UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ELECTRÓNICA

TESIS

"SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA"

LINEA DE INVESTIGACIÓN:
Control y Automatización

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR EL BACHILLER:
Jerson Jesús, PATILLA CERRÓN

HUANCAVELICA - PERÚ
2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N ° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS FIES DECANO

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, a los 26 días del mes de JUNIO del año 2014, a horas 3:00, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente: MG. ING. ANGEL ALTIDON ELESCANO

Secretario: ING. JAULER ALFREDO HERRERA MORALES

Vocal: ING. RAÚL PADILLA SANCHEZ

Designados con Resolución N° 179-2014-FIES-UNH del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: "SISTEMA CON ROBOT MOVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DE MONOXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRANEA EN LA COMPAÑIA MINERA RAURA"

Cuyos autores son los graduado (s):

BACHILLER (S): JERSON JESÚS PATILLA CERRÓN

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invito al público presente y a los sustentantes a abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

APROBADO ☒ **POR** Mayoría

DESAPROBADO ☐

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

Presidente

Secretario

Vocal

A Dios; a mis padres Nelly y Jesús, por darme la vida, por inculcarme buenos sentimientos, valores y hábitos como el estudio, por sus consejos y enseñanzas a lo largo de mi vida; y a mi abuelita Rustica, por el ejemplo de valor, de constancia, perseverancia y de lucha que me ha demostrado a lo largo de la vida.

191

ÍNDICE

	Página
PORTADA	i
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I **PROBLEMA**	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema	9
1.3 Objetivos	9
1.4 Justificación	10
CAPÍTULO II **MARCO TEÓRICO**	12
2.1 Antecedentes	12
2.2 Bases teóricas	18
2.3 Hipótesis	74
2.4 Variables de estudio	75
CAPÍTULO III **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**	76
3.1 Ámbito de estudio	76
3.2 Tipo de investigación	76
3.3 Nivel de investigación	78
3.4 Método de investigación	78
3.5 Diseño de investigación	81
3.6 Población, muestra, muestreo	81
3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82

/90

3.8 Procedimiento de recolección de datos 83

3.9 Técnicas de procesamiento y análisis de datos 83

CAPÍTULO IV 84
RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados 84

4.2. Discusión 135

CONCLUSIONES 137

RECOMENDACIONES 139

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 140

ARTÍCULO CIENTÍFICO 142

ANEXOS A 149

ANEXOS B 154

ANEXOS C 157

ANEXOS D 161

ANEXOS E 166

/89

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Se evidencia el problema de ventilación deficiente.	4
Figura 1.2	Mineros tomando las medidas de las variables del aire, Nv 440.	6
Figura 1.3	Mineros tomando las medidas de las variables del aire, en el tajo 820.	6
Figura 1.4	Mineros tomando las medidas de las variables del aire, en RB 105.	7
Figura 1.5	Documentos que muestran las medidas de las variables del aire.	7
Figura 2.1	Proceso de intoxicación por monóxido de carbono.	22
Figura 2.2	Locomoción del sistema Ackerman.	26
Figura 2.3	Configuración de pines del microcontrolador PIC18F2550.	28
Figura 2.4	Arquitectura del microcontrolador PIC18F2550.	29
Figura 2.5	Memoria de programa del microcontrolador PIC18F2550.	31
Figura 2.6	Memoria de datos del microcontrolador PIC18F2550.	33
Figura 2.7	Registros de función especial de la memoria de datos.	35
Figura 2.8	Fuentes de interrupciones del CCS para el PIC18F2550.	36
Figura 2.9	Los escaladores del USB, permiten múltiples configuraciones.	38
Figura 2.10	Opciones de CCS para los temporizadores.	40
Figura 2.11	Opciones de CCS para la comunicación serie RS232.	41
Figura 2.12	Pines del PIC18F2550 que intervienen en la comunicación USB.	41
Figura 2.13	Diferentes opciones de conexión del USB con el exterior.	42
Figura 2.14	Sistema de control del intercambiador de calor.	48
Figura 2.15	Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto.	49
Figura 2.16	Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.	50
Figura 2.17	Modelo estructural de un sistema automatizado.	51
Figura 2.18	Clasificación tecnológica.	52
Figura 2.19	Diagrama de bloques de un sistema de comunicación.	57
Figura 2.20	Cobertura y estándares de Wireless.	62
Figura 2.21	Se muestran las señales portadora, moduladora y moduladas.	65
Figura 2.22	Aspecto físico del medidor de nivel de monóxido de carbono.	69
Figura 2.23	Aspecto físico del medidor de nivel de la velocidad del aire.	71
Figura 3.1	Esquema general de la metodología de investigación.	79

/ 08

Figura 3.2	Esquema de desarrollo del fundamento teórico.	80
Figura 3.3	Esquema de desarrollo del firmware.	80
Figura 3.4	Esquema de desarrollo del hardware.	81
Figura 4.1	Diagrama bloques general del sistema diseñado.	84
Figura 4.2	Esquema general del sistema, donde se destaca los módulos de RF-ASK y robot móvil teleoperado.	85
Figura 4.3	Diagrama de bloques de la Estación de Monitoreo.	86
Figura 4.4	Panel frontal del programa aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 12.	88
Figura 4.5	Diagrama de bloques del aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 12.	89
Figura 4.6	Íconos de las órdenes de movimiento para el robot y adquisición.	90
Figura 4.7	Muestra la imagen captada remotamente por la cámara IP.	90
Figura 4.8	Esquema electrónico del circuito de la Estación de Monitoreo, donde se muestra los módulos de RF.	92
Figura 4.9	Aspecto físico y pines del módulo transmisor de RF.	93
Figura 4.10	Aspecto físico y pines del módulo receptor de RF.	94
Figura 4.11	Diagrama de flujo del circuito de la Estación de Monitoreo.	95
Figura 4.12	Formato de 4 bytes para la orden de movimiento.	96
Figura 4.13	Formato de solicitud enviado al Sistema Móvil.	96
Figura 4.14	Información recibida desde el Sistema Móvil pasando por el módulo receptor de RF-ASK.	98
Figura 4.15	Diagrama de bloques del Sistema Móvil.	103
Figura 4.16	Aspecto físico y la asignación de pines del sensor MQ-7.	104
Figura 4.17	Diagrama de tiempo para la alimentación del sensor MQ-7.	104
Figura 4.18	Esquema electrónico del circuito de adaptación para sensor de CO.	106
Figura 4.19	Esquema electrónico del circuito de adaptación para sensor de velocidad de flujo de aire.	107
Figura 4.20	Esquema electrónico del circuito driver de los motores D.C. de tracción y dirección.	108
Figura 4.21	Esquema electrónico del circuito del Sistema Móvil.	110

/87

Figura 4.22 Diagrama de flujo del programa para el circuito del Sistema Móvil. 111
Figura 4.23 Circuito de la fuente de alimentación del Sistema Móvil. 116
Figura 4.24 Estación de Control implementado. 117
Figura 4.25 Sistema Móvil implementado. 117
Figura 4.26 Gráfica del monóxido de carbono y velocidad del aire (Esperanza). 131
Figura 4.27 Gráfica del monóxido de carbono y velocidad del aire (Catuva). 131
Figura 4.28 Gráfica del monóxido de carbono y velocidad del aire (Gayco). 132

