

DISPOSITIVO PARA PREVENCIÓN DE ACCIDENTE FATAL POR IMPACTO EQUIPO PERSONA

Jorge Andrés Pérez Fuentes

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Computación
Universidad Católica del Norte
Adv. Angamos 0610, Antofagasta, Chile
jperezfuentes002@gmail.com

Javier Antonio Malebrán Diamond

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Computación
Universidad Católica del Norte
Avd. Angamos 0610, Antofagasta, Chile
javiermalebran@gmail.com

Nahur Manuel Meléndez Araya

Depto. Ingeniería Informática y Cs. de la Computación.
Universidad de Atacama
Avda. Copayapu 485, Copiapó, Chile
nahur.melendez@uda.cl

José Alberto Gallardo Arancibia

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Computación
Universidad Católica del Norte
Avd. Angamos 0610, Antofagasta, Chile
jgallardo@ucn.cl

Abstract— *La innovación tecnológica avanza a pasos agigantados y nos asombra minuto a minuto. Las empresas de la gran minería hacen grandes esfuerzos por mantener los mejores procedimientos y técnicas para la prevención del riesgo y cuentan con avanzadas tecnologías para estos efectos; sin embargo, vemos también que en otras mineras aún no disponen de estos avances tecnológicos, pero hacen sus mejores esfuerzos para prevenir el riesgo. Pese a los esfuerzos desplegados, se ha visto la ocurrencia de accidentes por alcance, en la relación Equipo-Persona, con importantes pérdidas materiales como también, en algunos casos, hasta pérdidas humanas. Hechos que han sido recurrentes en el transcurso de los años en operaciones mineras. El dispositivo desarrollado está orientado a los procesos en donde la interacción Equipo-Persona se haga presente, de tal manera que tanto un vehículo menor como un trabajador tengan la seguridad de poder ser detectados por un vehículo de alto tonelaje y así evitar el accidente por alcance.*

Palabras Clave: *TICAR, Automatización, Prevención Accidente Fatal, Impacto Equipo Persona, Innovación Tecnológica, Minería Autónoma.*

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años se ha tenido en consideración la seguridad de los trabajadores, no importa el lugar que sea, una vida humana prevalecerá sobre un equipo de bajo o alto costo [1], es por ello que en toda organización cuando se habla de seguridad siempre se le tomará muy en serio, medidas de seguridad, módulos, normativas, por nombrar algunas [2]. Se busca mejorar la seguridad del trabajador, lo que conlleva a rigurosas investigaciones en el mismo terreno en donde se trabaja, buscando los problemas o posibles riesgos que pudiesen surgir [3], pero a la hora de comparar, en toda empresa esos problemas suelen ser similares, es por ello que este artículo va dirigido a la seguridad del trabajador sin importar en dónde se esté trabajando, sin embargo se da mayor énfasis al ambiente minero.

Las empresas siempre buscan mejorar la seguridad [1], es por ello que dentro de sus investigaciones se pueden encontrar estadísticas de todos los accidentes que hayan

ocurrido y son las probabilidades las que se manejan para tener una idea de cuándo podría ocurrir algún accidente fatal, es así como se hace lo que está al alcance para que esa probabilidad sea cada vez más ínfima [4], a tal punto que el accidente fatal sea visto de una manera poco probable. Todo trabajador es informado de las normas de seguridad antes de ingresar a una minera, es por ello que existen módulos de seguridad dirigidos por prevenicionistas para evitar que ocurran acciones inapropiadas generando como resultado algún accidente [2, 5]. Dentro de estos módulos de prevención se les menciona constantemente que los accidentes ocurren en mayor parte por no respetar las normas.

En el mundo laboral en el que trabajadores tienen interacción con equipos de alto tonelaje, la seguridad es vista con números y es que cada empresa tiene sus propios indicadores que representan entre ellas, accidentes durante el año, personas heridas, incluso estadísticas que pueden dar una idea de cuándo podría surgir un accidente fatal [6, 7].

