Proyecciones, incrustamientos, lesiones al personal e incluso la muerte.</p>	<p>Zonas de exclusión solamente el encargado y el ayudante permanecen dentro jaula de tensado y realizan el cambio en la torre de señalización visual a color rojo y se activará la alarma audible para alertar al personal de la nave 1 que se van a aplicar fuerzas de tensado.</p> <p>Limpia los torones con un trapo seco para eliminar residuos de grasa o polvo.</p> <p>El operador del pistón hidráulico debe posicionarse al lado del pistón, nunca detrás.</p> <p>Respetar la secuencia de tensado especificada en la orden de producción para tensado, aplicar la fuerza gradualmente con el pistón horizontal hasta alcanzar la fuerza de preesfuerzo indicada en los planos.</p> <p>Verificar que las mamparas se encuentren frente a los torones de manera que en caso de liberación queden incrustados en la madera de la mampara.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito.</p> <p>Monitorear los manómetros de la máquina de tensado.</p>

12	Colocar los dispositivos de seguridad.	Golpes, postura forzada, caída al mismo nivel.	Colocar las protecciones de tubos con cadenas en los torones.  Cambiar el color a amarillo en la torre de señalización para alertar que en la mesa hay torones tensados.  Zona de exclusión: cerrar la jaula de tensado para que ninguna persona permanezca en esa área.  Una vez que los torones estén tensados los colaboradores no deben permanecer sobre la mesa de tensado.  Utilizar el epp básico y guantes.
13	Monitoreo de la pretensión: elongación.	Golpes, contacto con elementos filosos, caída al mismo nivel, posturas forzadas.	Utilizar el epp básico y guantes de cabrito.  Medir la elongación en el torón. Según producción.  Completar el reporte diario de tensado.
14	Chorrea del concreto.	Izaje de cargas Tránsito de personas debajo de cargas suspendidas.	Un palettero guía al operador de la grúa para movilizar la canasta. La grúa solamente es operada por personal autorizado.  Inspecciones al equipo de izaje y canasta.  Uso de silbatos para alertar al personal que se está movilizand la grúa con la canasta que contiene el concreto.  Respetar la capacidad de la canasta y del equipo de izaje.  Utilizar el epp básico.
15	Corte de los torones.	Proyección de fragmentos del torón.  Cortes, golpes, rotura del disco de corte, contacto con elementos filosos.  Posturas forzadas, sobreesfuerzo visual.	Después del fraguado del concreto se realiza el corte de los torones.  Delimitar el área de trabajo  Revisar la herramienta antes de realizar el corte.  Utilizar el epp básico, guantes cuero, anticorte, protección facial completa, protección respiratoria, polainas y delantal.  Extintor en el área de trabajo y permiso de trabajos en caliente.

### 3.1.2 Instructivo de Trabajo Seguro pretensado con uso de empates

A continuación, se presenta la secuencia de pasos y las medidas de control para el pretensado con uso de empates.

**Cuadro 22. Instructivo de trabajo seguro en tensado con empates**

	<b>Instructivo de trabajo Seguro para tensado con empates I-PCRML-1.2</b>			
	Planta: <b>Holcim Modular Solutions Alajuela</b>	Nombre del Equipo/máquina: <b>Tensado con uso de empates</b>	Fecha de creación 3/05/2025	
Área/ Departamento: Producción Nave 1		Tarea: Tensado con uso de empates		
Epp básico: pantalón largo, camisa manga larga con retro reflectivo, casco, lentes de seguridad, zapato de Seguridad, guantes. Epp específico para trabajos en caliente: pantalla para careta, guantes, mangas, camisa, chaqueta, delantal y polainas.			Frecuencia de la tarea: Diaria	
Propósito: Establecer los lineamientos y procedimientos necesarios para realizar de forma segura las tareas de tensado en elementos de concreto, previniendo accidentes, controlando los riesgos asociados a la liberación de energía acumulada y protegiendo la integridad física de los colaboradores, así como de los equipos e instalaciones.				
Alcance: Aplica a las tareas relacionadas con el proceso de tensado de torones en elementos de concreto, realizadas dentro de la nave industrial 1 en las instalaciones de Holcim Modular Solutions. Es de cumplimiento obligatorio para todo el personal operativo, supervisores y contratistas que participen en el proceso.				
#	Secuencia de pasos básicos	Peligros/Riesgos	Medida de Control	
1	Solicitar los materiales necesarios F-PCRML- 2: empates, barriles, cuñas, conector central, resorte y tapa.	Omitir elementos necesarios para el tensado, errores en las características de los materiales, cantidad.	Completar el formato de registro de préstamo de materiales de tensado con la cantidad y tipos de elementos a necesitar, debe ser entregado con el nombre del solicitante al encargado del proceso de tensado.	
2	El encargado del proceso de tensado revisa los componentes del empate F-PCRML-3: barriles y cuñas.	Golpes, fallas no detectadas, desprendimiento de óxido o suciedad, iluminación insuficiente.	Antes de entregar los elementos de tensado solicitados en el registro de préstamos de materiales de tensado, el encargado del proceso de tensado revisa con una lupa y en un espacio con buena iluminación que todos los elementos estén limpios libres de polvo, herrumbre y restos de concreto.  Los barriles, cuñas y empates se deben limpiar con un cepillo metálico y aplicar lubricante.	



			<p>Las cuñas deben revisarse minuciosamente que no tengan desgaste ni reventaduras en las caras internas.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
3	El colaborador que hace la solicitud revisa los componentes del empate F-PCRML-3: barriles y cuñas.	Golpes, fallas no detectadas, desprendimiento de óxido o suciedad, iluminación insuficiente.	<p>En un espacio bien iluminado revisar que todos los elementos estén limpios libres de polvo, grasa y herrumbre.</p> <p>Las cuñas deben revisarse minuciosamente que no tengan desgaste ni reventaduras en las caras internas.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
4	Asegurarse que ambos barriles del empate estén completamente roscados al conector central.	Golpes con herramientas, majonazos	<p>Realizar una inspección visual detallada.</p> <p>Asegurar que la iluminación sea adecuada.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
5	Revisar desde los extremos del empate que las cuñas hayan quedado alineadas.	Golpes con herramientas, posturas forzadas.	<p>Realizar una inspección visual detallada.</p> <p>Asegurar que la iluminación sea adecuada.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
6	Insertar el torón dentro del acople ejerciendo una pequeña presión y comprobar que el torón entre correctamente dentro del empate a ambos extremos.	Golpes, majonazos, cortes, postura forzada.	<p>Revisar que los torones para unir sean del mismo tipo de giro y del mismo fabricante.</p> <p>Marcar el torón a 10 cm desde el extremo para asegurar que haya ingresado correctamente en el empate.</p> <p>Redondear y limpiar el extremo del torón para facilitar la entrada en la cuña.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes para manipular los elementos de tensado.</p>
7	Instalar los torones con empates en las mesas de tensado.	Choques de torones durante el tensado, golpes, posturas forzadas, majonazos.	<p>Alertar al personal de la nave realizando el cambio a color verde en la torre de señalización para indicar que se están realizando</p>

			<p>tareas de preparación de anclajes de tensado.</p> <p>Instalar los empates fuera de la pieza colada.</p> <p>Colocarlos intercalados para evitar que choquen durante el tensado.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes para manipular los elementos de tensado.</p>
8	Aplicar las fuerzas de tensado.	<p>Liberación descontrolada de energía.</p> <p>Rotura del torón.</p> <p>Fallas en el anclaje, máquina de tensado o pistón hidráulico.</p> <p>Golpes, tropiezos, caídas, posturas forzadas.</p> <p>Reventaduras en la pieza, deformación excesiva, daños en el molde o el anclaje.</p> <p>Deslizamiento del torón dentro del empate.</p> <p>Proyecciones, incrustamientos, lesiones al personal e incluso la muerte.</p>	<p>Zonas de exclusión solamente el encargado y el ayudante permanecen dentro jaula de tensado y realizan el cambio en la torre de señalización visual a color rojo y se activará la alarma audible para alertar al personal de la nave 1 que se van a aplicar fuerzas de tensado.</p> <p>Limpiar los torones con un trapo seco para eliminar residuos de grasa o polvo.</p> <p>El operador del pistón hidráulico debe posicionarse al lado del pistón, nunca detrás.</p> <p>Respetar la secuencia de tensado especificada en la orden de producción para tensado, aplicar la fuerza gradualmente con el pistón horizontal hasta alcanzar la fuerza de prees fuerzo indicada en los planos.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes.</p> <p>No exceder el 80% de la capacidad última de los torones que se están utilizando de acuerdo con el diámetro</p> <p>3/8": 8300 kg  1/2": 14950 kg  0,6": 21000 kg</p> <p>Utilizar empates certificados por el fabricante.</p> <p>Verificar que las mamparas se encuentren frente a los torones de manera que en caso de liberación queden incrustados en la madera de la mampara.</p> <p>Monitorear los manómetros de la máquina de tensado.</p>

### 3.1.3 Destensado

A continuación, se presenta la secuencia de pasos y las medidas de control para el destensado.

**Cuadro 23. Instructivo de trabajo seguro en destensado**

	<b>Instructivo de trabajo Seguro para destensado</b> <b>I-PCRML-1.3</b>			
	Planta: <b>Holcim Modular Solutions Alajuela</b>	Nombre del Equipo/máquina: <b>Destensado</b>	Fecha de creación: 3/05/2025	
Área/ Departamento: Producción Nave 1		Tarea: Destensado		
EPP básico requerido: Uniforme completo, casco, lentes de seguridad, Guantes, Zapato de Seguridad. Epp específico para trabajos en caliente: pantalla para careta, guantes, mangas, camisa, chaqueta, delantal y polainas.			Frecuencia de la tarea: Diaria	
Propósito: Establecer los lineamientos y procedimientos necesarios para realizar de forma segura las tareas de tensado en elementos de concreto, previniendo accidentes, controlando los riesgos asociados a la liberación de energía acumulada y protegiendo la integridad física de los colaboradores, así como de los equipos e instalaciones.				
Alcance: Aplica a las tareas relacionadas con el proceso de tensado de torones en elementos de concreto, realizadas dentro de la nave industrial 1 en las instalaciones de Holcim Modular Solutions. Es de cumplimiento obligatorio para todo el personal operativo, supervisores y contratistas que participen en el proceso.				
#	Secuencia de pasos básicos	Peligros/Riesgos	Medida de Control	
1	Recepción de la orden de producción para destensado F-PCRML- 1.	Riesgos de comunicación, recibir órdenes de producción con datos incompletos, interpretación errónea, no comprender completamente las especificaciones.	Revisar detalladamente la información dada por producción para el destensado incluyendo: cantidad y tipos de torones, diámetro del pistón hidráulico, longitud del molde, secuencia de destensado, fuerzas iniciales, presiones iniciales.	
2	Solicitar los materiales necesarios F-PCRML- 2: pieza "U", máquina de destensado, pistón hidráulico para el tipo de torón, cortadora de disco abrasivo.	Omitir elementos necesarios para el destensado, errores en las características de los materiales, cantidad.	Completar el formato de registro de préstamo de materiales de tensado con la cantidad y elementos a necesitar, debe ser entregado con el nombre del solicitante al encargado del proceso de tensado.	
3	El encargado del proceso de tensado revisa los elementos de destensado F-PCRML-3.	Golpes, cortes, desprendimiento de óxido o suciedad, sobreesfuerzo visual, iluminación	Antes de entregar los elementos de destensado solicitados en el registro de préstamos de materiales de tensado, el encargado del proceso de	


		insuficiente.	<p>tensado debe revisar con una lupa y en un espacio con buena iluminación que todos los elementos estén limpios libres de polvo, herrumbre y restos de concreto.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
4	Revisión de los elementos de tensado: pieza "U", máquina de tensado y pieza hidráulica por parte de la persona que realiza la solicitud F-PCRML-3.	Golpes, cortes, fallas no detectadas, desprendimiento de óxido o suciedad, sobreesfuerzo visual, iluminación insuficiente	<p>En un espacio bien iluminado revisar que todos los elementos estén limpios libres de polvo, grasa y herrumbre.</p> <p>Revisar que la máquina de tensado esté en buenas condiciones, cuente con las verificaciones mensuales y que se hayan realizado con el tipo de torón a utilizar.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito para manipular los elementos de tensado.</p>
5	El colaborador coloca y sujeta la pieza "U" para destensado sobre el anclaje y enhebra el pistón hidráulico sobre el torón dejando un espacio libre entre el pistón y la "U".	Golpes, majonazos, postura forzada.	<p>Zonas de exclusión solamente el encargado y el ayudante permanecen dentro jaula de tensado y realizan el cambio en la torre de señalización visual a color rojo y se activará la alarma audible para alertar al personal de la nave 1 que se van a aplicar fuerzas de destensado.</p> <p>Limpia los torones con un trapo seco para eliminar residuos de grasa o polvo.</p> <p>Utilizar el epp básico y guantes de cabrito.</p>
6	El operador de la máquina de destensado oprime el botón "Extend" hasta que el cono de anclaje se desprenda y afloje para poder soltar manualmente las cuñas.	<p>Liberación descontrolada de energía.</p> <p>Rotura del torón.</p> <p>Fallas en el anclaje o la máquina de tensado o pistón hidráulico.</p> <p>Golpes, tropiezos, caídas, posturas forzadas.</p> <p>Reventaduras en la pieza, deformación excesiva, daños en el</p>	<p>Manteniéndose dentro de la zona de exclusión solamente el encargado y el ayudante y con la torre de señalización visual en color rojo con el indicador sonoro alertan al personal de la nave 1 que se van a aplicar fuerzas de destensado.</p> <p>El operador del pistón hidráulico debe posicionarse al lado del pistón, nunca detrás.</p> <p>Respetar las secuencias de destensado para evitar daños en la pieza: reventaduras, excesiva deformación, daños en el anclaje,</p>

		molde.	recargo por fuerzas desbalanceadas. Utilizar el epp básico y guantes de cabrito.
7	El operador de la máquina de destensado y oprime el botón "Retrac" para liberar la tensión del torón.	Liberación descontrolada de energía. Rotura del torón. Fallas en el anclaje, la máquina o pistón hidráulico. Golpes, majonazos, posturas forzadas. Reventaduras en la pieza, deformación excesiva, daños en el molde o el anclaje.	Zonas de exclusión solamente el encargado y el ayudante permanecen dentro jaula de tensado y con la torre de señalización visual en color rojo y con el indicador sonoro para alertar al personal de la nave 1 que se van a aplicar fuerzas de destensado. El operador del pistón hidráulico debe posicionarse al lado del pistón, nunca detrás. Respetar las secuencias de destensado para evitar daños en la pieza: reventaduras, excesiva deformación, daños en el anclaje, recargo por fuerzas desbalanceadas. El operador verifica que el manómetro marque cero. Utilizar el epp básico y guantes de cabrito.
8	Corte de los torones.	Proyección de fragmentos del torón. Cortes, golpes, rotura del disco de corte, contacto con elementos filosos, posturas forzadas.	Delimitar el área de trabajo. Revisar la herramienta antes de realizar el corte. Utilizar el epp básico y el específico para trabajos en caliente: guantes cuero, protección facial completa, polainas, delantal. Extintor en el área de trabajo y permiso de trabajos en caliente.