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.1	Se evidencia la falta de ventilación, se acumula los gases tóxicos.	4
Tabla 1.2	Valores límites permisibles de las variables del aire.	8
Tabla 2.1	Factores que influyen en el clima y en aire de mina interior (I).	20
Tabla 2.2	Factores que influyen en el clima y en aire de mina interior (II).	20
Tabla 2.3	Factores que influyen en el clima y en aire de mina interior (III).	21
Tabla 2.4	Unidades funcionales del PIC18F2550.	39
Tabla 2.5	Puertos de E/S del PIC18F2550.	39
Tabla 2.6	Muestra efectos del monóxido de carbono.	68
Tabla 2.7	Componentes del aire.	70
Tabla 2.8	Las variables sus indicadores y unidades de medida.	75
Tabla 3.1	Muestra los valores que toma Z y E.	82
Tabla 3.2	Se muestra las técnicas e instrumentos a utilizar.	82
Tabla 3.3	Se muestra las técnicas e instrumentos para el procesamiento.	83
Tabla 4.1	Íconos con la descripción de movimiento que realiza el robot y su codificación respectiva.	97
Tabla 4.2	Recursos y pines utilizados por el PIC18F2550.	97
Tabla 4.3	Giro de los motores D.C., según la orden.	109
Tabla 4.4	Recursos y pines utilizados por el PIC.	112
Tabla 4.5	Información que entrega el módulo receptor de RF al PIC18F2550, luego de la demodulación ASK.	112
Tabla 4.6	Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil, cuando se envía la orden avanza al robot.	119
Tabla 4.7	Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil, cuando se envía la orden retrocede al robot.	120
Tabla 4.8	Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil, cuando se envía la orden giro a la derecha.	121
Tabla 4.9	Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil, cuando se envía la orden giro a la izquierda.	122
Tabla 4.10	Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil,	123

cuando se envía la orden sin movimiento (parado).

Tabla 4.11 Valores experimentales del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, en mina Esperanza. 124

Tabla 4.12 Valores experimentales del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, en mina Catuva. 125

Tabla 4.13 Valores experimentales del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, en mina Gayco. 126

Tabla 4.14 Muestra las rutas que utiliza la compañía minera Raura S.A. para su explotación, destacando las minas y los tajos con su respectivo nivel. 127

Tabla 4.15 Monitoreo de los valores del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire con robot móvil teleoperado por inspección visual en la mina Esperanza. 128

Tabla 4.16 Monitoreo de los valores del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire con robot móvil teleoperado por inspección visual en la mina Catuva. 129

Tabla 4.17 Monitoreo de los valores del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire con robot móvil teleoperado por inspección visual en la mina Gayco. 130

Tabla 4.18 Procesamiento de los datos para la variable independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual. 133

Tabla 4.19 Procesamiento obtenido de los datos de la variable Independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual. 134

Tabla 4.20 Procesamiento de los datos de la variable dependiente: Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire (Mina esperanza). 135

RESUMEN

El trabajo de investigación titulado "SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA"; se realiza por la muerte de mineros por inhalación de gases tóxicos, que está directamente relacionada con la calidad del aire en el interior de mina subterránea y que las muertes ocurridas se debió; a que los mineros ingresaron a zonas de explotación abandonadas o a zonas en explotación en las que se realizaron diversas actividades mineras; planteándose el siguiente problema: ¿Cómo realizar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para el monitoreo del monóxido de carbono y flujo del aire de mina subterránea en la compañía minera Raura?. El propósito del proyecto es implementar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual para el monitoreo remoto de las variables del aire de mina subterránea. Para la adquisición de los valores del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire; se utilizan sensores que estarán conectados a un robot móvil que seguirá una trayectoria guiada remotamente desde el monitor de una laptop en el aplicativo de LabView a través de una cámara IP Wi-Fi.

El prototipo implementado consta de dos partes: La Estación de Control y el Sistema Móvil. La Estación de Control está constituida por el módulo PC, el módulo transmisor y su fuente de alimentación. El Sistema Móvil está constituido por la Estación de Monitoreo. Se implementó el sistema de teleoperación del robot móvil para una frecuencia de 434 MHz e identificación propia, controlando su movimiento: Avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; mediante un puente H para el control del motor D.C. de dirección y tracción; realizándose las siguientes fases de diseño: Determinar la tecnología para el control de las variables, así como la tecnología de comunicación inalámbrica para el enlace entre el robot móvil y la computadora. Se determinó que para el control de las variables, la tecnología de lógica programada utiliza el microcontrolador PIC18F2550 y que la tecnología de RF-ASK a 434MHz y 2400 baudios, permite el enlace entre el robot móvil y la computadora. Además se realizó el programa del microcontrolador utilizando el Compiler PCWHD CCS 4.128.

El investigador.

INTRODUCCIÓN

El siglo XXI es testigo de la conquista masiva de los microcontroladores, diminutos computadores, que gobiernan la mayor parte de los aparatos que fabricamos y usamos. Están presentes en nuestro trabajo, en nuestra casa y en nuestra vida, en general. Las extensas áreas de aplicación de los microcontroladores, que pueden considerarse ilimitadas, exigen un gigantesco trabajo de diseño y fabricación.

El presente trabajo tiene el propósito de poner al alcance de los estudiantes, información amplia sobre los microcontroladores de Microchip de la gama alta (PIC18F2550); así como sus herramientas de hardware y software que permitan la comprensión y el desarrollo de aplicaciones con estos microcontroladores, que sirven como punto de partida para continuar con familias superiores.

Fue desarrollado en varias etapas. La primera, fue la recopilación de información, una labor ardua; obteniéndose información de los libros comprados y principalmente de Internet. En la segunda etapa, se procedió al estudio y análisis de la información recopilada. La mayor parte de esta información está contenida en los capítulos 1, 2, y 3; así como también en los anexos de la presente tesis. La tercera etapa consistió en el diseño, rediseño y simulación a nivel hardware de los esquemas electrónicos del circuito de transmisión y del circuito de recepción, con el CAD electrónico Proteus Design Suite 8.0; los diseños de los circuitos que funcionaron adecuadamente, se utilizaron en el diseño de las tarjetas de circuito impreso. La cuarta etapa, bastante laboriosa por cierto, consistió en el desarrollo del software: Para los programas del microcotrolador PIC18F2550 del circuito de la Estación de Monitoreo y del circuito Sistema Móvil; en la edición, depuración y compilación se utilizó el Compiler PCWHD CCS 4.128 y se programó los microcontroladores con el grabador PicKit 2; y para el desarrollo del programa aplicativo de la laptop se utilizó LabView 2012.