En este artículo se presenta un dispositivo capaz de advertir la cercanía de un trabajador dentro del radio de trabajo de una maquinaria pesada, esta entrega anticipada al operador, dará como resultado la reacción oportuna para evitar algún tipo accidente. Cabe destacar que el dispositivo desarrollado, es adaptable a cualquier ambiente laboral en donde exista la interacción entre Equipo-Persona.

II. ANTECEDENTES PRELIMINARES

En toda faena, el uso de implementos para asegurar el bienestar de todo trabajador es fundamental, como es el caso del casco, indumentaria obligatoria según como está formado y legislado en [4].

Si bien en el mercado actual, vehículos con dispositivos de proximidad ya son utilizados, dentro del área industrial donde existe la interacción Equipo-Persona, son pocos los dispositivos que satisfacen el objetivo de prevenir la proximidad de los trabajadores con equipos de alto tonelaje [5].

El área donde más se percibe este tipo de riesgos es en mineras, donde grandes equipos interactúan con vehículos pequeños y con trabajadores, sin embargo como toda problemática éstas han sido atenuadas con el tiempo y han tenido normas que hasta la fecha, aunque no han logrado erradicar el problema, han sido exitosas reduciendo la tasa de accidentabilidad [4, 6, 7]. La Tabla I muestra los indicadores de los distintos tipos de accidentes recurrentes en la minería, destaca que para el período entre los años 1995 y 2002, dentro de los clasificados como mortales, los accidentes por alcance obtienen el 2° lugar, (atropellos o golpes con vehículos con resultado fatal) [8]. Si bien estas cifras han disminuido con el tiempo, bajando a un 3° lugar el año 2006 (19%) [4], sigue siendo un motivo de preocupación, y es necesario complementar los ya existentes métodos de prevención para evitar los accidentes por alcance.

TABLE I. FORMAS DE PRODUCIRSE LOS ACCIDENTES LEVES, GRAVES Y MORTALES TOTAL MINERÍA (1995-2002) [8]

TIPO DE ACCIDENTES	Leves	Graves	Mortales
Caída de personas a distinto nivel. (caídas por talud)	4,4	19,0	3,6
Caída de personas al mismo nivel	8,7	7,4	0,9
Caída de objetos por desplome o derrumbamiento (rocas)	18,2	11,1	30,4
Caída de objetos en manipulación	10,8	8,7	0,0
Caída de objetos desprendidos	6,1	2,1	0,9
Pisadas sobre objetos	1,2	0,8	0,0
Choque contra objetos inmóviles	3,5	1,3	0,0
Choque contra objetos móviles	2,5	2,4	0,0
Golpes, cortes y erosiones producidas por objetos y herramientas	31,9	14,5	0,9
Proyección de fragmentos o partículas	1,0	0,5	0,9
Atrapamiento por y entre objetos	7,6	19,8	15,2
Atrapamiento por vuelco o caída de maquinarias o vehículos	0,6	4,5	9,8
Sobreesfuerzos	1,9	0,3	0,9
Explosiones	0,0	1,1	13,4
Atropellos o golpes con vehículos	1,6	6,6	23,2

Mencionar mejoras dentro de la seguridad en una minera podrían haber bastantes, para ello cada empresa tiene sus normas generales e internas. En el tema que se está abordando sobre la precaución de maquinaria sobre trabajadores o vehículos, la poca visibilidad que el conductor de un equipo de alto tonelaje tiene sobre su radio cercano de trabajo, provocó hace unos años atrás muchos accidentes por no visualizar vehículos en corta distancia, produciendo pérdidas materiales, demoras por paro de actividades en esa maquinaria, incluso pérdidas fatales. En base a lo anterior, debido a las investigaciones realizadas, se llega a la solución de exigir como implemento en cada vehículo (camioneta de empresa por ejemplo) el uso de pértiga con bandera roja (20x30) y luz intermitente en su extremo superior, con una altura mínima de 3 mts. desde el piso [7].