### 3.2 Orden de producción para tensado

A continuación, se presenta el formato a completar con la orden de producción para tensado el cual está asociado a los instructivos de trabajo seguro en tensado.


## Cuadro 24. Formato de orden de producción para tensado

	Formato F-PCRML- 1	Fecha:	10/05/2025
	Formato de orden de producción para tensado	Versión:	N°1
<b>Fecha:</b>			
<b>Nombre y apellidos persona que completa la orden:</b>			
<b>Número de orden de producción para tensado:</b>			
<b>Tipo de pieza:</b>			
<b>Configuración de la pieza:</b>			
<b>Secuencia de tensado:</b>			
<b>Torones:</b>			
<b>Área de pistón hidráulico:</b>			
<b>Fuerza inicial:</b>			
<b>Presión inicial:</b>			
<b>Fuerza final:</b>			
<b>Presión final:</b>			
<b>Rango (+/-):</b>			

### 3.3 Registro de préstamo de materiales de tensado

En el siguiente cuadro se detalla el formato a completar para la solicitud de préstamo de los materiales de tensado.

**Cuadro 25. Formato para el registro de solicitud de materiales para tensado**

		Formato F-PCRML- 2		Fecha:	10/05/2025
		Formato para el registro de préstamo de materiales de tensado		Versión:	N°1
Fecha de solicitud: Nombre y apellidos de persona que solicita: Identificación de la pieza a tensar:					
Ítem N°	Descripción del material	Diámetros en pulgadas	Unidad de medida (m, unidades, piezas, diámetros)	Cantidad	Observaciones
1	Torón				
2	Cuñas				
3	Barriles				
4	Conector central con resorte y tapa para empates				
5	Anillos de contención				
6	Pieza "U" para destensado				
7	Pistón hidráulico				
8	Máquina de tensado				
9	Marcador para torón				
10	Cinta métrica				
11	Paño				
12	Cortadora de disco abrasivo				
<b>Fecha de entrega de los materiales:</b> <b>Entregados por:</b>					

### 3.4 Formato de revisión de los elementos de tensado para el solicitante y la persona que entrega

Los materiales necesarios para las tareas de tensado deben ser revisados previamente por la persona encargada de entregarlos y cuando se entregan el solicitante debe repetir la revisión a cada uno de los elementos.

**Cuadro 26. Formato de revisión de los materiales de tensado**





	Formato F-PCRML- 3 Formato de revisión de los materiales de tensado	Fecha:		10/05/2025	
		Versión:		N°1	
Instrucción: Marque con un símbolo de revisado ✓ según corresponda el estado una vez que haya comprobado cada aspecto de revisión. Fecha: Identificación de la pieza a tensar:		<b>Revisión persona que entrega</b>		<b>Revisión persona que recibe</b>	
		<b>Estado</b>		<b>Estado</b>	
<b>Elemento por revisar: torón</b>		<b>SÍ</b>	<b>NO</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
1. ¿Se observa corrosión?					
2. ¿El alambre está deshilachado o roto?					
3. ¿Se observan deformaciones?					
4. ¿Se observan cortes?					
5. ¿Se observan suciedad o grasa excesiva?					
<b>Elemento por revisar: cuñas</b>					
1. ¿Se observan fisuras o grietas?					
2. ¿Se observan deformaciones?					
3. ¿Se observan suciedad o grasa excesiva?					
4. ¿Se observa desgaste?					
<b>Elemento por revisar: barriles</b>					
1. ¿Se observan fisuras o grietas?					
2. ¿Se observan deformaciones?					
3. ¿Se observan suciedad o grasa excesiva?					
4. ¿Se observa desgaste?					
<b>Elemento por revisar: empates</b>					
1. ¿Se observan fisuras o grietas?					
2. ¿Se observan deformaciones?					
3. ¿Se observan suciedad o grasa excesiva?					
4. ¿Se observa desgaste?					
5. ¿Funciona la rosca del conector central?					
<b>Elemento por revisar: pistón hidráulico</b>					
1. ¿Se observan golpes o deformaciones?					
2. ¿Se observan suciedad o grasa excesiva?					
3. ¿Hay cortes o signos de fugas en las mangueras?					
<b>Elemento por revisar: máquina de tensado</b>					
1. ¿La máquina se ve en buenas condiciones generales?					
2. ¿Está libre de suciedad o grasa excesiva?					
3. ¿Hay cortes o signos de fugas en las mangueras?					
4. ¿Se observan signos de fugas de aceite?					
5. ¿Los cables eléctricos están en buen estado?					
6. ¿Los niveles de aceite del motor son los adecuados?					
7. ¿Están en buenas condiciones los manómetros?					

8. ¿Funciona correctamente la botonera?				
<b>Nombre y apellidos de la persona que entrega y revisa los materiales:</b>				
<b>Firma:</b>				
<b>Nombre y apellidos de la persona que recibe y revisa los materiales:</b>				
<b>Firma:</b>				

### 3.5 Lista de verificación para autorizar el tensado

El encargado del frente de trabajo a cargo de la preparación de las mesas de tensado, previo a solicitar la aplicación de las fuerzas de tensado debe completar el siguiente formato de verificación, asimismo, el encargado del proceso de tensado previo a aplicar las fuerzas debe registrar la revisión de todos los ítems.

**Cuadro 27. Lista de verificación para autorizar el tensado**

	Formato F-PCRML- 4 Formato de lista de verificación para autorizar el tensado	Fecha:	10/05/2025
		Versión:	N°1
<b>Instrucción:</b> Marque con un símbolo de revisado ✓ según corresponda el estado una vez que haya comprobado cada aspecto de revisión. <b>Fecha:</b> <b>Identificación de la pieza a tensar:</b>			
<b>Revisión en el extremo muerto</b>		Revisión encargado del frente de trabajo	Revisión encargado del tensado
1. La rienda del torón mide 15 cm como mínimo.			
2. El cono es de seguridad. Las cuñas están unidas por el anillo de contención. La tapa tiene resorte y está socada.			
3. La punta del torón se encuentre ligeramente redondeada.			
<b>Revisar en el extremo vivo</b>		Revisión encargado del frente de trabajo	Revisión encargado del tensado

<p>4. La medida de la longitud de torón que queda expuesta después de los conos de anclaje según corresponda es de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Torón de 3/8": Mide 40 cm</li> <li>- Torón de 1/2": Mide 40 cm</li> <li>- Torón de 0.6": Mide 50 cm</li> </ul>			
<p>5. La punta del torón se encuentre ligeramente redondeada.</p>			
<p>6. Las cuñas estén alineadas dentro del barril, es decir, que no esté una más afuera que otra.</p>			
<p>7. Las cuñas estén unidas con el anillo de contención.</p>			
<p>8. Las cuñas estén socadas dentro del barril.</p>			
<p><b>Revisar en caso de que se utilicen empates</b></p>		<p>Revisión encargado del frente de trabajo</p>	<p>Revisión encargado del tensado</p>
<p>9. Los empates estén correctamente ensamblados.</p>			
<p>10. Verificar la marca a 10 cm del torón del extremo para verificar la longitud que entra al empate</p>			
<p>11. Los empates se encuentran intercalados</p>			

**Nombre y apellidos del encargado del frente de trabajo:**

**Nombre y apellidos del encargado de tensado:**





## B. Inspección, registro y control del cumplimiento de las medidas preventivas

En la siguiente figura se presentan de manera visual las principales medidas preventivas que deben aplicarse durante las tareas de tensado divididos en categorías como sistemas de advertencia, sistemas de retención, protecciones físicas, límites de operación segura, sistema de mantenimiento e inspección y plan pre-trabajo.

Figura 17. Medidas preventivas a aplicar durante las tareas de tensado

<b>VERIFICA + CONFIRMA</b>  		<b>LIBERACIÓN DESCONTROLADA DE ENERGÍA</b>			
<b>Sistema de Advertencia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rótulos de advertencia trabajos en tensado.</li> <li>Se cuenta con torre de señalización con indicador sonoro.</li> </ul>   		<b>Sistema de retención</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las cadenas actúan como un elemento de contención en caso de una falla inesperada del sistema de anclaje o una rotura del torón.</li> </ul>  		<b>Protecciones Físicas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>En caso de una falla del sistema de anclaje, rotura o proyección del torón las mamparas retienen el cable quedando incrustado en la madera.</li> <li>Ingreso exclusivo de personal autorizado a la jaula de tensado.</li> </ul>   	
<b>Límite de Operación Segura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los torones no se tensan sobre los límites críticos de presión máxima de trabajo.</li> </ul>  <p>Máquina Tensado</p>		<b>Sistema de mantenimiento e Inspección</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Todo el equipo tiene una inspección documentada antes del inicio del turno.</li> <li>Verificaciones mensuales a los manómetros.</li> <li>Calibración anual de dinamómetro.</li> <li>Mantenimientos preventivos a los equipos.</li> </ul>   		<b>Plan Pre trabajo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>La tarea deber ser realizada por personas con el plan de capacitación completo y vigente.</li> <li>Existe un instructivo de trabajo seguro para los procesos de tensado y es conocido por los involucrados.</li> </ul> 	

La alternativa de solución ingenieril y los complementos propuestos se diseñaron para integrarse con las medidas de control existentes, fortaleciendo el sistema de seguridad sin generar interferencias operativas. Estas mejoras no solo complementan los controles actuales, sino que los potencian, al abordar de forma más específica los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía, por lo que, al incorporar los controles propuestos como la jaula de tensado, el rediseño de las mamparas, las torres de señalización, entre otros, se refuerza la seguridad en el proceso de tensado.

Estas medidas preventivas se complementan del siguiente formato de lista de verificación para la inspección, registro y control del cumplimiento, el cual se detalla en el siguiente cuadro.

### Cuadro 30. Formato de inspección, registro y control del cumplimiento de las medidas preventivas

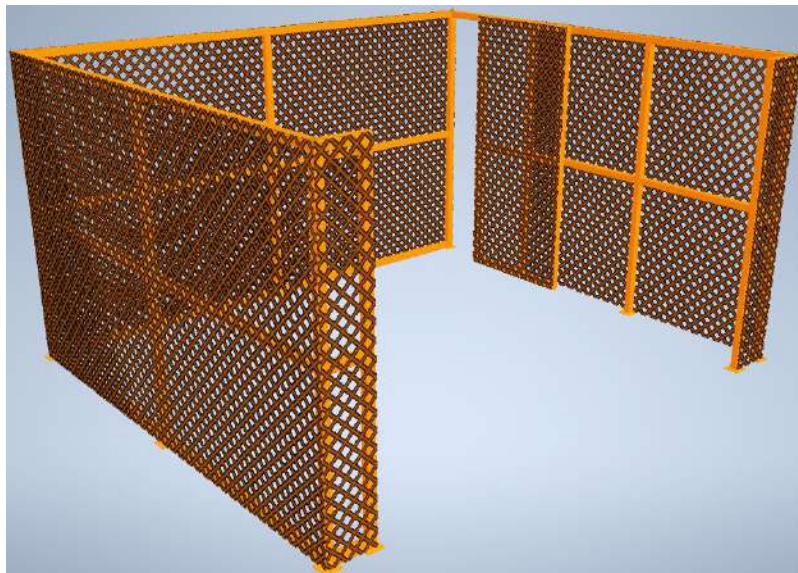
F-PCRML- 7 Formato de Verificación: Liberación descontrolada de energía			
Marque si cumple, no cumple o no aplica según corresponda			
Plan pre trabajo	SI	NO	N/A
Las tareas de tensado son realizadas por personas previamente autorizadas			
El personal conoce y sigue el instructivo de trabajo seguro para los procesos de tensado			
Los colaboradores comprenden los riesgos de tensado y los controles para completar las tareas			
Sistemas de advertencia			
Los rótulos y señales de advertencia se colocan en el area de tensado			
Luces de advertencia de la torre de señalización limpias, operativas y visibles			
Al activar la luz roja de la torre de señalización se activa indicador			
Sistemas de retención			
Cadenas/sistema de retención de torones de seguridad posicionados cada 10 m			
¿Barreras físicas posicionadas previniendo el acceso directo al área/zona de exclusión?			
Límite de operación segura			
Se conoce la fuerza máxima para cada torón individual según los planos de cada pieza			
Se establecen tolerancias aceptables para las fuerzas aplicadas			
Se calculan tolerancias de elongación esperada para cada torón según la fuerza aplicada			
Protecciones físicas			
Los colaboradores están conscientes del propósito y uso de las protecciones			
El material de protección y la instalación mitigan el peligro			
Cada línea de tensado tiene una mampara			
Las cadenas con tubos retienen cada torón			
Las jaulas de tensado están en ambos extremos de las mesas de tensado y permiten el ingreso solo de personal autorizado			
Sistemas de mantenimiento e inspección	SI	NO	N/A
Inspección pre operativa de los equipos y herramientas			
Calibración anual de los dinamómetros			
Verificaciones mensuales de la máquina de tensado con todos los diámetros de torones			
Mantenimientos preventivos a las máquinas y equipos			

## C. Control ingenieril

### 1. Jaula de protección para los operadores que aplican las fuerzas tensado

Esta medida de control ingenieril está diseñada para delimitar el acceso al área de aplicación de fuerzas de tensado, la estructura de acero de resistencia rodea el área en la que el operador manipula la máquina de tensado y el pistón hidráulico creando una barrera física segura. De esta manera, se minimiza el riesgo de lesiones graves aportando a un entorno de trabajo seguro a los colaboradores de dichas tareas y al personal de la nave. En la siguiente figura se muestra el diseño de la jaula.