En la quinta etapa se realizó el diseño, fabricación, implementación y prueba final de las tarjetas de circuito impreso; que está contenido en el Capítulo 4. Finalmente como última etapa podemos señalar la toma de datos cuando se realizaron las pruebas a la variable independiente y dependiente; y la conclusión de la elaboración de la tesis.

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo de personas; las cuales paso a mencionar. A mis padres Nelly y Jesús, que dieron todo de sí en provecho mío. A mi abuela Rustica, por el ejemplo de valor, de constancia, perseverancia y de lucha que me ha demostrado a lo largo de la vida. A los docentes de la Universidad Nacional de Huancavelica, por haberme instruido en esta fascinante especialidad.

Así mismo mi agradecimiento a todas aquellas personas, que de una u otra forma, hicieron posible se realice este proyecto.

Finalmente mi agradecimiento a los que dirigen a mi Alma Mater, que me cobijo muchos años con equidad y tolerancia.

CAPÍTULO I
PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La minería tiene por objetivo extraer recursos minerales de la tierra. La minería subterránea, por su parte, abarca todas las actividades encaminadas a extraer materias primas depositadas debajo de la tierra y transportarlas hasta la superficie. La calidad de aire interior (IAQ) se define como la naturaleza del aire que afecta la salud y el bienestar de las personas que se encuentran dentro de una instalación o habitación. Para el caso de minas subterráneas, el ser humano suele ser el más afectado por la interacción entre la actividad minera y el medio ambiente, por tanto debe darse prioridad a los aspectos relacionados con la seguridad y la salud.

La minería subterránea abarca todas las labores destinadas a explotar materias primas por medios técnicos. Además de la extracción y el transporte, comprende las actividades de prospección y exploración, la dotación de infraestructura, así como las medidas destinadas a garantizar la seguridad de los mineros.

La minería subterránea crea espacios bajo tierra en los cuales trabajan seres humanos. Las condiciones de trabajo incluyen la humedad ambiental, la temperatura del aire, la presencia de radiaciones nocivas o de gases tóxicos, la presencia de agua, la formación de polvo y la emisión de ruido que dependen tanto del mineral como de la roca encajante, de la profundidad de la mina y del uso de maquinaria. Las emanaciones de "aire usado" en las minas, son el producto normal de las operaciones mineras, están constituidas por la combinación de vapor, humo de explosivos, polvo, humo de vehículos diesel, gases propios de emanaciones rocosas naturales, reacciones químico-ambiental de los minerales presentes; que constantemente circulan por las labores de la mina y luego emanan a la superficie.

En el interior de las minas subterráneas, se deben considerar las vías de retorno de aire usado; galerías de mayor circulación vehicular; frentes de trabajo en desarrollo;

tajeo de explotación; echaderos y tolvas de mineral; chimeneas y tolvas de desmonte. La nubosidad, los humos de hidrocarburos y explosivos, polvo, presencia de gases y micropartículas contaminantes, son la causa fundamental de los altos grados de morbilidad y mortalidad, como consecuencia de las enfermedades neumoconióticas y cardiovasculares.

A continuación se muestran los informes de accidentes fatales ocurridos durante el proceso de explotación en el interior de minas subterráneas:

Mueren 5 personas por gases tóxicos en mina de China. Actualizado a las 11/05/2012[1].

Guiyang, China, 10 may (Xinhua): Cinco personas murieron intoxicadas con gases tóxicos en el interior de una mina abandonada de mineral de antimonio en la provincia de Guizhou, suroeste de China, informaron hoy las autoridades locales. El accidente ocurrió esta mañana en el distrito de Dushan en la prefectura autónoma de Bouyei-Miao de Qiannan, cuando tres residentes locales entraron en la mina para realizar actividades mineras ilegales, señaló Zhang Linfang, subjefa ejecutiva del distrito. Después de que los mineros inhalaron el gas tóxico y se desmayaran, un aldeano encargado de la vigilancia regresó a la aldea para pedir ayuda. Junto con dos voluntarios intentó el rescate. Sin embargo, los tres que pretendían ayudar a las víctimas también se intoxicaron con los gases y quedaron atrapados luego de entrar en la mina. Después de 10 horas de esfuerzos de los socorristas, uno de los aldeanos fue rescatado vivo pero los otros cinco perdieron la vida por el envenenamiento, explicó Zhang.

Minero falleció por aspirar gases tóxicos en socavón. Noticias El Diario-Nacional.htm Nacional (5 de octubre de 2005)[2]

Oruro, Bolivia: Un trabajador minero perdió la vida ayer en el distrito de Llallagua, en el departamento de Potosí, al aspirar por accidente gases tóxicos en el interior de un socavón. La víctima fue identificada como Mario Candi Quispe. El fallecido era trabajador de la cooperativa minera 20 de Octubre, que explota la mina Siglo XX

1 http://spanish.peopledaily.com.cn/31614/7814215.html.
2 http://www.eldiario.net/noticias/2005/2005_10/nt051005/5_15nal.html.

en el cerro Cancañiri, según el informe de la Radio Pio XII de Oruro. Los primeros informes dan cuenta que el empleado del subsuelo ingresó a interior mina en horas de la mañana y aspiró el gas tóxico cuando se encontraba en el nivel 411. Sus compañeros cooperativistas se encuentran en las tareas de rescate del cuerpo sin vida de Mario Candi Quispe, que aún se encuentra en el interior del socavón. Es muy posible que una comisión de la Policía Técnica Judicial (PTJ), de Oruro se traslade hasta el lugar, por la cercanía que existe, puesto que Llallagua corresponde a la jurisdicción del departamento de Potosí.

Los tres se encontraban trabajando como de costumbre aquél día, habría sido a las 05:00 a.m. cuando se produjo la tragedia, los fuertes olores no fueron posibles contener, las vías respiratorias se obstruyeron y entonces se produjo lo inevitable.

Tres mineros mueren por inhalación de gases tóxicos al interior de minera Raura en Oyón[3]. Otros nueve obreros se recuperan en el hospital Santa Ana. Martes, 10 de febrero de 2009.

Tres trabajadores de la Mina Raura, encontraron trágica muerte el último domingo cuando realizaban sus faenas de rutina al interior de este asiento minero. Su muerte se produjo a consecuencia de la emanación de gases tóxicos, cuyo origen es materia de investigación.

Antonio Ramos Huamaní de 46 años, perforista de la contrata OPEMISS, Saúl Quiroz Ambrosio de 32 era ayudante de perforista de la misma contrata y Michael Huaranga Abarca de 29 quien desempeñaba como chofer de la contrata DAGOR, que al igual que la primera, trabajan mediante service para la minera Raura.

CARTA MENSUAL. Noviembre-2012. CAPACITACIÓN Y FORMACIÓN EN TEMAS DE SEGURIDAD. Compañía Minera Raura.