En la Tabla 2 se observan los indicadores de accidentes fatales en minería entre los años 2010-2011. En el Período Enero - Diciembre 2010, de 45 trabajadores fallecidos, el 80% se concentra en las regiones de Coquimbo, Atacama, y Antofagasta, debido a la gran cantidad de yacimientos que se

concentran en las denominadas zonas mineras [6]. Por su parte en el año 2011 de 29 trabajadores fallecidos, el 55,17% se concentra en las regiones de Valparaíso, Atacama, y Antofagasta [7].

TABLE II. DISTRIBUCIÓN DE TRABAJADORES FALLECIDOS SEGÚN REGIÓN AÑOS 2010 2011 [6, 7]

REGIÓN	2010s	2011
Los Ríos	0,0%	0,0%
Metropolitana	2,2%	6,9%
Magallanes	0,0%	6,9%
Aysén	0,0%	0,0%
Los Lagos	0,0%	0,0%
Araucanía	2,2%	0,0%
Bio Bio	0,0%	10,3%
Maule	2,2%	3,4%
Lib.B. O'Higgins	2,2%	3,4%
Valparaíso	8,9%	17,2%
Coquimbo	26,7%	10,3%
Atacama	28,9%	24,1%
Antofagasta	24,4%	13,8%
Tarapacá	0,0%	3,4%
Arica-Parinacota.	2,2%	0,0%

Sin embargo como se evidencia en la Figura 1 el porcentaje de accidentes durante el transcurso de los años (1980 - 2011) va en disminución [4]. Esto se debe a que la seguridad durante esos años fue mejorando, de tal manera que un accidente sucedido en esos días, fuera con el tiempo más improbable con el paso de los años. Cabe destacar que toda la seguridad que se ha implementado en relación al tiempo, va de la mano con la tecnología que en esos años iba surgiendo, es por ello que hoy en día, en la gran minería, cuando se habla de seguridad, podemos encontrarnos tecnologías de punta, capaz de realizar procesos y detectar a tiempo anomalías, que años atrás otras tecnologías no podían realizar.

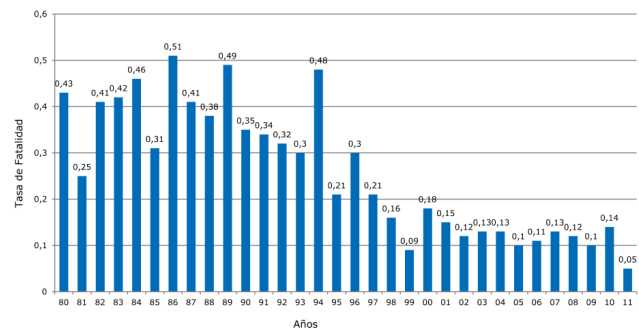


Figure 1. Tasa de Fatalidad Período 1980 - 2011 [4].

Es por ello que a continuación se explicara en detalle los sistemas actuales que se pueden encontrar dentro de la gran minería, se mencionaran sus beneficios como también sus deficiencias.

III. SISTEMAS DE SEGURIDAD

Para adentrarse a los sistemas de seguridad, primero hay que conocer los procesos actuales que este artículo hace

referencia para poder explicar de una mejor manera la interacción Equipo-Persona.

El proceso actual que involucra el término Equipo-Persona, dentro de las aéreas laborales más comunes, se encuentran las siguientes acciones:

- Ingreso de cuadrillas para reparar camiones de alto tonelaje que se encuentran varados dentro del área laboral.
- Transporte de personal por caminos de la empresa.
- Tránsito de vehículos livianos (camionetas) dentro del área laboral.
- Tránsito de personas que circulen por áreas laborales con afluencia de camiones de mediano o alto tonelaje.
- Realización de tareas frecuentes entre más de un vehículo de alto tonelaje.