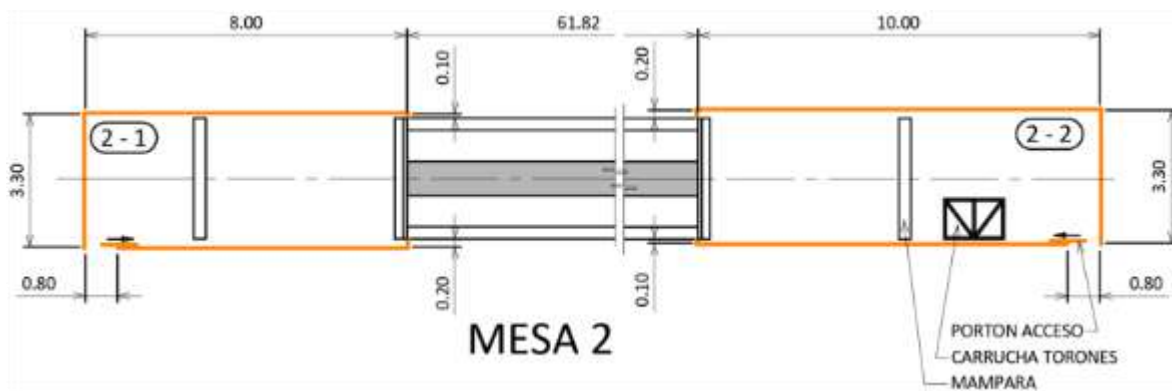
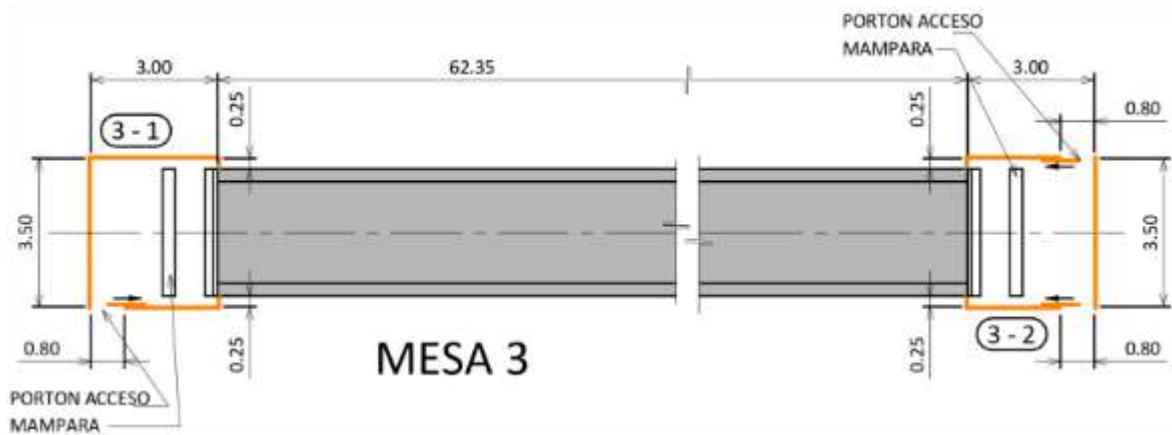
**Figura 18. Diseño de la jaula de protección para los operadores que aplican fuerzas de tensado**

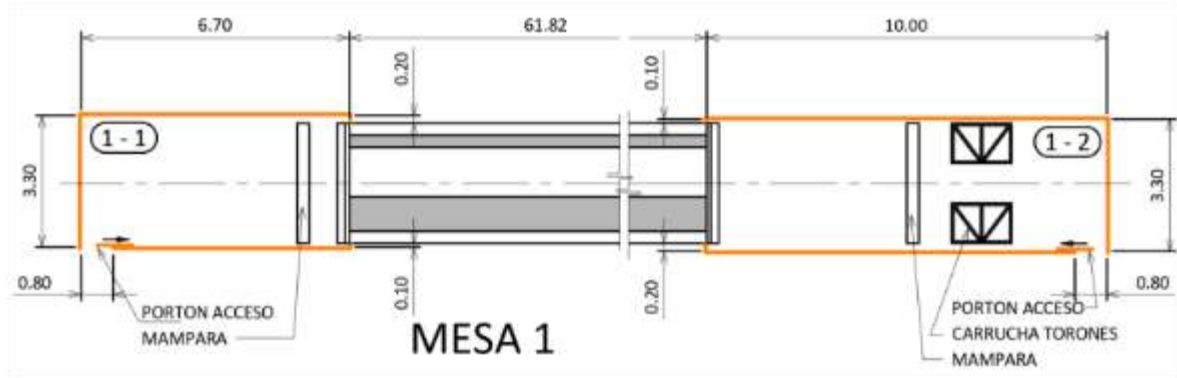


Esta protección se debe instalar en ambos extremos de las mesas de tensado y para el acceso a la jaula se incorpora un portón corredizo para delimitar el ingreso de los colaboradores que no participen directamente de la tarea de tensado. En la siguiente figura se detalla el diseño para cada mesa de tensado y se especifican las dimensiones de las jaulas de protección.

Figura 19. Diseño de las protecciones para cada mesa de tensado

Dimensiones Guardas				
Guarda	A	B	C	D
1 - 1	6,70m	3,30m	0,20m	0,10m
1 - 2	10,00m	3,30m	0,20m	0,10m
2 - 1	8,00m	3,30m	0,10m	0,20m
2 - 2	10,00m	3,30m	0,10m	0,20m
3 - 1	3,00m	3,50m	0,25m	0,25m
3 - 2	3,00m	3,50m	0,25m	0,25m





En la figura anterior se puede observar la manera en la que quedan instaladas estas medidas de control ingenieril, brindando una visualización de la implementación en ambos extremos de cada mesa de tensado.

## 2. Complementos a la alternativa de solución ingenieril

### • Mamparas en los extremos de las mesas de tensado

El diseño de mamparas de protección en ambos extremos incorpora acero de resistencia como un núcleo interno reforzado externamente con un revestimiento de madera dura de alto grosor. Esta combinación busca mitigar los daños en caso de una liberación del torón, ya que la madera actuará como un material de absorción del impacto permitiendo que el torón se incruste en la madera en lugar de rebotar lo que aumenta la probabilidad de contención.

### • Torre de señalización industrial de 3 colores con indicador sonoro

Esta torre de señalización instalada en cada línea de tensado se compone de 3 colores, en este caso, el color verde hace referencia a que no hay torones tensados en esa mesa, el color naranja refiere a que hay torones tensados y el color rojo con el indicador sonoro a que se están aplicando las fuerzas de tensado con el pistón hidráulico y la máquina.

### • Cadenas en las mesas de tensado que se coloquen sobre los torones tensados

Estas protecciones como cadenas instaladas a lo largo de las mesas de tensado colocadas con anclajes previamente instalados en los extremos laterales de las mesas de tensado minimizan el movimiento del torón en caso de que se produzca una liberación de la tensión.

En la **sección V. alternativas de solución ingenieril** se encuentran los detalles de los complementos mencionados anteriormente junto con el desarrollo de la alternativa ingenieril seleccionada.

## **VII. Formación y capacitación**

### **A. Objetivo:**

Capacitar a los involucrados sobre el programa y riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el proceso de tensado.

### **B. Propósito:**

Brindar a los colaboradores involucrados en tareas de tensado, el conocimiento y las habilidades necesarias para identificar, prevenir y mitigar los riesgos asociados con los peligros mecánicos y la liberación descontrolada de energía durante los procesos de tensado.

### **C. Alcance:**

Todo el personal propio y contratista que esté involucrado directa o indirectamente en las tareas de tensado dentro de la planta Holcim Modular Solutions.

### **D. Responsabilidades:**

#### **a. Departamento H&S**

- i. Brindar la capacitación en riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía a los colaboradores de la nave 1 anualmente.
- ii. Registrar la asistencia de los colaboradores durante la aplicación del plan de capacitación.
- iii. Revisar y actualizar anualmente los temas y contenidos del plan de capacitación.
- iv. Verificar la efectividad de las capacitaciones mediante retroalimentaciones y observaciones en campo.

#### **b. Recursos Humanos**

- i. Coordinar y asegurar que los colaboradores reciban la capacitación adecuada en las tareas de tensado.
- ii. Mantener registros actualizados de todas las capacitaciones completadas por los colaboradores.

#### **c. Supervisores en planta**

- i. Enlistar a los colaboradores que deben recibir la capacitación y asegurar que participen del proceso.

- ii. Brindar apoyo y seguimiento a los colaboradores durante las capacitaciones.
- iii. Verificar la efectividad de las capacitaciones mediante retroalimentaciones y observaciones en campo.

**d. Colaboradores**

- i. Participar en las capacitaciones demostrando interés en entender y aplicar los conocimientos adquiridos en la ejecución de sus tareas.
- ii. Contribuir a un ambiente laboral seguro siguiendo las medidas preventivas y los contenidos dados en las capacitaciones.

En el siguiente cuadro se detalla el plan de capacitación, los temas específicos, objetivos, contenidos, duración, participantes y responsables.

**Cuadro 31. Plan de capacitación**

<b>Tema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Contenidos</b>	<b>Duración</b>	<b>Participantes</b>	<b>Responsable</b>
Introducción sobre el programa.	Comunicar los contenidos y la implementación del programa.	Descripción de los apartados del programa.	30 minutos	Todos los involucrados del programa.	Departamento de salud y seguridad.
Descripción del proceso de tensado.	Describir de manera clara y secuencial las etapas del proceso de tensado de vigas de concreto.	¿Qué es el tensado de concreto? Procesos de pretensado y destensado.	1.5 horas	Personal operativo propio del departamento de producción Personal operativo contratista.	Departamento de salud y seguridad y coordinación de producción.
Riesgos mecánicos.	Comprender los principales peligros y riesgos mecánicos presentes en las tareas de tensado.	Definición y tipos de riesgos mecánicos. Identificación de peligros en el proceso de tensado. Eventos no deseados de los riesgos mecánicos en la seguridad laboral. Fuentes de peligro mecánico específicas en tensado. Importancia de la identificación y control de riesgos mecánicos para la prevención de accidentes. Medidas de control para los riesgos mecánicos.	40 minutos	Personal operativo propio del departamento de producción. Personal operativo contratista. Supervisores en planta. Personal operativo propio del departamento de mantenimiento.	Departamento de salud y seguridad.
Liberación descontrolada de energía en tensado.	Comprender los principales peligros y riesgos de liberación descontrolada de energía en las tareas de tensado.	Introducción a la energía almacenada en el tensado. Tipos de energía presentes en el proceso de tensado. Peligros específicos de la liberación descontrolada de energía: rotura del torón, falla del anclaje, falla de la máquina de tensado o pistón hidráulico, fallas de empates. Eventos no deseados de la liberación descontrolada de energía. Medidas de control para prevenir la liberación descontrolada de energía.	30 minutos	Personal operativo propio del departamento de producción. Personal operativo contratista. Supervisores en planta.	Departamento de salud y seguridad. Departamento de ingeniería. Coordinación de producción.

Tema	Objetivo	Contenidos	Duración	Participantes	Responsable
Controles para la seguridad en el tensado.	Conocer las medidas de seguridad en las tareas del proceso de tensado.	<p>Jerarquía de controles de seguridad aplicada al tensado.</p> <p>Controles de seguridad en la preparación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>e. Recepción de la orden de producción.</li> <li>f. solicitud de los materiales.</li> <li>g. Revisión de los elementos de tensado.</li> <li>h. Preparación e inspección de la máquina de tensado y pistón hidráulico.</li> </ul> <p>Controles de seguridad durante la aplicación de las fuerzas de tensado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Delimitación clara y señalizada del área de exclusión.</li> <li>j. Control de acceso.</li> <li>k. Comunicación clara entre los colaboradores.</li> <li>l. Seguimiento del instructivo de trabajo seguro.</li> <li>m. Sistemas de advertencia.</li> <li>n. Equipo de protección personal.</li> </ul>	30 minutos	<p>Personal operativo propio del departamento de producción.</p> <p>Personal operativo contratista.</p> <p>Coordinadores de los departamentos.</p> <p>Supervisores en planta.</p>	Departamento de salud y seguridad.
Instructivo de trabajo seguro en tensado.	Explicar los pasos establecidos en el instructivo de trabajo seguro para ejecutar las tareas de pretensado, tensado con uso de empates y destensado de vigas de concreto.	<p>Introducción al instructivo de trabajo seguro.</p> <p>Instructivo de trabajo seguro para el pretensado.</p> <p>Instructivo de trabajo seguro para el tensado con empates.</p> <p>Instructivo de trabajo seguro para el destensado.</p>	60 minutos	<p>Personal operativo propio del departamento de producción.</p> <p>Personal operativo contratista.</p> <p>Supervisores en planta.</p>	Departamento de salud y seguridad, coordinación de producción y departamento de ingeniería.

<b>Tema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Contenidos</b>	<b>Duración</b>	<b>Participantes</b>	<b>Responsable</b>
Herramientas de evaluación de riesgos.	Describir las herramientas para la identificación de peligros y evaluación de riesgos asociados al proceso de tensado.	<p>Introducción a la identificación de peligros y evaluación de riesgos.            Importancia de la evaluación de riesgos en la prevención de accidentes y condiciones inseguras.</p> <p>Uso de las herramientas de identificación de peligros y evaluación de riesgos: observación participativa del proceso y el Análisis de Modo de Fallos y Efectos.</p> <p>Análisis de riesgos en el proceso de tensado.</p> <p>Ejemplos prácticos de identificación, de peligros y evaluación de riesgos en cada tarea del proceso de tensado.</p>	60 minutos	<p>Personal operativo propio del departamento de producción.</p> <p>Personal operativo contratista.</p> <p>Supervisores en planta.</p>	Departamento de salud y seguridad.
Inspecciones y revisiones de las herramientas y equipos de tensado.	Capacitar a los colaboradores en la correcta realización de inspecciones y revisiones de las herramientas y equipos utilizados en el tensado.	<p>Identificar los tipos de herramientas y equipos de tensado.</p> <p>Aplicar los formatos de inspección preoperativa de las cuñas, barriles, conos, empates y torones.</p> <p>Aplicar los formatos de inspección preoperativa de la máquina de tensado y pistón hidráulico.</p> <p>Explicar los límites de desgaste, deformación, corrosión, golpes.</p> <p>Ejercicio práctico de revisión de elementos dañados y en buen estado.</p>	60 minutos	<p>Personal operativo propio del departamento de producción.</p> <p>Personal operativo contratista.</p> <p>Personal operativo propio del departamento de mantenimiento.</p>	Departamento de salud y seguridad, coordinación de producción.
Preguntas y cierre.	Brindar un espacio de atención de dudas en los contenidos de la capacitación.	Preguntas y comentarios de los participantes.	15 minutos	Todos los involucrados del programa.	Departamento de salud y seguridad.