IPERC.- Los peligros que tuvieron mayor exposición durante el presente mes son ventilación deficiente, seguida de ruido, rocas sueltas, en las labores subterráneas, debido a que se vienen realizando trabajos en interior mina en labores de desarrollo y antiguas (remapeo) en los niveles 310, 830 y 658 y Crucero 489. En superficie se

3 http://diarioenfoques.blogspot.com/2009/02/tres-mineros-mueren-por-inhalacion-de.html.

identificaron riesgos como: falta de agua, máquina cortadora (Petrótomo), caída de andamios y cajas DDH por mal apilamiento, que se ve en la figura 1.1.

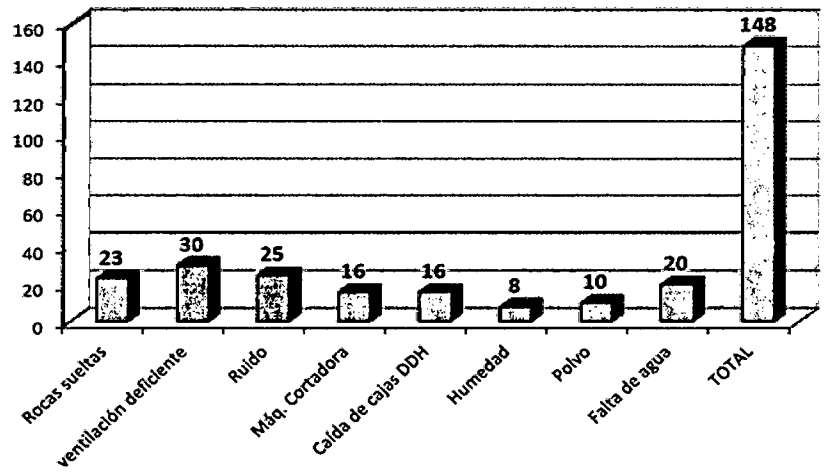


Figura 1.1 Se evidencia el problema de ventilación deficiente.

Fuente: Carta mensual. Noviembre-2012. Compañía minera Raura S.A.

ACCIDENTES E INCIDENTES: Durante el mes no se tuvo ningún tipo de accidente en el área de geología-exploraciones, en cuanto a tipo de incidentes relacionado con las actividades de exploración fueron: ventilación deficiente en el Nv 310, 830 y Crucero 489 (que se evidencia en la tabla 1.1), condiciones sub estándar que deben ser controlados por el área de seguridad y mina.

CARTA ANUAL 2011. ÁREA DEPARTAMENTO DE CONTROL A LA GESTIÓN DE RIESGOS .Compañía minera Raura.

Incidentes por tipo reportados año 2011.

Tabla 1.1 Se evidencia la falta de ventilación, se acumula los gases tóxicos.

CODIGO	TIPO DE INCIDENTE	No.	%
F.VENT	Falta de ventilacion	4901	16.98
F.ORDEN. y LIMP.	Orden y Limpieza	2884	9.99
PISOS CAM.	Pisos / Caminos / Accesos	1875	6.49
ENER. ELECT.	Energía Eléctrica	1514	5.24
DESP. ROCAS	Desprendimiento Rocas	1350	4.68
INCUMP. PROCED.	Incumplimiento de procedimiento	1294	4.48
INST. DEF. AG. LUZ	Intal . Deficiente agua y luz	1262	4.37
FALTA SOSTEN.	Falta de Sostenimiento	1249	4.33
COND. INSEG.	Condicion Insegura	1000	3.46
MANT. DEFIC.	Mantenimiento deficiente	994	3.44
MAL EST. MAQ. EQ.	Mal estado maquinas y herramientas	915	3.17
OTROS	Otros	9633	33.37
TOTAL		28871	100.00

Fuente: Carta anual 2011. Compañía minera Raura S.A.

A continuación se muestra la fotocopia de la carta enviada por la compañía minera Raura S.A. al gerente de fiscalización minera de OSINERGMIN, sobre el acta de cierre de la investigación del accidente fatal ocurrido el 02 de Junio de 2009.

COMPAÑÍA MINERA RAURA S.A.

San Isidro, 25 de Junio de 2009
Carta No. GG/0135/2009

CARGO
30 JUN. 2009
SECRETARIA
Gerencia de Operaciones

Señor Ing.
GUILLERMO SHINNO HUAMANÍ
Gerente de Fiscalización Minera
OSINERGMIN
Av. Bernardo Monteagudo 222
Magdalena del Mar.-

ATENCION : **Ing. Gustavo Delgado Contreras**

ASUNTO : **Cumplimiento de las Recomendaciones Preliminares del Acta de Cierre de la Investigación del Accidente Fatal del Ex trabajador Carhuaricra Vega, Edgar de la EE Micong, realizada por la E.F.E Clean Technology S.A.C los días 05,06 y 07 de Junio del 2009**

REFERENCIA : **Acta de Cierre de la Investigación del Accidente Fatal ocurrido el 02 de Junio de 2009 en la Unidad Minera Raura**

Nos dirigimos a su despacho para presentarle el Cumplimiento de las Recomendaciones Preliminares realizadas por el Fiscalizador Externo Ing. Vidal, Ayque Charca de la Empresa Fiscalizadora Externa Clean Technology S.A.C. los días 05, 06 y 07 del Junio de 2009, sobre la ocurrencia del accidente fatal del Sr. Carhuaricra Vega, Edgar de la E.E. Mauricio Ingenieros Contratistas Generales SRL (MICONG), registrado en nuestra Unidad Minera, el 02 de Junio de 2009.

Sin otro particular, nos suscribimos.

Atentamente,

COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.

ING. HERACLIO RIOS Q.
GERENTE GENERAL

PRES		OSINERGMIN REGIONAL LIMA RECIBIDO 26 JUN. 2009 195491 REGISTRO HORA	GFM	
GFGN			GARY	
GG			JARU	
GFHL			OTROS	
GFE			OR	

LA RECEPCION DEL DOCUMENTO NO INDICA CONFORMIDAD

Adjunto:

- Matriz de Cumplimiento de las Recomendaciones del Fiscalizador Externo Clean Technology S.A.C, sobre la Investigación del Accidente Fatal, de fecha 02 DE Junio de 2009 de la E.E MICONG SRL.
- Anexos

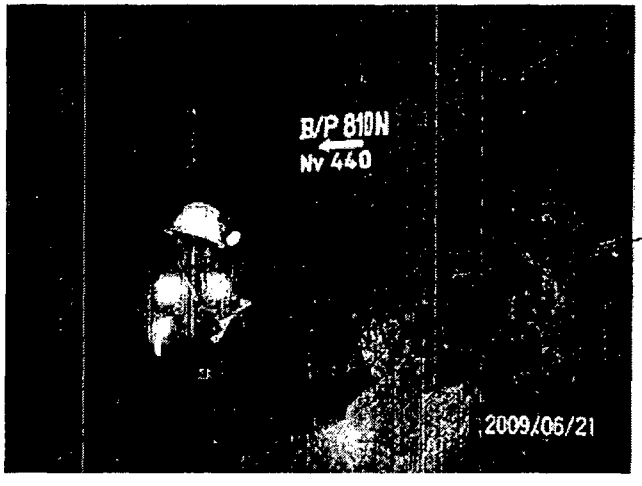
Asiento Minero San Miguel de Cauri, Lauricocha, Huánuco. Telefax: 440 5366 E-mail operaciones@raura.com
Almacén Av. Argentina 1663, Lima T 336 7911 F 336 7910

Se presenta de todos los anexos presentados por la Compañía minera Raura a OSINERGMIN, solo el Anexo 4.