Todas estas situaciones y algunas más, son frecuentes dentro de una empresa en la cual se manejen vehículos de alto y mediano tonelaje. Y son en estas situaciones donde los accidentes ocurren con cierta frecuencia, de las cuales en su mayoría suceden por no ejercer un comportamiento de manejo defensivo. Sin embargo, dentro de los procesos actuales, existen medidas ya implementadas que permiten una reducción en la tasa de accidentabilidad, que fueron previstas por situaciones anteriores y que su resultado final fue la instauración de estas medidas [5].

A. *Sistemas Actuales y Beneficios*

Al hacer una recopilación de los sistemas de seguridad que se realizan en la gran minería, se puede inferir que existe una estándar en cuanto a estos sistemas, pudiendo ser catalogados como sigue:

- **Control Visual y Acústico:** El control visual es realizado por una persona, que tiene el deber de guiar en ciertas maniobras al operador del vehículo de alto tonelaje, quien no podría realizarlas por sus propios medios y sin ayuda, debido a que necesita ser guiado con la visión desde otro ángulo para realizar de manera más exacta la maniobra que a ejercer. De este proceso se obtienen los siguientes logros como medida:
 - *Reconocimiento de voz y sonidos.*
 - *Control y reconocimiento visual.*
- **Sistema de Espejos Convexos:** Este sistema surge debido a que los espejos laterales no entregan una visión amplia del movimiento trasero del vehículo. El uso complementario de los espejos convexos otorga un radio mucho más extenso, dando así una visión mas clara y completa de los movimientos y obstáculos que pudiesen surgir en la sección trasera. Por su bajo costo, su implementación en todos los vehículos fue inmediata. De este proceso se obtienen los siguientes logros como medida:
 - *Control de ángulos muertos.*
 - *Sistema económico.*
- **Circuito Cerrado de TV:** Los operadores poseen una pantalla dentro de sus vehículos que les permiten visualizar de manera clara lo que sucede en

la sección trasera del vehículo, permitiéndoles hacer movimientos en reversa de manera segura, y visualizar el acercamiento de vehículos o trabajadores. Por lo anterior, el operador debe estar prestando atención continua al monitor, manteniéndose alerta frente a cualquier eventualidad emergente. De este método se destaca principalmente el siguiente logro:

- *Buena visualización en parte trasera de la máquina.*
- **Sonar de Presencia:** Los vehículos poseen un sonar, el cual imitando la acción que realizan los sonares en los barcos pesqueros, efectúan la misma labor pero de una manera horizontal, buscando objetos sólidos, los cuales al ser detectados se emite una alerta hacia el operador, de esta manera las acciones que se realicen después de ese instante, consideren dicha presencia, enfatizando la seguridad y control de la operación. El operador solo recibirá la alerta, cuando el sonar encuentre un objeto solido, por lo tanto la atención hacia el sonar es relativa a las circunstancias. Por lo que este tipo de dispositivo se destaca por:
 - *Alertar únicamente en caso de Emergencia.*

B. *Sistemas Actuales y Desventajas*

Estos sistemas que funcionan de manera correcta en ambientes controlados y con un clima que permita el trabajo de los equipos de una manera optima, sin embargo, en ciertas ocasiones estas condiciones cambian, provocando deficiencias en los sistemas actuales, repercutiendo así de manera desfavorable en los procesos de una faena minera.

- **Control Visual y Acústico:** El señalero como se le conoce en algunas empresas, es el encargado de ayudar en algunas maniobras al operador, sin embargo este trabajador, así como su labor, pueden ser perjudicados por ambientes hostiles como lluvia, poca visibilidad bajo circunstancias de neblina, polvadera, oscuridad, elevado ruido en el ambiente que perturbe la comunicación oral, entre otros. Además, cabe la posibilidad, que en dichas circunstancias no pueda ser visto por el operador ocasionando un accidente con consecuencias fatales. En base a lo anterior, el método presenta los siguientes inconvenientes:
 - *Alta probabilidad de error.*
 - *Inviabile en algunas maniobras.*
 - *Poca eficacia en determinadas condiciones (lluvia, niebla, ruido elevado...).*
- **Sistema de Espejos Convexos:** Este sistema si bien otorga un rango de visión amplio en la sección trasera, este posee un punto ciego en la parte posterior conjunta al vehículo, el cual el espejo no puede visualizar, generando en ciertos casos incertidumbre y dudas sobre el verdadero propósito que tiene este sistema. Además en ciertos ambientes como en lluvia o polvadera, estos espejos deben ser