La frecuencia de las capacitaciones que integran el plan de capacitación para las tareas de tensado debe ser anual, asegurando la actualización continua de los conocimientos y las prácticas del personal involucrado, asimismo, debe ser requisito para todo el personal que labore en la nave industrial 1. Además, sólo podrán ser autorizadas a participar directamente en las tareas de tensado los colaboradores propios y contratistas que cuenten con todas las capacitaciones vigentes de acuerdo con el plan de capacitación del presente programa. Esta condición es indispensable para asegurar que cada colaborador comprenda los riesgos asociados, las medidas de seguridad y los procedimientos de trabajo seguros durante el proceso de tensado.

Para el control de las capacitaciones en los contratistas, considerando la rotación frecuente, se continuará aplicando el mecanismo actualmente establecido por la empresa. El cual consiste en la entrega de un carné de capacitación a cada contratista que haya recibido la formación requerida con la fecha de vigencia, el cual es verificado diariamente por el personal de seguridad en el momento del registro de ingreso a las instalaciones. Además, las fechas de vencimiento de los cursos y capacitaciones obligatorias se registran en una plataforma de gestión de contratistas llamada Sistema Integrado para Control de Proveedores (SICOP) la cual es revisada por lo oficiales de seguridad, lo que permite un seguimiento automatizado del cumplimiento y facilita la identificación de personas no autorizadas para ingresar a la empresa.

Asimismo, la verificación de la efectividad de las capacitaciones será realizada en conjunto con el departamento de salud y seguridad y supervisores mediante procesos de retroalimentación y observaciones en campo, permitiendo identificar si los conocimientos adquiridos han sido correctamente comprendidos y aplicados por los colaboradores durante la ejecución de las tareas de tensado.

## **VIII. Coordinación y comunicación entre multi-empleadores en sitios de trabajo común**

En las tareas de tensado concurre personal propio y personal contratista de varias empresas, por lo que para garantizar la seguridad de todos los colaboradores se establecen mecanismos de coordinación y comunicación. Holcim Modular Solutions es responsable de liderar y mantener la comunicación entre los multi-empleadores en los sitios de trabajo. Los mecanismos incluyen:

- a) Uso de señalización clara y visible: Asegurar la colocación de señalización clara y visible en la nave industrial 1.
- b) Control de participación en las tareas de tensado: Solo el personal previamente autorizado y con las capacitaciones completas y vigentes puede participar de proceso de tensado.
- c) Instructivos de Trabajo Seguros: Comunicar a todos los colaboradores el instructivo de trabajo seguro asegurando que se sigue una secuencia de pasos y medidas preventivas adecuadas.
- d) Comunicación directa: Fomentar la comunicación constante y directa entre colaboradores de diferentes empleadores.

Además, cada empleador garantiza que sus colaboradores estén informados sobre los peligros y riesgos presentes en la nave 1 de manera que cumplan con las reglas de salud y seguridad y las medidas de control preventivas, así como todos aquellos requerimientos de seguridad exigidos por Holcim Modular Solutions.

## IX. Cumplimiento legal

El programa de control de riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en tensado está alineado con la legislación nacional vigente, la cual establece requisitos obligatorios en materia de seguridad y salud laboral, como lo es el Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Reglamento de Seguridad en Construcciones de Costa Rica y el Código de Trabajo.

A continuación, en el siguiente cuadro se especifican los requisitos legales y normativos aplicables al programa.

**Cuadro 32. Requisitos legales y normativos**

Requisito legal	Artículos
<b>Cumplimiento obligatorio</b>	
Código de trabajo	<p><b>Artículo 83.</b> Son causas justas que facultan al trabajador para dar por terminado su contrato de trabajo:</p> <p>g) Cuando exista peligro grave para la seguridad o salud del trabajador o de su familia, ya sea por carecer de condiciones higiénicas el lugar de trabajo, por la excesiva insalubridad de la región o porque el patrono no cumpla las medidas de prevención y seguridad que las disposiciones legales establezcan;</p> <p>h) Cuando el patrono comprometa con su imprudencia o descuido inexcusable, la seguridad del lugar donde se realizan las labores o la de las personas que allí se encuentren.</p>
	<p><b>Artículo 284.</b> Sin perjuicio de lo establecido en otras disposiciones de este Código, será obligación del patrono:</p> <p>a) Permitir a las autoridades competentes la inspección periódica de los centros de trabajo y la colocación de textos legales, avisos, carteles y anuncios similares, referentes a salud ocupacional;</p> <p>b) Cumplir con las disposiciones legales y reglamentarias para la capacitación y adiestramiento de los trabajadores, en materia de salud ocupacional;</p> <p>c) Cumplir con las normas, y disposiciones legales y reglamentarias sobre salud ocupacional;</p> <p>d) Proporcionar el equipo y elemento de protección personal y de seguridad en el trabajo y asegurar su uso y funcionamiento.</p>
	<p><b>Artículo 285.</b> Serán obligaciones del trabajador, además de las que señalan otras disposiciones de esta ley, las siguientes:</p>

Requisito legal	Artículos
	<p>a) Someterse a los exámenes médicos que establezca el reglamento de la ley u ordenen las autoridades competentes, de cuyos resultados deberá ser informado;</p> <p>b) Colaborar y asistir a los programas que procuren su capacitación, en materia de salud ocupacional;</p> <p>c) Participar en la elaboración, planificación y ejecución de los programas de salud ocupacional en los centros de trabajo; y</p> <p>ch) Utilizar, conservar y cuidar el equipo y elementos de protección personal y de seguridad en el trabajo, que se le suministren.</p>
	<p><b>Artículo 286.</b> Ningún trabajador debe:</p> <p>a) Impedir o entorpecer el cumplimiento de las medidas de salud ocupacional;</p> <p>b) Remover, sin autorización, los resguardos y protecciones de las máquinas, útiles de trabajo e instalaciones;</p> <p>c) Alterar, dañar o destruir los equipos y elementos de protección personal, de seguridad en el trabajo o negarse a usarlos, sin motivo justificado;</p> <p>ch) Alterar, dañar o destruir los avisos y advertencias sobre condiciones, sustancias, productos y lugares peligrosos;</p> <p>d) Hacer juegos o dar bromas, que pongan en peligro la vida, salud e integridad personal de los compañeros de trabajo o de terceros; y</p> <p>e) Manejar, operar o hacer uso de equipo y herramientas de trabajo para los cuales no cuenta con autorización y conocimientos.</p>
<p>Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo</p>	<p><b>Artículo 3.</b> Todo patrono o su representante, intermediario o contratista, debe adoptar y poner en práctica en los centros de trabajo, por su exclusiva cuenta, medidas de seguridad e higiene adecuadas para proteger la vida, la salud, la integridad corporal y moral de los trabajadores, especialmente en lo relativo a:</p> <p>a) Edificaciones, instalaciones y condiciones ambientales;</p> <p>b) Operaciones y procesos de trabajos;</p> <p>c) Suministro, uso y mantenimiento de los equipos de protección personal: y</p> <p>d) Colocación y mantenimiento de resguardos y protecciones de las máquinas y todo género de instalaciones.</p> <p>e) La reducción, por medio de medidas técnicas adecuadas, del impacto del ruido y de las vibraciones que puedan perjudicar a los trabajadores.</p> <p><b>Artículo 4.</b> Son también obligaciones del patrono:</p> <p>a) Mantener en buen estado de conservación, funcionamiento y uso la maquinaria, las instalaciones y las herramientas de trabajo;</p>


Requisito legal	Artículos
	<p>b) Promover la capacitación de su personal en materia de seguridad e higiene en el trabajo; y  c) Permitir a las autoridades competentes la colocación, en los centros de trabajo, de textos legales, avisos, carteles y anuncios similares, atinentes a la seguridad e higiene en el trabajo.</p> <p><b>Artículo 6.</b> Todo trabajador está obligado a cumplir con las normas jurídicas, así como con las reglas internas y las indicaciones e instrucciones emanadas de la empresa o de las autoridades competentes, tendientes a la protección de la vida, salud, integridad corporal y moralidad de los trabajadores. Especialmente están obligados a cumplir con las recomendaciones que se les den:  a) Para el uso y conservación del equipo de protección personal que les sea suministrado;  b) Para la ejecución del trabajo;  c) Para el uso y mantenimiento del equipo que, para protección del trabajador, tiene la maquinaria.</p> <p><b>Artículo 7.</b> Queda absolutamente prohibido a los trabajadores:  a) Impedir o entorpecer el cumplimiento de las medidas de seguridad en las operaciones del trabajo;  b) Remover de su sitio los resguardos y protecciones de máquinas e instalaciones, sin autorización y sin tomar las debidas precauciones;  c) Dañar o destruir los equipos de protección personal, o negarse a usarlos sin motivo justificado;  d) Alterar, dañar, destruir o remover avisos o advertencias sobre condiciones peligrosas;  e) Entregarse a juegos o darse bromas que pongan en peligro la vida, salud o integridad corporal de los trabajadores;  f) Lubricar, limpiar o reparar máquinas en movimiento, a-menos que sea absolutamente necesario, guardando en este caso todas las precauciones indicadas por la persona designada por el patrono al efecto; y  g) Manejar, operar o hacer uso de equipo y herramientas para las que no tengan expresa autorización.</p>
Reglamento de Seguridad en Construcciones	<p><b>Artículo 75.</b> Durante las operaciones de postensado de cabos de acero se prohíbe la permanencia de trabajadores atrás o sobre los equipos de postensión, debiendo el área ser aislada con barreras y señalizarse adecuadamente.</p> <p><b>Artículo 76.</b> Todos los dispositivos y equipos de postensado deben ser inspeccionados por técnicos en la materia. Antes de ser iniciados los</p>

<b>Requisito legal</b>	<b>Artículos</b>
	trabajos, las roscas de postensión deben ser revisadas de previo a su posicionamiento.
<b>Cumplimiento voluntario</b>	
INTE T29:2016	Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo. Aspectos generales
INTE/ISO 14120:2016	Seguridad en las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.
INTE/ISO 12100:2012	Salud y seguridad ocupacional. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación y reducción del riesgo-
ASTM A416/A416M	Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressed Concrete {Especificación estándar para torones de acero de siete alambres de baja relajación para hormigón pretensado}.

## X. Programa de evaluación y mejora

Una vez implementado el programa es necesario establecer un seguimiento que permita evaluar el cumplimiento de los objetivos, asimismo, el control continuo permite conocer el porcentaje de avance de los elementos del programa. Se recomienda que el departamento de salud y seguridad realice la evaluación trimestralmente y comunique los resultados obtenidos a los involucrados. A continuación, se muestra la lista de verificación para el programa del control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado.

**Cuadro 33. Lista de verificación para evaluación del cumplimiento del programa**

	Lista de verificación evaluación y mejora del programa	Fecha: 10/05/2025	
		Versión: N°1	
Fecha:			
Nombre de la persona que realiza la verificación:			
Ítem	Cumplimiento		Observaciones
	Sí	No	
¿Todas las personas involucradas conocen sus responsabilidades y tareas asignadas?			
¿Los recursos solicitados para implementar el programa han sido asignados?			
¿Se implementó el formato de orden de producción para tensado?			
¿Se implementó el instructivo de trabajo seguro en tensado: pretensado, pretensado con empates y destensado y fue comunicado a todos los colaboradores directamente involucrados?			
¿Se implementó el formato de registro de préstamo de materiales de tensado?			
¿Se implementó el formato de revisión de los materiales de tensado?			
¿Se implementó el formato de lista de verificación para autorizar el tensado?			
¿Se implementó el formato de registros de mantenimiento de la máquina de tensado?			
¿Se implementó el formato de registros de mantenimiento de pistón hidráulico?			
¿Se implementó el formato de inspección, registro y control del cumplimiento de medidas preventivas?			
¿Se implementaron los controles ingenieriles?			
¿Se implementó el plan de capacitación en el personal directa e indirectamente expuesto?			
Porcentaje de cumplimiento:			

Una vez completada la lista de verificación anterior, se calcula el porcentaje de cumplimiento de la implementación del programa con la siguiente ecuación.

$$\text{Porcentaje de cumplimiento del programa: } \frac{\text{Cantidad de ítems cumplidos}}{\text{Total de ítems evaluados}} * 100$$

Además, la evaluación se complementa con los siguientes indicadores de seguimiento relacionados a los objetivos específicos del programa.

- Implementación de controles de ingeniería

Evalúa el avance en la implementación de los controles de ingeniería, dando como resultado el porcentaje de cumplimiento.

$$\text{Implementación controles ingeniería} = \frac{\text{Cantidad controles implementados}}{\text{Cantidad controles planificados}} * 100$$

- Implementación de controles administrativos

Evalúa el avance en la implementación de los controles administrativos, dando como resultado el porcentaje de cumplimiento.

$$\text{Implementación controles administrativos} = \frac{\text{Cantidad controles implementados}}{\text{Cantidad controles planificados}} * 100$$

- Implementación de las capacitaciones

Evalúa el avance en la implementación del plan de capacitación, dando como resultado el porcentaje de cumplimiento.

$$\text{Implementación capacitaciones} = \frac{\text{Cantidad colaboradores capacitados}}{\text{Cantidad colaboradores de la nave 1}} * 100$$

Todos los resultados obtenidos de porcentajes de cumplimiento deben ser comunicado a los involucrados por parte del encargado de salud y seguridad.

## **XI. Diagrama de Gantt**

En el siguiente cuadro se detalla el cronograma propuesto para la implementación del programa por parte de la organización.



## XII. Control proactivo del cambio en la organización

Para realizar una gestión segura del cambio en la organización los lineamientos a seguir se especifican a continuación.