Monitoreo del flujo de aire, cantidad de oxígeno, CO y NO_2, en el B/P 810, camino al tajo. 820 y RB 105 del Nv 440; encontrándose valores dentro de los LMP, que permite contar con un ambiente de trabajo. Los que se muestran en las figuras 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5. Fue realizado por la empresa E.E. MICONG SRL.

Identificación de lugares con deficiencia de oxígeno y zonas de gases en mina.

I. Monitoreo de cantidad de oxígeno, $N0_2$ y CO en el B/P 810 Nivel 440.



MEDICIÓN DE GASES

O2 = 20.9%

NO2 = 0.0 PPM

CO = 12 PPM

Figura 1.2 Mineros tomando las medidas de las variables del aire, Nv 440.

Fuente: Carta No. GG/0135/2009, enviada por la compañía minera Raura S.A. a OSINERGMIN.

II. Monitoreo de cantidad de oxígeno, $N0_2$ y CO camino al tajo 820.

MEDICIÓN DE GASES

O2 = 20.6%

NO2 = 0.0 PPM

CO = 12 PPM

Figura 1.3 Mineros tomando las medidas de las variables del aire, en el tajo 820.

Fuente: Carta No. GG/0135/2009, enviada por la compañía minera Raura S.A. a OSINERGMIN.

III. Monitoreo de cantidad de oxígeno, $N0_2$ y CO en el RB 105.

MEDICIÓN DE GASES

O2 = 20.4%

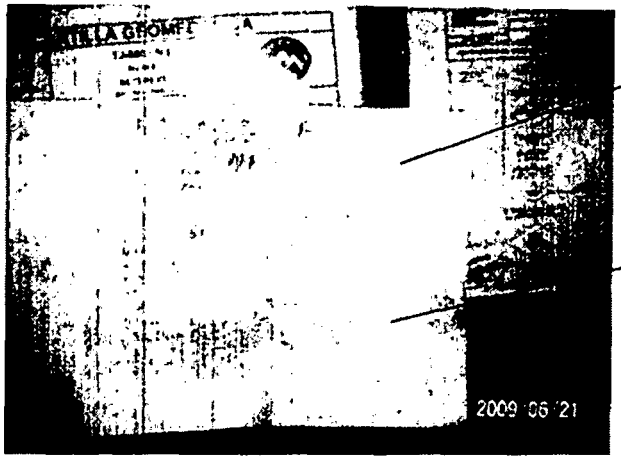
NO2 = 0.0 PPM

CO = 13 PPM

Figura 1.4 Mineros tomando las medidas de las variables del aire, en RB 105.

Fuente: Carta No. GG/0135/2009, enviada por la compañía minera Raura S.A. a OSINERGMIN.

IV. Registro del monitoreo del aire y gases NV 440 TAJEO: en preparación 820.



MEDICIÓN DE GASES

O2 = 20.4%

NO2 = 0.0 PPM

CO = 13 PPM

VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE

V. Promedio = 82.8 m/mis

Figura 1.5 Documentos que muestran las medidas de las variables del aire.

Fuente: Carta No. GG/0135/2009, enviada por la compañía minera Raura S.A. a OSINERGMIN.

De lo señalado se evidencia que varios mineros murieron por inhalación de gases tóxicos en el interior de mina: Cinco mineros en Guiyang (China), un minero Oruro (Bolivia), Tres mineros en minera Raura en Oyón, Lima-Perú; y muchos otros obreros se recuperan en los hospitales a nivel mundial y nacional, por inhalación de gases tóxicos. Las muertes que se señalan son las que fueron registradas por las autoridades, existen cientos de casos de muertes por inhalación de gases tóxicos, que no son informados ni registrados por las autoridades.

También se evidencia como en la mina Raura, se realizan las medidas esporádicamente solo de la cantidad de oxígeno (O_2), $N0_2$ (dióxido de nitrógeno) y CO (monóxido de carbono), no siendo las únicas variables sino, además otras variables como: La velocidad del flujo de aire, el metano, etc., los que determinan la calidad del aire de mina subterránea; debiéndose realizar continuamente y de forma sistemática. Igualmente los mineros que realizan las midas con equipos de mano, están expuestos a estos gases tóxicos, pudiendo sufrir las consecuencias.

Las muertes ocurridas se debido; a que los mineros ingresaron a zonas de explotación abandonadas o zonas en explotación, en las que se realizaron diversas actividades mineras que generaron los gases tóxicos; debiéndose de realizar primero el monitoreo de la calidad del aire de interior de mina, expresadas en las variables del aire, los cuales deben de encontrarse dentro de los **valores límites permisibles por ejemplo en el Perú**[4], como se muestra en la tabla 1.2; y si los valores medidos fueran mayor a los valores límites permisibles, no deben ingresar los trabajadores, evitando la muerte por inhalación de gases tóxicos.

Tabla 1.2 Valores límites permisibles de las variables del aire.

AGENTE QUÍMICO	LMP
Polvo Inhalable	10 mg./ m3(1)
Polvo Respirable	3 mg./ m3(1)
Oxígeno (O2)	Mínimo 19.5 %
Dióxido de Carbono (CO2)	Máx. 9000 mg./m3 ó 5000 ppm
Monóxido de Carbono (CO)	Máx. 29 mg./ m3 ó 25 ppm.
Metano (Nh4)	5000 ppm
Hidrogeno Sulfurado (H2s)	Máx. 14 g./ m3 ó 10 ppm
Gases nitrosos (NOx)	Máx.7mg./ m3 ó 5 ppm
Anhídrido Sulfuroso (SO2)	Máx. 5 ppm
Aldehídos	Máx. 5 ppm
Hidrogeno (H)	Máx. 5000 ppm
Ozono (O3)	Máx. 0.1 ppm

(1) este valor es para la materia particulada inhalable (total) que no
+ *contenga amianto y con menos del 1 % de sílice cristalina.*

Fuente: D.S. No 014-92-EM.- Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería y Reglamento de seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

[4] http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/procaliaire.pdf.

1.2 Formulación del problema

Teniendo en cuenta el problema de estudio, sobre la muerte de mineros por inhalación de gases tóxicos, que está directamente relacionada con la calidad del aire en el interior de mina subterránea y que las muertes ocurridas se debido; a que los mineros ingresaron a zonas de explotación abandonadas o zonas en explotación en las que se realizaron diversas actividades mineras, que concentran los gases tóxicos; debiéndose de realizar primero el monitoreo de la calidad del aire de interior de mina, expresadas en las variables del aire, los cuales deben de encontrarse dentro de los **valores límites permisibles**. No se puede ingresar sin que se sepa los valores de CO, CO_2, NO_x y la velocidad del flujo de aire; de ingresar a estos lugares se exponen de sufrir intoxicación por los gases y morir. No se puede exponer el ser humano, por eso el monitoreo de las variables del aire de mina se debe realizar remotamente a través de un robot teleoperado por inspección visual. De lo señalado se formulan las siguientes interrogantes:

¿Cómo realizar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para el monitoreo del monóxido de carbono y flujo del aire de mina subterránea en la compañía minera Raura?