limpiados constantemente, ya que de no ser así, ven mermada considerablemente su desempeño al disminuir su nivel de visión óptimo. Puntualmente, se pueden encontrar los siguientes inconvenientes:

- *No proporcionan visibilidad en parte trasera de la máquina.*
- *Requiere una atención continuada.*
- *Necesita mantenimiento y limpieza diaria.*
- *Poca eficacia en determinadas condiciones (lluvia, niebla...).*
- **Circuito Cerrado TV:** los monitores, así como las cámaras, están posicionados en lugares donde el operador necesite tener una visual clara, pero quitan parte de la concentración que éste necesita para afrontar sus labores cotidianas, provocando en ciertos casos accidentes de alcance desde otras secciones del vehículo. Además de ser dependiente del buen clima y de una limpieza continúa. En base a lo anterior, el método presenta los siguientes inconvenientes:
 - *No proporcionan visibilidad en laterales de la máquina.*
 - *Requiere una atención continuada.*
 - *Necesita una buena colocación, así como mantenimiento y limpieza diaria.*
 - *Poca eficacia en determinadas condiciones (lluvia, niebla...).*
- **Sonar de Presencia:** Este sistema que es capaz de detectar objetos en su línea de dirección, posee el inconveniente de no poder distinguir entre una persona o un objeto sólido. Lo anterior, conlleva a que transcurrido un tiempo de uso, el sistema pueda llegar a ser un distractor más, pudiendo llegar al punto de ser ignorado como sistema de precaución por su constante llamado de alerta ante cualquier evento, bajo ciertas las condiciones topográficas del terreno. Por lo que sus inconvenientes se pueden resumir en:
 - *Sensible a cualquier obstáculo, no discrimina personas, rocas, acopios, etc.*
 - *Puede resultar molesto.*
 - *Poca capacidad de anticipación.*
 - *Altamente direccional.*
 - *Coste elevado.*
 - *Delicado frente a golpes.*

IV. DESCRIPCION DEL DISPOSITIVO

Como se mencionó en el apartado anterior, los sistemas que actualmente se utilizan en la gran minería, poseen indiscutibles ventajas, así como grandes desventajas que merman su desempeño bajo ciertas condiciones en faena. Es por ello, que todas ellas fueron consideradas en el diseño y posterior desarrollo del dispositivo que se quiere introducir, el cual será capaz de prevenir este tipo de accidentes de una manera diferente y complementaria a los métodos se mencionados.

Este dispositivo esta orientado a los procesos en donde la interacción Equipo-Persona se haga presente, de tal manera que tanto un vehículo menor como un trabajador tengan la

seguridad de poder ser detectados por un vehículo de alto tonelaje y así evitar el accidente por alcance. El sistema está diseñado para ambientes abiertos y controlados, es decir, cada persona y vehículo, tanto liviano como de alto tonelaje, tienen que disponer de un cierto módulo de comunicación. El primer modulo, que es el emisor, se encontrará en trabajadores y vehículos livianos, el cual emitirá una señal que será captada por el segundo modulo receptor y que estará ubicado en los vehículos de alto tonelaje. Este, al recibir la señal de un módulo cercano, emitirá una alerta al operador otorgándole un tiempo suficiente como para que éste tome las medidas precautorias correspondientes.