**Cuadro 35. Lineamientos para el control proactivo del cambio en la organización**

N°	Lineamiento	Descripción
1	Identificación del cambio.	Incluye modificaciones en la estructura organizacional, procesos de trabajo, cambios en las instalaciones, cambios en equipos o herramientas.
2	Evaluación de riesgos del cambio.	Se determinan los posibles impactos del cambio en la seguridad como nuevos peligros, controles necesarios, personal involucrado
3	Autorización del cambio.	Para que un cambio sea implementado debe ser previamente autorizado por el encargado de salud y seguridad para lo cual la decisión se basa en la evaluación de riesgos del cambio.
4	Implementación del cambio.	La implementación de todo cambio debe realizarse asegurando el cumplimiento de las medidas preventivas establecidas y supervisión durante la implementación. Asimismo, deben ser comunicados a todos los involucrados.
5	Documentación del cambio.	Todos los lineamientos de la gestión del cambio deben ser registrados incluyendo la identificación del cambio, evaluación de riesgos, supervisiones realizadas al cumplimiento de las medidas preventivas, registros de comunicación.

La implementación de los lineamientos mencionados anteriormente favorece el control y la gestión de los cambios que se presenten permitiendo una adaptación planificada y segura que contribuye a la mejora continua de la organización de la mano de la salud y seguridad.

### 1. Validación de la alternativa de solución administrativa

A continuación, se presenta la bitácora de la reunión realizada con la asesora industrial en la que se presentó a la coordinadora de salud y seguridad de la empresa la alternativa de solución administrativa.

**Cuadro 36. Minuta de la reunión con la asesora industrial para la validación de la alternativa de solución administrativa**

<b>Minuta de reunión: Verificación del cumplimiento de los requerimientos del beneficiario para validación de solución administrativa</b>			
<p><b>Título del proyecto:</b> “Propuesta de un programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía presentes en el tensado de vigas en la nave 1 de Holcim Modular Solutions Costa Rica”</p> <p><b>Objetivo de la reunión:</b> Validar la alternativa de solución administrativa para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado con el beneficiario para las salvaguardas de las máquinas y su posterior validación</p> <p><b>Fecha:</b> 8/5/2025</p> <p><b>Hora de inicio:</b> 4:00</p> <p><b>Hora de finalización:</b> 4:30</p> <p><b>Nombre de los participantes:</b> Karen Madrigal Arlene Montero</p>			
N° Requerimiento	Descripción del requerimiento	Estado	
		Cumplido	No cumplido
1	Propuesta de un programa de seguridad en el proceso de tensado	X	
2	Involucrados en el proceso y sus responsabilidades	X	
3	Herramientas de identificación de peligros y evaluación de riesgos	X	
4	Controles que aporten al riesgo en el proceso de tensado	X	
5	Plan capacitación	X	
6	Propuesta de implementación y seguimiento del programa	X	
<p>Acuerdos: El beneficiario valida la solución administrativa y está de acuerdo en que sea presentada a todos los involucrados en una reunión previamente organizada.</p>			

Como se puede observar en la bitácora anterior, la asesora industrial manifestó que se cumplieron todos los requerimientos y considera que la alternativa de solución aportará a la seguridad del personal de la nave 1 involucrado directa e indirectamente en el tensado, por lo que de la reunión se concluye que la alternativa de solución presentada fue exitosamente validada.

### **C. Conclusiones de las alternativas de solución ingenieril y administrativa**

A continuación, se presentan las principales conclusiones obtenidas de los controles ingenieriles y administrativos.

- Los controles ingenieriles y administrativos que se proponen en este programa permiten mejorar las condiciones de seguridad laboral asociadas a los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía en los procesos de tensado.
- A partir de la validación de los controles de ingeniería propuestos incluyendo jaulas de protección para los operadores de tensado, torres de señalización, mamparas y restricciones de seguridad con cadenas, junto con los controles administrativos del programa, demostraron ser efectivos en la minimización de riesgos asociados al tensado, evidenciado en la obtención de índices de prioridad de riesgo inferiores a 100 para todas las tareas.
- La selección de la alternativa ingenieril se basó en criterios de salud y seguridad, ambientales, económicos, socioculturales y estándares que permitieron identificar la propuesta que mejor se alinea con los requerimientos de la organización.
- La asignación de responsabilidades y actividades a todos los involucrados garantiza el compromiso de la gerencia y principales departamentos de la organización con la implementación exitosa del programa.
- La lista de verificación para la inspección, registro y control del cumplimiento de los controles ingenieriles asegura la supervisión de las condiciones de los controles propuestos.
- La propuesta del plan de capacitación en riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en el tensado proporciona los conocimientos y habilidades al personal para la identificación y mitigación de los riesgos del proceso.
- Se desarrollaron herramientas de seguimiento y evaluación del programa de seguridad para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía, permitiendo verificar el avance durante la implementación.
- La propuesta de instructivos de trabajo seguro en pretensado, pretensado con empates y destensado, así como formatos de revisión de los materiales de tensado, registros de mantenimientos involucra activamente la participación de los colaboradores y fomenta la cultura de seguridad en la organización.

- Los controles ingenieriles y administrativos del programa son complementarios y la implementación conjunta es esencial para un control efectivo de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía.

#### **D. Recomendaciones de las alternativas de solución ingenieril y administrativa**

A partir de las conclusiones anteriores, se presentan recomendaciones para el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía presentes en el tensado.

- Implementar la solución ingenieril seleccionada junto con los complementos propuestos es fundamental para garantizar el control de los riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía en la nave 1.
- En un equipo de trabajo que involucre al departamento de ingeniería realizar una evaluación de la resistencia de los materiales propuestos en la alternativa ingenieril y sus complementos para garantizar la seguridad, funcionalidad y el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proceso.
- Dar a conocer al personal involucrado las alternativas a implementar para lograr su aceptación y el cumplimiento de los nuevos lineamientos, promoviendo el desempeño seguro de las tareas.
- Capacitar a todo el personal de la nave industrial 1 en riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía, las capacitaciones se recomiendan sean reforzadas anualmente.
- Capacitar al personal que participa directamente en las tareas de tensado en temas específicos de la operación, asegurando que el personal propio y contratista cuente con los conocimientos y habilidades necesarios para participar de manera segura en el proceso.
- El estudio fue realizado en la nave industrial 1, sin embargo, el proceso de tensado también se realiza en la nave industrial 3, por lo que, se recomienda realizar una evaluación similar en dicha área.
- Los controles ingenieriles y administrativos fueron diseñados a partir del análisis de la situación actual de la nave 1, por lo que, antes de replicarlos en otras áreas o procesos es necesario realizar un análisis previo que considere las condiciones y riesgos específicos de esos lugares.

## VI. Bibliografía

- Alviry, M. (2022). *Implementación de una metodología para diseñar un plan estratégico como instrumento para mejorar el desempeño y organización en MYPES y START-UPS utilizando herramientas tecnológicas*. [Tesis de bachiller]. Universidad Católica de Santa María.  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/20.500.12920/11824/1/71.0677.IS.pdf>
- Campos, G & Lule, N. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 7(13), 45-60. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3979972>
- Consejo de Salud Ocupacional. (2022). *Guía sobre: Medidas de Seguridad para Trabajos en Concreto Armado, Albañilería y Acabados*. Reglamento General de Seguridad en Construcciones.  
<https://www.cso.go.cr/divulgacion/construccion/documentos/guiasseguridadconstruccion/5.%20Guia%20sobre%20medidas%20de%20seguridad%20para%20trabajos%20en%20concreto%20armado,%20albanileria%20y%20acabados%20MTSS%20CSO.pdf>
- Consejo de Salud Ocupacional. (2023). *Costa Rica: Estadísticas de Salud Ocupacional*.  
[https://cso.hermessoft.com/documentos\\_relevantes/consultas/estadisticas/Estadisticas%20Salud%20ocupacional%202023.pdf](https://cso.hermessoft.com/documentos_relevantes/consultas/estadisticas/Estadisticas%20Salud%20ocupacional%202023.pdf)
- Construcción industrializada: la solución innovadora que reduce costos y acelera proyectos*. (2024, 27 noviembre). *Revista Summa*. <https://revistasumma.com/construccion-industrializada-la-solucion-innovadora-que-reduce-costos-y-acelera-proyectos/>
- García et al. (2013). Análisis de deterioro por fatiga en torones de presfuerzo utilizados en puentes. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt385.pdf>
- Gobierno de la República de Costa Rica & Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1977). *Reglamento General de Seguridad e Higiene de Trabajo (N.º 1)*.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=57796&nValor3=103868&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=57796&nValor3=103868&strTipM=TC)
- Gobierno de la República de Costa Rica & Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1996). *Reglamento de Seguridad en Construcciones (N.º 25235-MTSS)*.  
[https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2018/02/12/ALCA31\\_12\\_02\\_2018.pdf](https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2018/02/12/ALCA31_12_02_2018.pdf)

Gómez, H & Wilches, J. (2003). Mecanismos y modos de falla en cables metálicos estructurales.

<https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2381/1544>

Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3).

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-21252021000300002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002&lng=es&tlng=es).

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed). México: Mcgraw-Hill.

Holcim Costa Rica. (2025). Visión, misión, valores. <https://www.holcim.cr/perfil-corporativo>

Impact Company. (2025). Torres de luz. <https://www.se.com/cr/es/product-subcategory/5010-torres-de-luz/>

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2011). *INTE/ISO 13855:2011 Seguridad en las máquinas. Posicionamiento de los protectores con respecto a la velocidad de aproximación de partes del cuerpo humano*.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2012). *INTE/ISO 12100:2012 Salud y seguridad ocupacional. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación y reducción del riesgo*.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2016). *INTE T29. Salud y seguridad en el trabajo. Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo*.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2016). *INTE/ISO 14120:2016 Seguridad en las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles*.

Instituto Estatal de Capacitación Guanajuato México. (2021). Seguridad Industrial: ¿Qué es y para qué sirve? <https://ieca.guanajuato.gob.mx/ieca/seguridad-industrial-que-es-y-para-que-sirve/>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2000). *Protección de máquinas frente a peligros mecánicos: resguardos* (NTP 552). <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de->

[prevencion/16-serie-ntp-numeros-541-a-575-ano-2001/ntp-552-proteccion-de-maquinas-frente-a-peligros-mecanicos-resguardos.#:~:text=peligros%20mec%C3%A1nicos:%20resguardos.-,NTP%20552:%20Protecci%C3%B3n%20de%20m%C3%A1quinas%20frente%20a%20peligros%20mec%C3%A1nicos:%20resguardos,materiales%20proyectados%20s%C3%B3lidos%20o%20fluidos.&text=Autor:%20Instituto%20Nacional%20de%20Seguridad,\(INSST\)%20O.A.%20M.P.](https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/higiene-industrial-2008)

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2008). Higiene Industrial. <https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/higiene-industrial-2008>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2018). *Análisis Modal de fallos y efectos*. AMFE (NTP 679). <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/19-serie-ntp-numeros-646-a-680-ano-2004/679>

Joshi, S. (2021). Safety risk assessment and improvement method for precast/ prestressed concrete industry plant. [Método de evaluación y mejora de riesgos de seguridad para plantas industriales de hormigón pretensado/prefabricado]. <https://scholarsjunction.msstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6115&context=td>

Joshi, S., Hamilton, M., Warren, R., Faucett, D., Tian, W., Wang, Y., & Ma, J. (2020). Implementing Virtual Reality technology for safety training in the precast/ prestressed concrete industry. [Implementación de tecnología de Realidad Virtual para la capacitación en seguridad en la industria del hormigón pretensado/prefabricado]. *Applied Ergonomics*, 90, 103286. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103286>

Kraňovanec, J., Moravčík, M. & Jošt, J. (2021). Analysis of Prestressing in Precast Prestressed Concrete Beams. [Análisis del pretensado en vigas prefabricadas de hormigón pretensado.] *Civil and Environmental Engineering*, 17 (1), 184-191. <https://doi.org/10.2478/cee-2021-0019>

Lopezosa, C. (2020). *Entrevistas semiestructuradas con NVivo: pasos para un análisis cualitativo eficaz*. Anuario de Métodos de Investigación en Comunicación Social, n.1 (p.88-97). <https://repositori-api.upf.edu/api/core/bitstreams/96203f05-9289-4fea-8b8c-bcabebe014ee/content>