Problemas específicos:

- ¿Qué tecnología es la adecuada para implementar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, que realice el monitoreo del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire de mina subterránea en la compañía minera Raura?
- ¿Qué tecnología de comunicación inalámbrica permite el enlace entre el robot móvil teleoperado por inspección visual y una laptop?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un prototipo del sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para monitorear las variables del aire de mina subterránea en la compañía minera Raura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un prototipo del sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para el monitoreo del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire de mina subterránea, en la compañía minera Raura; con la tecnología adecuada.
- Implementar la tecnología de comunicación inalámbrica, que permite el enlace entre el robot móvil teleoperado por inspección visual y una laptop.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación social

Muchos mineros quedan enfermos graves o fallecen por inhalación de gases tóxicos en el interior de mina. En el caso de quedar enfermos, inicialmente son atendidos por los familiares y si no se recuperan, los hijos son afectados anímicamente, deteniéndose el desarrollo familiar. Para el caso de fallecimiento, dejan en orfandad a sus hijos y esposa; sin que puedan cumplir los deberes inherentes a todo padre: Atender los servicios de salud, vivienda, alimentación y el más importante, acompañamiento paternal durante el desarrollo de sus hijos y de la familia. Esta situación se agudiza considerablemente si la familia del fallecido se encuentra en situación de pobreza.

Con ésta investigación se busca prevenir los casos de enfermedad y fallecimiento por inhalación de gases tóxicos en el interior de mina, al monitorear las zonas de trabajo antes que ingresen los mineros.

1.4.2 Justificación tecnológica

La necesidad de información es esencialmente urgente para el caso del monitoreo de la calidad del aire de mina subterránea, debido a que los trabajadores mineros exponen sus vidas, durante todo el proceso de explotación minera, que abarca desde las voladuras en los socavones hasta tener el mineral en el exterior; uno de los contaminantes del aire de

mina subterránea; son los gases tóxicos (CO, CO_2, NO_x, etc.). El monóxido de carbono (CO); gas extremadamente venenoso, posee una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses, una concentración mayor a 750 ppm en el aire causa la muerte; es uno de los gases más peligrosos que existe y es la causa del 90% de los accidentes fatales en minas por intoxicación. Por lo tanto es importante el monitoreo constate del aire de mina subterránea en zonas abandonadas y zonas de trabajo; debiéndose monitorear antes de ingresar, la existencia de estos gases tóxicos, oxígeno y la ventilación (detectado a través de la velocidad del flujo de aire).

Esta investigación utilizara tecnología electrónica de lógica programada para la adquisición y procesamiento de los valores del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire; utilizando sensores que estarán conectados a un robot móvil que seguirá una trayectoria guiado remotamente desde el monitor de una laptop a través de una cámara IP inalámbrica. El monitoreo remoto de los valores de las variables del aire de mina subterránea (CO y la velocidad del flujo de aire) serán mostrados en un programa desarrollado en LabView, utilizando comunicación inalámbrica de RF a través de la interface USB de la laptop.

1.4.3 Justificación económica

Los costos pagados en los casos de enfermedad o fallecimiento a los familiares directos de parte de la compañía minera, a través de los seguros, contra accidentes y muerte; primas o indemnizaciones, representa para la empresa una carga económica que será pagado durante mucho tiempo; pero la parte económica más perjudicial es el pago de multas y sanciones impuestas por el Estado, y llevar a cuestas en su estadística el número de accidentes fatales.

Además el costo de la implementación del sistema de monitoreo es mucho menor en comparación a los costos elevados de adquisición e instalación de equipos comerciales existentes en el mercado y es mucho menor que los costos pagados por seguros o indemnizaciones.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Entre los antecedentes del estudio de carácter internacional, consideramos los siguientes trabajos de investigación:

Tesis: ***"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TIPO HEXÁPODO TELEDIRIGIDO[5]"****. Presentado por: César Alfredo Fuertes Rosero y Romel Patricio Llumiquinga Llumiquinga. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, mayo de 2005.*

El presente proyecto tiene como principal objetivo la construcción y control de un robot móvil tipo hexápodo, para lo cual se usa el PIC de radiofrecuencia Rfpic que realiza un control remoto del robot, y se utiliza una cámara de video montada en el robot para la transmisión de video hacia la estación de control mediante el kit transmisor/receptor wireless 1.2GHz. Además se utiliza sensores infrarrojos y ultrasónicos que dotan al robot de un cierto grado de inteligencia, que le permite tomar ciertas decisiones sin necesidad de recurrir al mando de control externo.

El proyecto se divide en siete capítulos, que se detalla a continuación:

En el CAPÍTULO I se realiza una introducción, antecedentes y justificación, y descripción general del proyecto.

En el CAPÍTULO II se realiza la descripción del principio de funcionamiento de los servomotores y sensores, una descripción de los tipos de sensores, una descripción de cada sensor que presenta características favorables para ser utilizado dentro del proyecto, y se describe de forma general el sensor de visión usado en el proyecto.

---

[5] http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/181/1/T-ESPE-012202.pdf.

En el CAPÍTULO III se analiza las características principales de los robots hexápodos, y así como las diferentes formas de locomoción por patas; dentro de la locomoción por patas se analiza n las diferentes formas del movimiento de las patas de los hexápodos articulados. También se diseña y se simula el ensamblaje de cada pieza del robot mediante la utilización del software solidworks, luego con la utilización de madera se realiza el primer prototipo y con la fibra de vidrio el prototipo final.

En el CAPÍTULO IV se detalla todo lo referente al hardware utilizado en el robot y en la estación de control.

En el CAPÍTULO V se realiza la programación de los algoritmos para el movimiento del robot mediante la utilización del programa Visual Code Studio, y para la programación del control remoto se utiliza el programa del Kit de Rfpic's; el cual permite la comunicación de la estación de control y el robot.

En el CAPÍTULO VI se detalla las diferentes pruebas realizadas para el buen funcionamiento del prototipo y sus consecuentes limitaciones.

En el CAPÍTULO VII se indican las conclusiones y recomendaciones que servirán para futuras investigaciones en el campo de la robótica móvil mediante locomoción por patas.

Tesis: ***"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TELEOPERADO PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBSTÁCULOS EN TUBERÍAS[6]"****. Presentado por Magali Elizabeth Espinoza Velásquez. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, 2006.*

Este proyecto titulado "Diseño y Construcción de un Robot Móvil Teleoperado para la Localización de Obstáculos en Tuberías" es el resultado de una investigación orientada a satisfacer la necesidad primaria de Refinería Estatal Esmeraldas de obtener una visualización interna de las tuberías por donde circulan los diversos productos que intervienen en la industrialización del petróleo.