Considerando todo lo anterior, se procedió al desarrollo del prototipo, el cual está basado en la tecnología Arduino [9, 10] utilizando módulos Xbee [11], los cuales son utilizados para la comunicación entre las placas, las que serán incorporadas y utilizadas por los vehículos de alto tonelaje, los trabajadores y los vehículos livianos. En Primera instancia se logra una comunicación entre módulos Xbee utilizando, mediante tecnología Zigbee[12, 13], la cual dentro de los dispositivos a utilizar dentro de la red, pueden desempeñar el papel de:

- **Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC):** El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- **Router ZigBee (ZigBee Router, ZR):** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- **Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED).** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

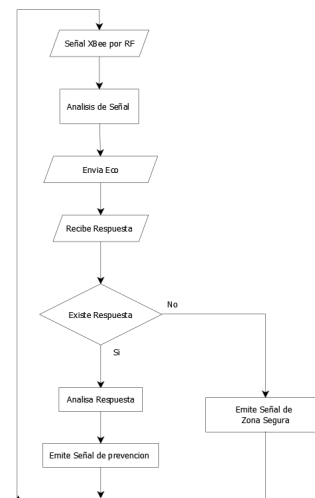


Figure 2. Funcionamiento del modulo Xbee Emisor.

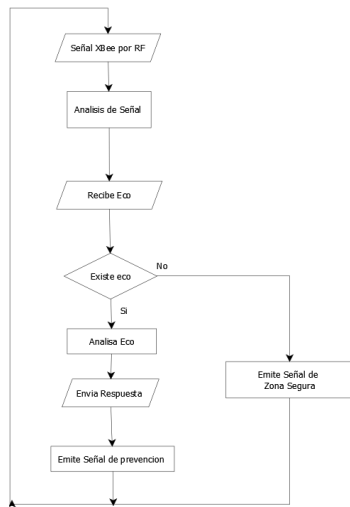


Figure 3. Funcionamiento del modulo Xbee Receptor.

Las Figuras 2 y 3 describen el funcionamiento e interacción de los módulos Xbee de Emisión y Recepción respectivamente. Los resultados obtenidos con las primeras pruebas traen consigo la identificación de propiedades tanto positivas como negativas, las cuales permitieron ajustar y redefinir el entorno de funcionamiento del dispositivo, entre las cuales, las más importantes a considerar fueron las siguientes:

- Recuperación de señal:** Ya obtenido el resultado de comunicar remotamente el modulo A con el B, se se distanciaron de tal manera de buscar la pérdida total de los datos para que el led indicador estuviera en su estado inicial (Apagado). El objetivo fue determinar si existe la reconexión por parte del modulo receptor, entregando como resultado el estado final (led encendido). La prueba se repitió numerosas veces para corroborar el resultado obtenido, en donde el modulo receptor pudo encontrar la señal nuevamente y encender el led. Esto se debe a la tecnología Zigbee, la cual tiene dentro de sus características, los distintos tipos de topologías, que si en un momento determinado, un nodo falla, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los ruteos de comunicación. La gestión de los caminos es tarea del coordinador.
- Distancia optima:** Se realizaron pruebas de distancia máxima para saber de qué manera es recibida la señal y así tener en consideración del comportamiento del modulo con una señal débil. Con una señal débil, el comportamiento del dispositivo fue intermitente al que debería tener en su estado de señal normal, por lo que su comportamiento no era homogéneo, incluso en momentos que perdía la señal, quedando en su último estado (estando encendido o apagado).
- Señal entre obstáculos:** Como última prueba en esta primera etapa, se quiso comprobar la efectividad de la señal en un entorno cerrado, en este caso un

departamento, ubicando los módulos en distintas partes del circuito de pruebas (dependencias del departamento de ingeniería de sistemas y computación, UCN), generalmente con paredes de por medio para verificar la efectividad de los datos. El resultado fue variado ya que según el tipo de muro que este se encuentre entre medio de los módulos la señal será recibida o perdida, en muros de concreto la señal fue nula en la mayoría de los intentos, en los muros con materiales livianos la señal era recibida con variaciones, aunque en su mayoría al contrario de la otra situación las señales eran recibidas de manera satisfactoria.