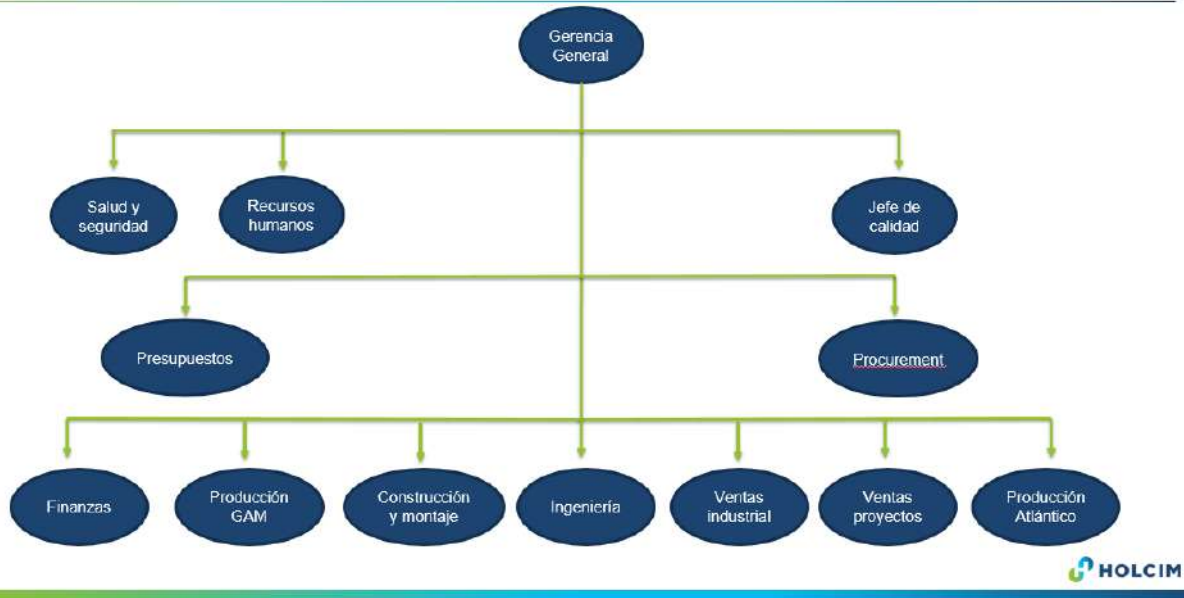
- Mineral Products Association (MPA). (2023). Code of Practice for: Safe Stressing of Prestressed Concrete Products. [Código de prácticas para: Tensado seguro de productos de hormigón pretensado]. <https://www.safequarry.com/hotTopics/MPA%20Precast%20-%20COP%20Prestressed%20DIGITAL.pdf>
- Parra-Penagos, C., & Rodríguez-Fonseca, F. (2015). La capacitación y su efecto en la calidad dentro de las organizaciones. *Revista De Investigación Desarrollo E Innovación*, 6(2), 131–143. <https://doi.org/10.19053/20278306.4602>
- Rojas, S. (2019). Implementación de análisis modal de fallos y efectos (AMFE). 3C Tecnología. *Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(1), pp. 64-75. doi: <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n1e29/64-75>
- Torres, A. & Morales, F. (2011). Sistemas constructivos: Hormigón pretensado y postesado. [https://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2012/08/TESINA\\_Fernanda-Morales\\_Anah%C3%AD-Torres-Pardo\\_Hormig%C3%B3n-Pretensado-y-Postesado.pdf](https://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2012/08/TESINA_Fernanda-Morales_Anah%C3%AD-Torres-Pardo_Hormig%C3%B3n-Pretensado-y-Postesado.pdf)
- Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina (UOCRA). (2016). Manual de salud y seguridad en el trabajo Plantas de hormigón pretensado. <https://www.uocra.org/pdf/sst/manuales/SaludySeguridadPlantasdeHormigonPretensado.pdf>
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista educación*, 33(1), 155-165. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/educacion/article/download/538/589>
- Velasco, C. (2023). Calibración de Equipos en Laboratorios: Una guía completa para profesionales. Cercal Group. <https://cercal.cl/envinculo/calibracion-de-equipos/>
- Yang, H., Zhou, Z., & Ou, J. (2023). A novel smart steel strand based on optical-electrical co-sensing for full-process and full-scale monitoring of prestressing concrete structures. [Un nuevo cable de acero inteligente basado en detección óptica y eléctrica conjunta para el control completo del proceso y a gran escala de estructuras de hormigón pretensado]. *International Journal of Smart & Nano Materials*, 14(3), 337–368. <https://doi.tec.elogim.com/10.1080/19475411.2023.2237940>

Zelickman, Y., Amir, O. Layout optimization of post-tensioned cables in concrete slabs. [Optimización del trazado de cables postensados en losas de hormigón]. Struct Multidisc Optim 63, 1951–1974 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02790-2>

## VII. Apéndices

### Apéndice 1. Organigrama de Holcim Modular Solutions Costa Rica

#### Organigrama Modular Solutions

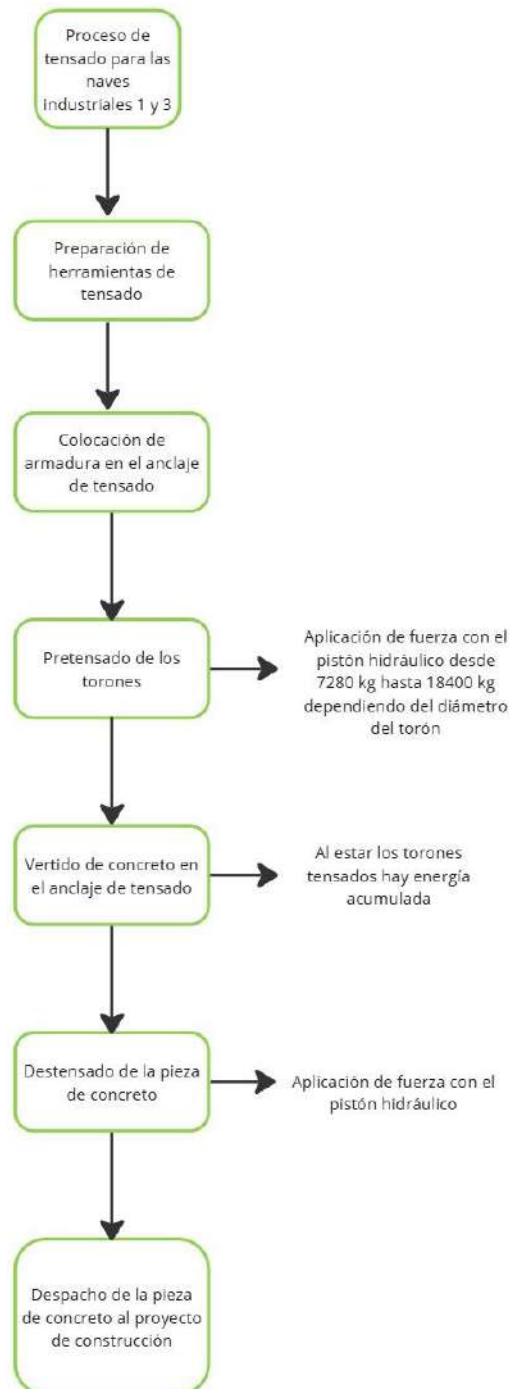


## Apéndice 2. Cantidad de colaboradores y jornada

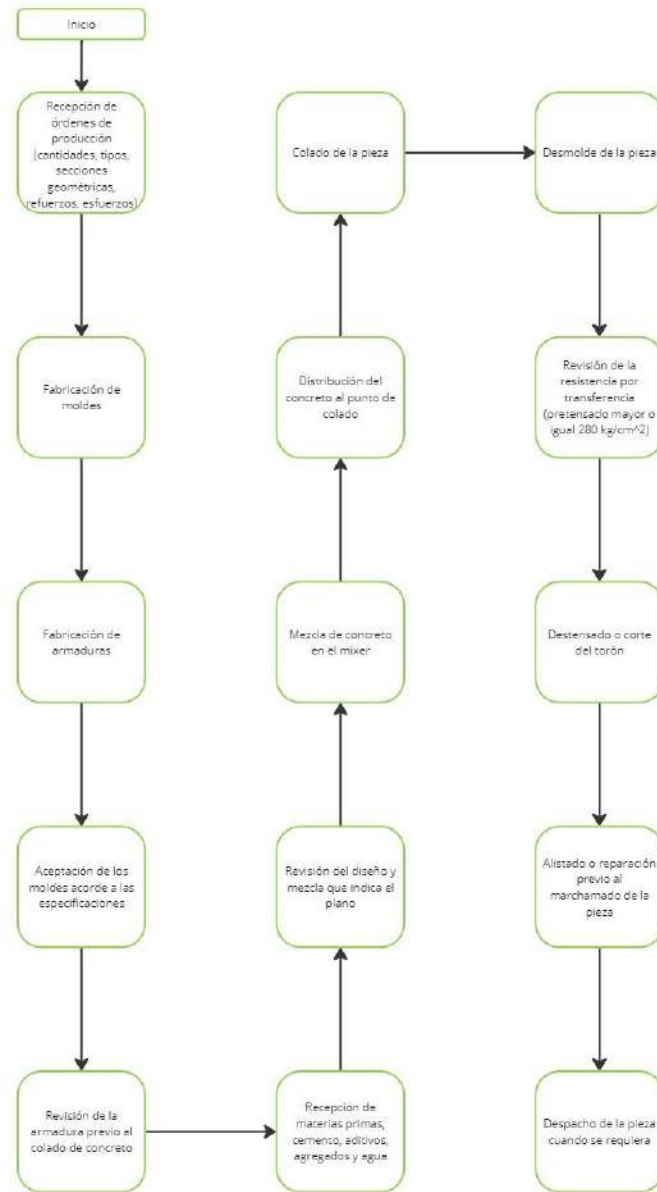
Área	Cantidad de colaboradores	Jornada
Abastecimiento	3	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Administración de la producción	7	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Ambiente	1	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Comercial industrial	7	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Comercial proyectos	3	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Construcción administración	3	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Construcción montaje	87	Lunes a Viernes: 6:00 a.m. – 3:30 p.m.
Contabilidad	3	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Control de costo	2	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Crédito y cobro	2	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Desarrollo humano	5	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Dibujo	13	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Facturación y despacho	15	Lunes a Viernes: 6:00 a.m. – 3:30 p.m.
Finanzas	2	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Gerencia General	1	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Gestión calidad	6	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.

Área	Cantidad de colaboradores	Jornada
Ingeniería	4	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Logística Alajuela	2	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Mantenimiento	9	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Presupuesto y control	4	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Producción	51	Lunes a Viernes: 6:00 a.m. – 3:30 p.m.
Salud y seguridad ocupacional	12	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Tecnología información	1	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
Tesorería	1	Lunes a Jueves: 7:00 a.m. – 5:00 p.m. Viernes: 7:00 am. – 3:00 p.m.
<b>Total</b>	<b>244</b>	

**Apéndice 3.** Proceso productivo de tensado de vigas de concreto en Holcim Modular Solutions Costa Rica



#### Apéndice 4. Proceso productivo de Holcim Modular Solutions Costa Rica



## Apéndice 5. Descripción y clasificación de accidentes

**Near miss** (incidente sin daño): tropezones

**FAI - First Aid Incident** (incidente que requiere primeros auxilios): pequeña herida que requiere una curita


**MI - Medical Incident** (incidente que requiere atención médica): herida que requiere sutura, dislocación de rodilla

**MWD - Modified Work Duty** (incidente con labores restringidas): reubicación del puesto de trabajo

**LTI - Lost Time Incident** (incidente que implica días de incapacidad): quemaduras que requiere 5 días de recuperación

**Fatality** (incidente fatal): muerte

**Apéndice 6.** Caracterización del entorno laboral con la coordinadora de salud y seguridad sobre las condiciones generales de los trabajadores expuestos a riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía

	<b>Caracterización del entorno laboral de los trabajadores expuestos a riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía</b>
Empresa:	
Aplicador por:	
Fecha de aplicación:	

**Datos generales:**

Nombre de la persona a la que se le aplica la encuesta:

Puesto en la empresa:

Fecha:

Número total de trabajadores:

Jornada laboral:

**Dimensiones y características de la nave industrial 1:**

Altura (m):

Ancho (m):

Largo (m):

**Condiciones generales de salud y seguridad en la nave 1:**

1. ¿Qué tipos de tareas se realizan en la nave industrial 1?
2. ¿Existen áreas de trabajo delimitadas y señalizadas para evitar el acceso a las zonas de mayor riesgo?
3. ¿Cómo describe el orden y limpieza de las áreas de trabajo de la nave industrial 1 considerando los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía?
4. ¿Los colaboradores utilizan el equipo de protección personal básico y específico para los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía?


5. ¿Se investigan los accidentes relacionados con riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía y son comentadas las oportunidades de mejora con los colaboradores?
- Sí se investigan y se realizan paros por enfoque con los colaboradores
  - Sí se investigan, pero no se comentan con los colaboradores
  - No se investigan los accidentes
6. ¿Con qué frecuencia se realizan inspecciones periódicas para identificar y corregir los riesgos de la nave industrial 1?
- Sí frecuentemente
  - Sí ocasionalmente
  - Nunca

**Riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía:**


7. ¿Los colaboradores conocen los riesgos asociados a las tareas realizadas en la nave industrial 1 y las medidas preventivas?
- Sí en su totalidad
  - Sí en su mayoría
  - No
8. ¿Existe señalización en buen estado y visible que alerte a los colaboradores sobre los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía presentes en la nave industrial 1?
- Sí es legible y accesible
  - Sí existe señalización, pero está deteriorada
  - No existe señalización
9. ¿Las mesas de tensado cuentan con protecciones para delimitar el acceso a la zona?
- Sí en todas las mesas de tensado
  - Sí en la mayoría de las mesas de tensado
  - Ninguna mesa de tensado cuenta con protecciones
10. ¿Qué tipo de resguardos o protecciones existen en las mesas de tensado y la zona en que se realizan las tareas de tensado?
11. ¿Existe un instructivo de trabajo seguro para las tareas de tensado?
- Sí existe y está actualizado y aprobado
  - Sí existe, pero no está actualizado
  - No hay un instructivo de trabajo para tareas de tensado

12. ¿Se tiene un registro de las inspecciones realizadas a las máquinas y herramientas de tensado previo a realizar las tareas?
- ( ) Sí se documentan todas las inspecciones
  - ( ) No se registran todas las inspecciones
  - ( ) No se realizan inspecciones previo a realizar tareas de tensado
13. ¿Qué medidas se han implementado para prevenir la proyección de torones durante el tensado?
14. ¿Considera que estas medidas son suficientes para prevenir el riesgo de la liberación descontrolada de energía y la proyección de torones?