---

6 http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/227/6/T-ESPE-014311.pdf.

El punto de partida fue crear un prototipo que permita al personal de mantenimiento localizar grandes elementos en lugares inaccesibles, ya sea por la dimensión del lugar o por el peligro que el medio implica, como es el caso de las líneas de petróleos y derivados.

Mecanismos extranjeros, cuyo precio de alquiler sobrepasa los 4000 dólares diarios, han venido siendo empleados para determinar el estado de los tubos y tuberías de la refinería, tal es el caso de los "marranos o raspadores" que son dispositivos mecánicos introducidos en la línea y empujados por el flujo del producto. Divididos en dos clases, los marranos utilitarios sirven para limpiar, separar productos o desaguar al oleoducto; mientras que los raspadores inteligentes se usan como herramientas de inspección interna que proveen la información de la condición de la tubería así como la extensión y localización de cualquier problema. Cabe recalcar que para la inspección con estos dispositivos las plantas deben detener sus funciones algunas horas e incluso días, lo que implica pérdida en la producción.

La unidad móvil diseñada y construida en este proyecto es pionera de un futuro robot que se desea reproducir para reemplazar las funciones de los raspadores inteligentes a menor precio y con tecnología vigente.

En este trabajo se observará el estudio para la adquisición de elementos que permitan una comunicación inalámbrica entre el operador y el robot. Una vez cumplido este objetivo, con un diseño mecánico básico pero confiable y con un software de supervisión y control satisfactorios, se plantean soluciones para el incremento de las facultades del prototipo en el sistema de adquisición de imagen y el alcance de trabajo, desafiando al diseño de un mecanismo electrónico que permita ver el estado interno del oleoducto de gases, sea cual sea su extensión, esto, con el propósito de analizar, detalladamente, la corrosión presente para la prevención de futuras fugas y todo esto sin la necesidad de detener las plantas de tal forma que refinería Estatal Esmeraldas ahorre gastos de alquiler de robots extranjeros y pérdidas de producción.

Tesis: ***"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT ÁPODO PARA TAREAS DE EXPLORACIÓN[7]"****. Presentado por: Cristian Paúl González Espín y Paúl Fernando Urrutia Goyes. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, 2006.*

El proyecto consistió en el diseño y construcción de un sistema de exploración conformado por un robot ápodo y una central de control y monitoreo.

El robot consta de tres módulos que fueron construidos en madera y se articulan mediante servomotores Futaba 3003. Dispone de una cámara de video inalámbrica y una lámpara para que el operador pueda observar el ambiente donde se encuentra el robot. El prototipo dispone de un receptor de control remoto, y una tarjeta de control que procesa las señales recibidas de la central.

La central de control y monitoreo, cuyo elemento principal es una PC, permite el control del robot remotamente mediante una interfaz gráfica. El robot es manipulado mediante control remoto inalámbrico que trabaja mediante RF con modulación FM a una frecuencia de 72.150MHz. La central recepta las señales capturadas por la cámara para visualizar el entorno del robot.

Mediante este robot se puede explorar cualquier tipo de terreno sin la necesidad de exponer al humano a las diversas condiciones del terreno, y a los diversos peligros que pueda tener el ambiente en el cual se esté desenvolviendo.

Tesis: ***"ROBOT MÓVIL PARA RECONOCIMIENTO DE TERRENOS[8]"*** *Presentado por: Francisco Castañón Decena, Carlos Cosme Bustamante y Carlos Uriel Martínez Tovar. Instituto Politécnico Nacional. México D.F.-México, 2011.*

---

7 http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/228/6/T-ESPE-014314.pdf.

8 http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/10710/1/104.pdf.

La robótica móvil en la actualidad se ha desarrollado para un sinfín de soluciones particulares, en este trabajo se atacará principalmente el problema de reconocer terrenos que son de difícil acceso a prioridad para el ser humano.

Por lo tanto, el presente proyecto propone una solución tecnológica para un acceso remoto por parte del usuario en zonas no conocidas, con la finalidad principalmente de localizar personas u objetos en cualquier tipo de siniestro natural desastre, escombros, ruinas o simplemente en lugares de exploración, entre otras cosas.

La solución se presenta inicialmente con un Estudio del Estado del Arte (Capítulo I), el cual integra los contextos de información necesarios para darle la sustentabilidad teórica al proyecto y al mismo tiempo, que resulte una herramienta valiosa para documentar en estos temas para el equipo de trabajo.

Por su parte, en el Capítulo II, se desarrolla el diseño del robot para atacar la problemática, delimitando así todas las cualidades y características que tendrá el robot móvil; todo esto estará basado en un riguroso análisis de la estructura más idónea y el sistema electrónico más apto para su control.

Con lo anterior, se desarrolla en si el robot móvil, teniendo en cuenta la Ingeniería de Automatización y Control, Ingenierías de Diseño Mecánico e Ingeniería Industrial las cuales se podrán observar en el Capítulo III, realizando el análisis del robot construido como una solución integral a través de la sinergia que cada uno de estos elementos aporta al proyecto.

En el Capítulo IV, se enuncian los resultados obtenidos, a través de la comparación de los objetivos unciales con el resultado final, basándose en la experiencia propia de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo y sus respectivas aportaciones en el proyecto.

Finalmente el Capítulo V, detalla los costos generales del robot, las conclusiones, recomendaciones y discusiones, los cuales representan mía valiosa retroalimentación para el equipo de trabajo en relación a mejorar todos aquellos aspectos que sean necesarios, y al mismo tiempo

representan información valiosa para aquellos interesados en el tema en estudio.

El equipo de trabajo pretendió desarrollar un prototipo con tecnología disponible a nivel nacional que ayude a las actividades de reconocimiento de terrenos, que sea alcanzable para un mayor número de tareas, no sólo de reconocimiento.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Tesis para optar el título de ingeniero electrónico: **"SISTEMA CLIENTE SERVIDOR PARA VISIÓN DE UN ROBOT MÓVIL USANDO UNA WIRELESS LAN[9]".** Presentado por Edward Giovanni Arteaga Osorio. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú, 2006.

La presente tesis titulada "Sistema Cliente-Servidor para Visión de un Robot Móvil usando una Wireless Lan" tiene por finalidad, analizar, desarrollar y demostrar el modo de aplicación de un Sistema Cliente-Servidor que transmite imágenes digitales, captadas por un robot móvil hacia una PC remota o servidor.

Para lograr este objetivo se ha diseñado una red inalámbrica usando la especificación IEEE802.11b (llamado Wi-Fi), que es el estándar más difundido para redes de área local inalámbricas. Esta red consiste de un Punto de Acceso y de una tarjeta inalámbrica en el robot móvil, ambos elementos enlazándose por los canales de radio adecuados en la banda de frecuencia seleccionada; también se ha desarrollado un software cliente servidor que en el lado del robot móvil cumple las tareas de captación, empaquetamiento y transmisión de imágenes y en el lado del servidor las tareas de recepción, almacenamiento y visualización de las imágenes en pantalla para monitorear la exploración del robot. Estas aplicaciones de red se realizaron usando el estándar WinSock en el entorno de programación visual.