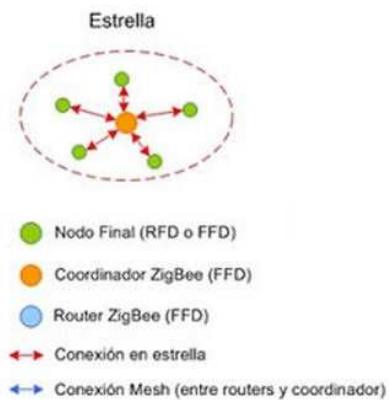


Figure 4. Esquema Estrella de Topología Zigbee [14].

Dentro de todos los tipos de topología de comunicación que existen para este tipo de señal Zigbee, debido a las particularidades del problema a resolver, así como a los posteriores ajustes se opto por crear una red estrella para el funcionamiento de la red de dispositivos[14]. En la Figura 4 se muestra el esquema utilizado para la implementación del prototipo, en ella se puede establecer que el nodo coordinador será en este caso el vehículo de alto tonelaje, dejando como nodo final a los vehículos menores y trabajadores.

En base a los resultados preliminares obtenidos, tanto en las pruebas iniciales, así como en las etapas posteriores de prueba de los dispositivos entre Persona – Equipo Liviano, se logran obtener las primeras normas y recomendaciones de funcionamiento para el dispositivo creado, de las cuales según los resultados recopilados los módulos tanto emisor como receptor tendrán que cumplir ciertas condiciones para que el propósito del prototipo tenga efectividad:

- Encontrarse en entornos abiertos para que la señal no sea variable según el obstáculo que se interponga en el medio, recordando que generalmente el ambiente señalado es aquel en que los operadores de maquinarias pesadas se encuentran en entornos de grandes dimensiones, por ende la recuperación de señal y la distancia optima serán claves en este ámbito.
- La recuperación de la señal será utilizado para demarcar el radio máximo que dispondrá el operador

para recibir algún tipo de señal que aun no está definida.

V. CONCLUSIONES

Durante el transcurso de los años, las cifras de accidentes fatales por alcance Impacto Equipo Persona, muestra una clara tendencia a la disminución. Sin embargo ya que la mayor consecuencia en un evento de este tipo, es la pérdida de vida humana, se deben buscar métodos para que su ocurrencia sea aun cada vez menor.

Las medidas de precaución y seguridad que se han implementado, van de la mano con la tecnología que va surgiendo, es por ello que hoy en día, en la gran minería cuando se habla de seguridad, podemos encontrar tecnologías de punta capaz de realizar procesos y detectar a tiempo anomalías, que años atrás otras tecnologías no podían realizar.

El hecho de captar, mantener y restablecer una señal, da consigo resultados que perfectamente pueden ser utilizados como métodos de precaución para ambientes en los exista la situación Equipo-Persona. Entornos abiertos donde vehículos de alto tonelaje dispongan de receptores y a su vez vehículos livianos y trabajadores contengan los emisores, permitiendo que todos estos entes estén en constante comunicación en caso de que exista cercanía desplegando las alertas pertinentes.

El artículo deja en claro que estos resultados pueden variar dependiendo del entorno y la distribución de los espacios es por ello que el estudio previo del lugar donde se desea implementar este prototipo es de suma importancia.

El dispositivo desarrollado en su etapa actual de prototipo, ha resultado efectivo en las pruebas realizadas en ambientes controlados, previniendo accidentes por alcance Impacto Equipo-Liviano Persona, emitiendo una alerta en caso de proximidad. Para sus posteriores pruebas, es necesaria la fabricación de una carcasa para proteger tanto el emisor como receptor, esto permitirá poner en funcionamiento este prototipo en lugar donde las condiciones de Equipo-Persona existan, bajo cualquier tipo de condiciones y terreno.