**Apéndice 7.** Registro de protección a maquinaria y documentación de las medidas de seguridad en tensado

		<b>Registro de protección a maquinaria y medidas de seguridad en tensado</b>							
Fecha de aplicación:									
Realizado por:									
N° de mesa de tensado	Ubicación	¿Cuenta con resguardos?			Cantidad	¿Hay alguna otra protección a maquinaria?		¿Cuáles?	Otras medidas de seguridad en tensado
		Sí	No	NA		Sí	No		

**Apéndice 8.** Registros de calibración del dinamómetro de las máquinas de tensado

		<b>Registros de calibración del dinamómetro para verificar las máquinas de tensado</b>						
Fecha de aplicación:								
Realizado por:								
N° de serie de la máquina de tensado	N° de serie del dinamómetro	Marca del equipo	Unidades de presión	Rango de medición	Fecha de calibración	Fecha de la próxima calibración	Se cuenta con el certificado de calibración	
							Sí	No

**Apéndice 9.** Registros de verificación de los manómetros de las máquinas de tensado




**Registros de verificación mensual de los manómetros de las máquinas de tensado**

Fecha de aplicación:

Realizado por:

N° de serie de la máquina de tensado	N° de serie del dinamómetro	Marca del equipo	Unidades de presión	Lectura del dinamómetro (# divisiones)	Lectura de la máquina	Diferencia en la lectura de la máquina	Fecha de verificación	Condición		Verificación realizada por
								Apto	No apto	


**Apéndice 10.** Registros de tipos de capacitación, cantidad de horas y participantes

	<b>Registros de tipos de capacitación, cantidad de horas y participantes</b>						
Tema	Contenido	Modalidad		Duración (horas)	Fecha	Facilitador	Cantidad de participantes
		Virtual	Presencial				

## Apéndice 11. Formato verificación del estándar corporativo HSE-106 enfocado en la protección de máquinas


Revisión de Verificación de Controles Críticos		Q4			Plan de acción				
Propietario:	Criterio de Control	Fecha:	¿EN EL LUGAR?	Verificador (s):	¿EFECTIVO?	Comentarios/Evidencia	Acción	Responsable	Fecha
<b>A</b>	<b>Protección Física</b>	0,00%							
1	Registro de maquinaria, evaluación de peligros e inspección mensual al día								
2	Se definen y colocan protectores adecuados en los puntos de contacto de los transportadores de banda, transportadores de tornillo, cadenas de arrastre y elevadores de cangilones y empacadores de cemento								
3	Selección de materiales duraderos y de buena calidad para evitar el acceso a peligros o la expulsión de material								
4	Los protectores están diseñados e instalados para quitarse solo con el uso de una herramienta								
<b>B</b>	<b>Aislamiento de Energía</b>	0,00%							
1	SOP indica que las fuentes de energía deben aislarse, bloquearse, etiquetarse y probarse para "no tener energía"								
2	SOP identifica la energía almacenada para ser liberada o controlada								
3	Los registros de trabajos / tareas muestran que las fuentes de energía relevantes se controlaron correctamente								
<b>C</b>	<b>Paros de Emergencia</b>	0,00%							
1	Los paros de emergencia son fácilmente identificables con color rojo o la caja es amarilla								
2	Los paros de emergencia son fácilmente accesibles y se puede llegar fácilmente (estación del operador / otras ubicaciones)								
3	Un paro de emergencia activado requiere una acción intencional (liberación giratoria) para desengancharse y hacerlo no reinicia automáticamente la maquinaria								
4	El circuito de la función de paro de emergencia está cableado (o relay de seguridad aprobado); no logrado a través de la lógica de programación								
5	Los paros de emergencia tienen un registro de inspecciones / pruebas mensuales regulares								

**Apéndice 12.** Entrevista semiestructurada a la coordinadora de H&S

	<p><b>Entrevista semiestructurada</b></p>
<p>Aplicador por:</p>	
<p>Nombre de la persona a la que se le aplica la entrevista:</p>	
<p>Fecha de aplicación:</p>	
<p><b>Pregunta</b></p>	<p><b>Respuesta</b></p>
<p><b>Accidentes investigados</b></p>	
<p>1. ¿Cuántos accidentes se han investigado en la nave industrial 1?</p>	
<p>2. ¿Cuántos accidentes corresponden a riesgos mecánicos o liberación descontrolada de energía?</p>	
<p>3. ¿Se han comunicado a los colaboradores las oportunidades de mejora de los accidentes investigados?</p>	
<p><b>Mantenimientos preventivos realizados a los equipos</b></p>	
<p>4. ¿Existe un programa de mantenimiento para las máquinas y herramientas utilizadas en tensado como el pistón hidráulico, cuñas, empates, barriles?</p>	
<p>5. ¿Con qué periodicidad se realizan los mantenimientos preventivos?</p>	
<p><b>Cumplimiento de auditorías externas e internas en tensado</b></p>	
<p>6. ¿Cuántas auditorías internas y externas se realizan en tensado?</p>	
<p>7. ¿Cuáles han sido los principales hallazgos en esas auditorías en tensado?</p>	
<p><b>Capacitaciones impartidas</b></p>	
<p>8. ¿Se han brindado capacitaciones en temas de riesgos mecánicos y liberación</p>	

descontrolada de energía al personal expuesto en la nave 1? De ser afirmativo, ¿cuántas capacitaciones se han impartido?	
9. ¿Se han brindado capacitaciones relacionadas a la importancia de las medidas de seguridad en las tareas de tensado?	
10. ¿Existe un plan de capacitación que autorice al personal a participar o realizar tareas de tensado?	
<b>Presupuesto disponible para iniciativas de salud, seguridad y control de riesgos laborales</b>	
11. ¿Qué opina sobre la implementación de un programa para el control de los riesgos mecánicos y la liberación descontrolada de energía en el proceso de tensado de vigas de concreto en la nave industrial 1?	
12. ¿Existe un presupuesto para la implementación de este tipo de programa? De ser así, ¿de cuánto es ese presupuesto?	
13. En caso de no haber un presupuesto específico para este tipo de programa, ¿Cuál es el presupuesto disponible para iniciativas de salud, seguridad y control de riesgos?	
14. ¿Cuál es el tiempo que se le dedicaría al mes a las actividades incluidas en un programa como capacitaciones, identificación de peligros, evaluación de riesgos, seguimiento del programa?	
15. Si se implementara el programa, ¿Cuál es la cantidad de personal disponible?	

**Apéndice 13.** Entrevista semiestructurada a los colaboradores de proceso

		<b>Entrevista semiestructurada a los colaboradores de proceso</b>	
Aplicador por:			
Nombre de la persona a la que se le aplica la entrevista:			
Fecha de aplicación:			
<b>Pregunta</b>		<b>Respuesta</b>	
<b>Datos generales</b>			
1. ¿Cuál es el puesto que desempeña en la organización?			
2. ¿Cuánto tiempo tiene de realizar tareas de tensado en la organización?			
3. ¿Tenía experiencia previa en el tensado de concreto?			
<b>Proceso de tensado</b>			
4. ¿En cuáles mesas de tensado de la nave 1 realiza las tareas de tensado?			
5. ¿Cuáles tareas realiza en el proceso de tensado?			
6. ¿Con qué frecuencia realiza inspecciones o revisiones a la máquina de tensado previo a su operación?		<input type="checkbox"/> Siempre <input type="checkbox"/> Frecuentemente <input type="checkbox"/> Rara vez <input type="checkbox"/> Nunca	
7. ¿Con qué frecuencia realiza inspecciones o revisiones a las herramientas de tensado previo a las tareas de tensado?		<input type="checkbox"/> Siempre <input type="checkbox"/> Frecuentemente <input type="checkbox"/> Rara vez <input type="checkbox"/> Nunca	
8. ¿Sigue algún procedimiento de trabajo para las tareas de tensado?		<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

9 ¿Su supervisor está enterado cuando va se realizan tareas de tensado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
10. ¿Cómo comunica a los demás colaboradores de la nave 1 que se va a realizar tensado?	
11. ¿Qué medidas de seguridad toman para evitar que se dé la proyección de un torón durante el proceso de tensado?	
12. ¿Qué medidas de seguridad toman para evitar que se dé la proyección de un torón una vez que se haya tensado?	
<b>Riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía</b>	
13. ¿Sabe cuáles son los peligros del proceso de tensado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
14. ¿Conoce los riesgos mecánicos y de liberación descontrolada de energía presentes en la nave 1?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
15. Mencione los riesgos sobre los que tiene conocimiento.	
16. De las tareas del proceso de tensado, ¿Cuál cree es más riesgosa?	
17. ¿Ha sufrido algún incidente o accidente durante las tareas de tensado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
18. ¿Conoce a alguien que haya sufrido algún incidente o accidente durante las tareas de tensado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
19. ¿Cuál cree que fueron las causas de esos incidentes o accidentes?	
<b>Medidas de seguridad</b>	
21. ¿Sobre cuáles medidas de seguridad en las tareas de tensado tiene conocimiento?	
21. ¿Cuáles medidas de seguridad sigue en las tareas de tensado?	

22. ¿Qué tan efectivos consideran que son las medidas de seguridad actuales para prevenir accidentes durante el tensado?	<input type="checkbox"/> Muy efectivos <input type="checkbox"/> Bastante efectivos <input type="checkbox"/> No son efectivos
23. ¿Ha participado en la identificación de peligros y evaluación de riesgos?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<b>Capacitación</b>	
24. ¿Ha recibido capacitación sobre riesgos mecánicos y liberación descontrolada de energía?	
25. ¿Ha recibido capacitación para operar la máquina de tensado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
26. ¿Ha recibido capacitación para participar del proceso de tensado?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<b>Equipo de protección personal</b>	
27. ¿Cuál equipo de protección personal utiliza para realizar las tareas de tensado?	
28. ¿Cuál equipo de protección personal utiliza durante la operación de la máquina de tensado?	






**Apéndice 16.** Matriz multicriterio de evaluación de las alternativas de diseño

<b>Matriz multicriterio de evaluación de las alternativas de diseño</b>						
Alternativa	Salud y seguridad	Ambientales	Económicos	Socioculturales	Estándares	Puntuación total
1						
2						
3						



**Apéndice 18.** Plan de capacitación a los colaboradores que realizan tareas de tensado


	<b>Plan de capacitación en tensado</b>					
<b>Tema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Contenidos</b>	<b>Duración</b>	<b>Recursos</b>	<b>Participantes</b>	<b>Responsable</b>








**Apéndice 22.** Minuta de la reunión con el beneficiario para la verificación del cumplimiento de los requisitos y validación de la solución administrativa

	<b>Minuta de reunión: Verificación del cumplimiento de los requerimientos del beneficiario para validación de solución administrativa</b>		
Título del proyecto: Objetivo de la reunión: Fecha: Hora de inicio: Hora de finalización: Nombre de los participantes:			
N° Requerimiento	Descripción del requerimiento	Estado	
		Cumplido	No cumplido
Acuerdos:			

**Apéndice 23.** Matriz de aspectos de salud, seguridad, ambientales, económicos, culturales, sociales y de estándares para la solución propuesta

<b>Matriz multicriterio de evaluación de las alternativas de diseño</b>					
Alternativa	Salud y seguridad	Ambientales	Económicos	Socioculturales	Estándares
Ingenieril					
Administrativa					


## Apéndice 24. Resultados del Análisis de Modos de Fallo y Efectos


		Análisis de modo de fallos y efectos (AMFE)						
Tareas	Modo de fallo	Causas de fallo	Efectos de fallo	Controles actuales	Gravedad (1-10)	Probabilidad de ocurrencia (1-10)	Probabilidad de detección (1-10)	Índice de prioridad de riesgo
Preparación de los materiales	1. Procedimiento de preparación del torón	Giros del torón o enrollamientos sobre si mismo	Golpes o lesiones a los colaboradores	Desenrollar el torón entre 2 personas Cono en la canasta del torón Varilla central para evitar el enrollamiento	6	7	3	126
	2. Torones defectuosos	Torones no certificados con el estándar ASTM A416-2018 Desgastados, oxidados, defectos de fabricación Llenos de grasas	Rotura del torón, colapso estructural, pérdida de tensión	Las canastas que almacenan los torones enrollados tienen la etiqueta de certificación ASTM A416-2018 Los torones previamente a su uso son revisados visualmente por los colaboradores Ensayo de resistencia a la tensión de muestras de torones en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	9	3	2	54
	3. Cuñas, barriles y armadura en mal estado	Materiales desgastados Golpeados Incompletos Fisuras	Desprendimiento del torón, no hay soporte de las cuñas Fractura de la cuña	Las cuñas, barriles y armadura previamente a su uso son revisados visualmente por los colaboradores En caso de desprendimiento del torón los materiales utilizados son desechados	9	6	7	378
Posicionamiento de torones	4. Torones mal alineados o fuera de la posición	Errores en la colocación o hilado de los torones en las mesas de tensado	Distribución desigual de los torones Reventadura del torón Alteración en los cálculos de armadura	Previo a aplicar las fuerzas de tensado el operador de la máquina de tensado realiza una revisión general de la mesa de tensado	9	3	2	54
Unión de torones con empates	5. Error en el ensamble del torón y los empates	Barriles mal roscados al conector central, cuñas desalineadas, no haya comprobación de que el torón entró correctamente dentro del empate Ensamble por parte de personal no capacitado	Desprendimiento de los torones	Se marcan 10 cm al extremo del torón para verificar la longitud que entra al empate Los torones son utilizados máximo 10 veces La unión de torones deben ser del mismo tipo de giro y del mismo fabricante	10	6	8	480
Fijación de los torones	6. Torones mal sujetados	Errores en la instalación de accesorios o sujetos con cuñas y barriles que no están en buen estado		Se completa la lista de verificación para autorizar la pretensión	9	6	6	324
Aplicación de fuerzas de tensado con los pistones hidráulicos	7. Colocación de los pistones hidráulicos	Colocación incorrecta de los pistones Participación de personal no capacitado	Daños al torón, pistones o lesiones al personal Trabajo en la línea de fuego	Al momento de sujetar el pistón el encargado le indica al colaborador la posición en la que debe sujetar el pistón hidráulico	9	8	5	360
	8. Tensión insuficiente o excesiva	Errores en el cálculo de tensión, uso de máquina sin verificar, interpretación incorrecta de los manómetros	Desprendimiento de los torones, colapso del molde de tensado	Calibración anual del dinamómetro para realizar las verificaciones mensuales de la máquina de tensado	9	4	2	72
	9. Secuencia de tensado	No seguir una secuencia al aplicar las fuerzas de tensado de manera que sea equilibradas las cargas	Colapso del molde de tensado	Alternar o equilibrar la aplicación de las fuerzas de tensado basado en la experiencia del operador	9	7	7	441
	10. Liberación brusca del torón	Mal funcionamiento del pistón hidráulico Mal instalación del torón Deterioro de los anclajes del torón Falta de inspección previa al pretensado	Golpes, incrustamientos, proyecciones, lesiones al personal Daños a la estructura	Colocar tubos con cadenas en los extremos de las mesas de tensado en los torones Mamparas de metal y madera en los extremos de las mesas de tensado	10	9	9	810
	11. Falta de delimitación del área y señalización	Falta de barreras físicas y señalización	Exposición de los colaboradores Mayor probabilidad de accidentes Acceso no autorizado a la zona de riesgo	Colocación de conos y designar 1 monitor en los extremos de las mesas de tensado para asegurar que ninguna persona ingrese	10	9	8	720


**Análisis de modo de fallos y efectos (AMFE)**


Tareas	Modo de fallo	Causas de fallo	Efectos de fallo	Controles actuales	Gravedad (1-10)	Probabilidad de ocurrencia (1-10)	Probabilidad de detección (1-10)	Índice de prioridad de riesgo
Monitoreo de elongación de los torones	12. Error en la medición en campo o en los cálculos de tolerancia dados por ingeniería	Medición incorrecta, uso de equipos no calibrados ni verificados	Tensado desigual Fisura o quebradura de las piezas de concreto	El torón se marca para realizar la medición posterior al tensado y comparar con los rangos esperados dados por ingeniería	8	7	4	224
Chorrea de la pieza con concreto	13. Ruptura del gancho o de los puntos de anclaje	Falta de inspecciones y mantenimiento preventivo del equipo de izaje y de la canasta	Golpes o lesiones a los colaboradores Daño a la propiedad	Mantenimiento preventivo	8	4	5	160
	14. Cargas suspendidas	Línea de fuego, personal trabajando alrededor de la carga suspendida		Uso de silbatos para que el personal se aleje del área en la que se está realizando el izaje	9	8	9	648
	15. Sobrecarga de concreto	Exceder la capacidad de carga del equipo de izaje o de la canasta		Las canastas son fabricados y se realizó el cálculo de la capacidad máximo que son 4 m³ y se restringe a 3.5 m³ por la capacidad de la grúa	7	3	3	63
	16. Operación inadecuada de la grúa (velocidad, comunicación)	Operación de la grúa por parte de personal no capacitado		Dificultad para controlar la carga Daños al equipo o la propiedad	Se utiliza un silbato para alertar al personal que se está movilizand la canasta que contiene el concreto con la grúa Los operadores nuevos son acompañados de un operador con experiencia	9	8	7
Destensado	17. Cálculos incorrectos de las fuerzas de destensado	Aplicación de fuerza insuficiente o excesiva	Fallo o daño estructural	Calibración anual del dinamómetro para realizar las verificaciones mensuales de la máquina de tensado Datos de configuración, fuerzas y presiones son dados por el coordinador de producción	9	4	5	180
	18. Colocación de los pistones hidráulicos en destensado	Colocación incorrecta de los pistones	Daños al torón o lesiones al personal Trabajo en la línea de fuego	Al momento de sujetar el pistón el encargado le indica al colaborador la manera en la que debe hacerlo	9	8	5	360
	19. Secuencia de destensado inadecuada	No seguir una secuencia equilibrada al aplicar las fuerzas con el pistón hidráulico	Colapso del molde de tensado Fisuras en la pieza de concreto	Alternar o equilibrar la aplicación de las fuerzas de tensado basado en la experiencia del operador	9	7	7	441
	20. Liberación brusca del torón en destensado	Mal funcionamiento del pistón hidráulico Mal instalación del torón Deterioro de los anclajes del torón Falta de inspección previa al destensado	Golpes, incrustamientos, proyecciones, lesiones al personal Daños a la estructura	Realizar el destensado bajo supervisión de Carlos Quirós	10	9	9	810
	21. Falta de delimitación del área y señalización	Falta de barreras físicas y señalización	Exposición de los colaboradores Mayor probabilidad de accidentes Acceso no autorizado a la zona de riesgo	Colocación de conos y designar 1 o 2 monitores en los extremos de las mesas de tensado para asegurar que ninguna persona ingrese	10	9	8	720

## Apéndice 25. Aplicación del Análisis de Modo de Fallos y Efectos para la validación de la solución ingenieril

		Análisis de modo de fallos y efectos (AMFE)								
Tareas	Modo de fallo	Causas de fallo	Efectos de fallo	Controles actuales	Índice de prioridad de riesgo	Controles propuestos	Gravedad (1-10)	Probabilidad de ocurrencia (1-10)	Probabilidad de detección (1-10)	Índice de prioridad de riesgo
Preparación de los materiales	1. Procedimiento de preparación del torón	Giros del torón o enrollamientos sobre si mismo	Golpes o lesiones a los colaboradores	Desenrollar el torón entre 2 personas Cono en la canasta del torón Varilla central para evitar el enrollamiento	126	Instructivos de trabajo seguro en tensado Plan capacitación	6	4	2	48
	2. Torones defectuosos	Torones no certificados con el estándar ASTM A416-2018 Desgastados, oxidados, defectos de fabricación Llenos de grasas	Rotura del torón, colapso estructural, pérdida de tensión	Las canastas que almacenan los torones enrollados tienen la etiqueta de certificación ASTM A416-2018 Los torones previamente a su uso son revisados visualmente por los colaboradores Ensayo de resistencia a la tensión de muestras de torones en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	54	Formato de revisión de los materiales de tensado Plan capacitación Sistemas de retención	8	1	1	8
	3. Cuñas, barriles y armadura en mal estado	Materiales desgastados Golpeados Incompletos Fisuras	Desprendimiento del torón, no hay soporte de las cuñas Fractura de la cuña	Las cuñas, barriles y armadura previamente a su uso son revisados visualmente por los colaboradores En caso de desprendimiento del torón los materiales utilizados son desechados	378	Formato de revisión de los materiales de tensado Plan capacitación	7	2	2	28
Posicionamiento de torones	4. Torones mal alineados o fuera de la posición	Errores en la colocación o hilado de los torones en las mesas de tensado	Distribución desigual de los torones Reventadura del torón Alteración en los cálculos de armadura	Previo a aplicar las fuerzas de tensado el operador de la máquina de tensado realiza una revisión general de la mesa de tensado	54	Instructivos de trabajo seguro en tensado Formato de lista de verificación para autorizar el tensado Plan capacitación	7	2	1	14
Unión de torones con empates	5. Error en el ensamble del torón y los empates	Barriles mal roscados al conector central, cuñas desalineadas, no haya comprobación de que el torón entró correctamente dentro del empate Ensamble por parte de personal no capacitado	Desprendimiento de los torones	Se marcan 10 cm al extremo del torón para verificar la longitud que entra al empate Los torones son utilizados máximo 10 veces La unión de torones deben ser del mismo tipo de giro y del mismo fabricante	480	Instructivos de trabajo seguro en tensado Formato de lista de verificación para autorizar el tensado Plan capacitación	7	2	2	28
Fijación de los torones	6. Torones mal sujetos	Errores en la instalación de accesorios o sujetos con cuñas y barriles que no están en buen estado		Se hace una verificación visual previa a la pretensión	324	Instructivos de trabajo seguro en tensado Formato de lista de verificación para autorizar el tensado Plan capacitación	7	2	1	14

		Análisis de modo de fallos y efectos (AMFE)								
Tareas	Modo de fallo	Causas de fallo	Efectos de fallo	Controles actuales	Índice de prioridad de riesgo	Controles propuestos	Gravedad (1-10)	Probabilidad de ocurrencia (1-10)	Probabilidad de detección (1-10)	Índice de prioridad de riesgo
Aplicación de fuerzas de tensado con los pistones hidráulicos	7. Colocación de los pistones hidráulicos	Colocación incorrecta de los pistones Participación de personal no capacitado	Daños al torón, pistones o lesiones al personal Trabajo en la línea de fuego	Al momento de sujetar el pistón el encargado le indica al colaborador la posición en la que debe sujetar el pistón hidráulico	360	Instructivos de trabajo seguro en tensado Formato de lista de verificación para autorizar el tensado Plan capacitación	9	2	2	36
	8. Tensión insuficiente o excesiva	Errores en el cálculo de tensión, uso de máquina sin verificar, interpretación incorrecta de los manómetros	Desprendimiento de los torones, colapso del molde de tensado	Calibración anual del dinamómetro para realizar las verificaciones mensuales de la máquina de tensado	72	Orden de producción para tensado Formato de lista de verificación para autorizar el tensado Formato de registro de mantenimientos realizados a la máquina de tensado y pistones hidráulicos Plan capacitación	8	2	2	32
	9. Secuencia de tensado	No seguir una secuencia al aplicar las fuerzas de tensado de manera que sea equilibradas las cargas	Colapso del molde de tensado	Alternar o equilibrar la aplicación de las fuerzas de tensado basado en la experiencia del operador	441	Orden de producción para tensado Instructivos de trabajo seguro en tensado Plan capacitación	9	1	1	9
	10. Liberación brusca del torón en el pretensado	Mal funcionamiento del pistón hidráulico Mal instalación del torón Deterioro de los anclajes del torón Falta de inspección previa al pretensado	Golpes, incrustamientos, proyecciones, lesiones al personal Daños a la estructura	Colocar tubos con cadenas en los extremos de las mesas de tensado en los torones Mamparas de metal y madera en los extremos de las mesas de tensado	810	Formato de registro de mantenimientos realizados a la máquina de tensado y pistones hidráulicos Instructivos de trabajo seguro en tensado Formato de revisión de los materiales de tensado Formato de lista de verificación para autorizar el tensado Plan capacitación	7	2	1	14
	11. Falta de delimitación del área y señalización en el pretensado	Falta de barreras físicas y señalización	Exposición de los colaboradores Mayor probabilidad de accidentes Acceso no autorizado a la zona de riesgo	Colocación de conos y designar 1 monitor en los extremos de las mesas de tensado para asegurar que ninguna persona ingrese	720	Jaulas de protección para los operadores que aplican fuerzas de tensado y mamparas en los extremos de las mesas de tensado Torres de señalización industrial con indicador sonoro Sistemas de retención Plan capacitación	4	1	1	4
Monitoreo de elongación de los torones	12. Error en la medición en campo o en los cálculos de tolerancia dados por ingeniería	Medición incorrecta, uso de equipos no calibrados ni verificados	Tensado desigual Fisura o quebradura de las piezas de concreto	El torón se marca para realizar la medición posterior al tensado y comparar con los rangos esperados dados por ingeniería	224	Orden de producción para tensado Instructivos de trabajo seguro en tensado Plan capacitación	8	1	1	8

 <b>HOLCIM</b> Mobile Solutions		<b>Análisis de modo de fallos y efectos (AMFE)</b>								
Tareas	Modo de fallo	Causas de fallo	Efectos de fallo	Controles actuales	Índice de prioridad de riesgo	Controles propuestos	Gravedad (1-10)	Probabilidad de ocurrencia (1-10)	Probabilidad de detección (1-10)	Índice de prioridad de riesgo
Chorrea de la pieza con concreto	13. Ruptura del gancho o de los puntos de anclaje	Falta de inspecciones y mantenimiento preventivo del equipo de izaje y de la canasta	Golpes o lesiones a los colaboradores Daño a la propiedad	Mantenimiento preventivo	160	Inspecciones al equipo de izaje y canasta. Uso de silbatos para alertar al personal que se está movilizand la grúa con la canasta que contiene el concreto. Respetar la capacidad de la canasta y del equipo de izaje. Plan capacitación	8	4	2	64
	14. Cargas suspendidas	Línea de fuego, personal trabajando alrededor de la carga suspendida		Uso de silbatos para que el personal se aleje del área en la que se está realizando el izaje	648	Un palettero guía al operador de la grúa para movilizar la canasta. La grúa solamente es operada por personal autorizado. Uso de silbatos para alertar al personal que se está movilizand la grúa con la canasta que contiene el concreto. Plan capacitación	9	4	2	72
	15. Sobrecarga de concreto	Exceder la capacidad de carga del equipo de izaje o de la canasta		Las canastas son fabricados y se realizó el cálculo de la capacidad máximo que son 4 m <sup>3</sup> y se restringe a 3.5 m <sup>3</sup> por la capacidad de la grúa	63	La grúa solamente es operada por personal autorizado. Inspecciones al equipo de izaje y canasta. Respetar la capacidad de la canasta y del equipo de izaje. Plan capacitación	7	2	2	28
	16. Operación inadecuada de la grúa (velocidad, comunicación)	Operación de la grúa por parte de personal no capacitado	Dificultad para controlar la carga Daños al equipo o la propiedad	Se utiliza un silbato par aalertar al personal que se está movilizand la canasta que contiene el concreto con la grúa  Los operadores nuevos son acompañados de un operador con experiencia	504	Un palettero guía al operador de la grúa para movilizar la canasta. La grúa solamente es operada por personal autorizado. Uso de silbatos para alertar al personal que se está movilizand la grúa con la canasta que contiene el concreto.	9	2	2	36

 <b>HOLCIM</b> Wastewater Solutions		<b>Análisis de modo de fallos y efectos (AMFE)</b>								
Tareas	Modo de fallo	Causas de fallo	Efectos de fallo	Controles actuales	Índice de prioridad de riesgo	Controles propuestos	Gravedad (1-10)	Probabilidad de ocurrencia (1-10)	Probabilidad de detección (1-10)	Índice de prioridad de riesgo
Destensado	17. Cálculos incorrectos de las fuerzas de destensado	Aplicación de fuerza insuficiente o excesiva	Fallo o daño estructural	Calibración anual del dinamómetro para realizar las verificaciones mensuales de la máquina de tensado Datos de configuración, fuerzas y presiones son dados por el coordinador de producción	180	Orden de producción para tensado Formato de registro de mantenimientos realizados a la máquina de tensado y pistones hidráulicos Plan capacitación	8	2	2	32
	18. Colocación de los pistones hidráulicos en destensado	Colocación incorrecta de los pistones	Daños al torón o lesiones al personal Trabajo en la línea de fuego	Al momento de sujetar el pistón el encargado le indica al colaborador la manera en la que debe hacerlo	360	Instructivos de trabajo seguro en tensado Plan capacitación	9	2	2	36
	19. Secuencia de destensado inadecuada	No seguir una secuencia equilibrada al aplicar las fuerzas con el pistón hidráulico	Colapso del molde de tensado Fisuras en la pieza de concreto	Alternar o equilibrar la aplicación de las fuerzas de tensado basado en la experiencia del operador	441	Orden de producción para tensado Instructivos de trabajo seguro en tensado Plan capacitación	9	1	1	9
	20. Liberación brusca del torón en destensado	Mal funcionamiento del pistón hidráulico Mal instalación del torón Deterioro de los anclajes del torón Falta de inspección previa al destensado	Golpes, incrustamientos, proyecciones, lesiones al personal Daños a la estructura	Realizar el destensado bajo supervisión de Carlos Quirós	810	Formato de registro de mantenimientos realizados a la máquina de tensado y pistones hidráulicos Instructivos de trabajo seguro en tensado Formato de revisión de los materiales de tensado Formato de lista de verificación para autorizar el tensado Plan capacitación	7	2	1	14
	21. Falta de delimitación del área y señalización en el destensado	Falta de barreras físicas y señalización	Exposición de los colaboradores Mayor probabilidad de accidentes Acceso no autorizado a la zona de riesgo	Colocación de conos y designar 1 o 2 monitores en los extremos de las mesas de tensado para asegurar que ninguna persona ingrese	720	Jaulas de protección para los operadores que aplican fuerzas de tensado y mamparas en los extremos de las mesas de tensado Torres de señalización industrial con indicador sonoro Sistemas de retención Plan capacitación	4	1	1	4