Al finalizar las etapas de pruebas de laboratorio y en ambientes controlados, es posible concluir que se ha logrado un Dispositivo para Prevención de Accidente Fatal por Impacto Equipo Persona. Entre las limitaciones a vencer, así como Las tareas pendientes de realizar, se destacan las siguientes:

- Los dispositivos solo han sido probados en un número limitado de casos y condiciones, debido a las limitaciones topográficas del ambiente de prueba.
- Definición de los indicadores e índices que permitan medir de mejor manera los resultados obtenidos.
- Implementación de mayor número de casos de prueba que permitan validar y ajustar la herramienta, especialmente en ambientes reales, tales como faena minera.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Católica del Norte, que promueve la investigación en pregrado, así como al Proyecto FIAC2 UCN1108 que financia, y dentro del cual se enmarca el desarrollo del presente trabajo.

Al Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación de la Universidad de Atacama por la disponibilidad y todo el soporte profesional y generosidad para compartir su amplio conocimiento y experiencia sobre el material estudiado en este paper.

REFERENCIAS

- [1] ACHS, Asociación Chilena de Seguridad, "Fundamentos de Seguridad Industrial", ACHS, Santiago, Chile, 2011.
- [2] SERNAGEOMIN, Servicio nacional de Geología y Minería, "Recopilación Reglamentos en Seguridad Minera", Departamento de Comunicaciones del SERNAGEOMIN, Santiago, Chile, 2007.
- [3] ACHS, Asociación Chilena de Seguridad, "Manual de Equipos de Protección Personal", ACHS, Santiago, Chile, 2007.
- [4] Depto. Seguridad Minera - Sernageomin. "Tasa de Fatalidad y Tendencia Exponencial en Minería", disponible en: http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/accidentabilidad_Minera/AccidentesFatales2011segmin.pdf, Fecha de consulta: 27 de Abril de 2012.
- [5] VSO, Vicepresidencia de Servicios Operacionales, Minería Escondida, "Taller de MRSM: Seguridad Equipo Persona", BHP Billiton, Minería Escondida, 2011.
- [6] Depto. Seguridad Minera - Sernageomin. "Resumen de Accidentes Fatales en Minería" 2012. Disponible en URLs: http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/accidentabilidad_Minera/AccidentesFatales2010SEGMIN.pdf, Fecha de consulta: 27 de Abril de 2012.
- [7] Depto. Seguridad Minera - Sernageomin. "Resumen de Accidentes Fatales en Minería" Disponible en URLs: http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/accidentabilidad_Minera/AccidentesFatales2011segmin.pdf, Fecha de consulta: 27 de Abril de 2012.
- [8] B. Cebrián Romo, V Salvo Rubio "Diseño y Desarrollo de un Dispositivo Basado en RFID para Evitar el Riesgo de Atropello con Maquinaria Móvil", FYM Italcementi Group / Janus Technologies S.L., Granada, 2010.
- [9] M. Margolis, "Arduino Cookbook", O'Reilly Media, Inc., USA, 2011.
- [10] L. Aguirre, "Estudio de una Red de Sensores sin hilos basada en la Tecnología Arduino bajo Protocolos de Comunicaciones ZigBee", Tesis de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Catalunya, 2009.
- [11] A. Oyarce. "Guía del Usuario XBEE Series 1". Circuito básico para el Xbee., disponible en: http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf, Fecha de consulta: 30 de Marzo de 2012
- [12] ZigBee Alliance. URLs: <http://www.zigbee.org>, Fecha de consulta: 30 de Marzo de 2012.
- [13] A. Pavel, "Diseño de un Sistema Automatizado de Seguridad Contra Intrusión en un Edificio de Departamentos Utilizando el Estándar de Tecnología Inalámbrica Zigbee", Tesis de Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010.
- [14] I. Ruiz, "Sistema de Posicionamiento para Interiores", Tesis de Ingeniería Informática, Universidad Pontificia Comillas, 2010.