---

9 http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/.

La investigación teórica previa a la implementación incluyo tópicos de robótica móvil, soluciones anteriores de cliente-servidor en robot móviles, redes de computadoras, librerías software de funciones de red, un amplio estudio de las redes inalámbricas con énfasis en las redes de área local inalámbricas (WLAN) explicando las distintas tecnologías, comparando sus características, modos de funcionamiento, técnicas de transmisión y ventajas. Finalmente se define el estándar IEEE802.11b describiendo sus topologías de red, capa física y subcapa de control de acceso al medio.

El sistema final desarrollado en su conjunto, hardware y software, le permite al robot móvil estar conectado a una PC remota para poderle monitorear, vislumbrar y supervisar sus funciones, consiguiendo controlar a tiempo real lo que ocurre en su centro de operaciones (hogar, comercio y oficinas).

Este sistema permitirá garantizar la seguridad y eficiencia de los servicios atendidos, así como la protección de la inversión permitiendo actuar en la brevedad ante cualquier desperfecto o peligro en la interacción hombre-máquina; proporcionando el bienestar de la colectividad atendida que es el objeto de toda obra humana final.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Calidad del aire de minería subterránea [1]

Introducción

La minería tiene por objetivo extraer recursos minerales de la tierra. La minería subterránea, por su parte, abarca todas las actividades encaminadas a extraer materias primas depositadas debajo de la tierra transportarlas hasta la superficie. La calidad de aire interior se define como la naturaleza del aire que afecta la salud y el bienestar de las personas que se encuentran dentro de una instalación. Para el caso de minas subterráneas, el ser humano suele ser el más afectado por la interacción entre la actividad minera y el medio ambiente, por tanto debe darse prioridad a los aspectos relacionados con la seguridad y la salud de los mineros.

La minería subterránea abarca todas las labores destinadas a explotar materias primas por medios técnicos. Además de la extracción y el transporte, comprende las actividades de prospección y exploración, la dotación de infraestructura, así como las medidas destinadas a garantizarla seguridad de los mineros. El ciclo típico en minería subterránea comprende: perforación, voladura, acarreo y transporte fuera de la mina (rieles o ruedas). En minas subterráneas se realizan galerías, chimeneas, etc.

Importancia del control de la calidad del aire

La minería subterránea crea espacios bajo tierra en los cuales trabajan seres humanos. Las condiciones de trabajo incluyen la humedad ambiental, la temperatura del aire, la presencia de radiaciones nocivas o de gases explosivos, la presencia de agua, la formación de polvo y la emisión de ruido que dependen tanto del mineral como de la roca encajante, de la profundidad de la mina y del uso de maquinaria.

Las emanaciones de "aire usado" en las minas, son el producto normal de las operaciones mineras. Constituidas por la combinación de vapor, humo de explosivos, polvo, humo de vehículos diesel, gases propios de emanaciones rocosas naturales, reacciones químico-ambiental de los minerales presentes; que constantemente circulan por las labores de la mina y luego emanan a la superficie.

El "sistema de ventilación", está constituido por la presencia de "aire fresco" que ingresa a la mina por factores de presión y temperatura en el aspecto natural; y por influencia directa de la fuerza de ventiladores aspirantes o impelentes que introducen aire fresco al interior de las minas subterráneas a través de mangas.

Lo opuesto al "aire fresco", viene a ser el "aire usado"; el que sale del interior de las labores mineras, a través de las "galerías y/o chimeneas de ventilación" en forma natural o por la influencia de ventiladores.

En el interior de las minas subterráneas, se deben considerar las vías de retorno de aire usado; galerías de mayor circulación vehicular; frentes de

trabajo en desarrollo; tájeos de explotación; echaderos y tolvas de mineral; chimeneas y tolvas de desmonte.

La nubosidad, los humos de hidrocarburos y explosivos, polvo, presencia de gases y micropartículas contaminantes, son la causa fundamental de los altos grados de morbilidad y mortalidad, como consecuencia de las enfermedades neumoconióticas y cardiovasculares.

Tabla 2.1 Factores que influyen en el clima y en aire de mina interior.

Fuente de peligro Valores de referencia	Causa	Peligro	Medidas preventivas
deficiencia de oxígeno (O_2) ——— 19 %, como mínimo	desplazamiento debido al enrarecimiento del aire (clima sofocante), grisú, respiración, lámparas de llama abierta, incendios de mina	fatiga, asfixia	ventilación
radiación	componentes radiactivos de la roca, sondas de medición	efectos nocivos de la radiación	restricción de las horas de trabajo con control dosimétrico
radón	emisiones gaseosas de la roca	efectos nocivos de la radiación	ventilación, restricción de las horas de trabajo

Fuente: http://es.scribd.com/doc/3135799/Control-Ambiental-Mineria.

Tabla 2.2 Factores que influyen en el clima y en aire de mina interior.

Fuente de peligro Valores de referencia	Causa	Peligro	Medidas preventivas
metano (CH_4) ——— explosivo en concentraciones de 5 - 14 %	emisiones gaseosas del carbón	explosión	extracción de gas, ventilación, instalación de dispositivos de seguridad en las máquinas para evitar explosiones de grisú
polvo de carbón	extracción y transporte del carbón	explosión	uso de técnicas de precipitación de polvo, prevención de explosiones de grisú
monóxido de carbono (CO) ——— > 50 ppm	gases de escape, emisiones gaseosas en minas de carbón de piedra paradas	intoxicación	ventilación
dióxido de carbono (CO_2) ——— > 1 %	emisiones gaseosas en depósitos de sal, gases de escape, desprendimiento de gas de aguas termales	asfixia	ventilación

Fuente: http://es.scribd.com/doc/3135799/Control-Ambiental-Mineria.

Tabla 2.3 Factores que influyen en el clima y en aire de mina interior.

Fuente de peligro Valores de referencia	Causa	Peligro	Medidas preventivas
sulfuro de hidrógeno (H_2S) > 20 ppm	desprendimiento de gas en aguas de mina y termales	intoxicación	ventilación
óxidos de nitrógeno (NO_x) vapores de voladura	voladuras	intoxicación	ventilación, restricción de voladuras a horas determinadas
gases de escape	motores de combustión interna	intoxicación	ventilación
gases de fuegos latentes, humo	incendios en galerías	intoxicación	apagado y contención del incendio, medidas preventivas
aerosoles de aceite	aparatos neumáticos	intoxicación	precipitación del aceite
calor	temperatura elevada de las rocas, calor emitido por motores	fatiga	ventilación, enfriamiento del aire

Fuente: http://es.scribd.com/doc/3135799/Control-Ambiental-Mineria.

Contaminantes presentes en el aire de mina

Los contaminantes presentes en minas subterráneas son:

I. Gases contaminantes.

II. Partículas (polvo).

III. Radiación.

IV. Ruido.

I. Gases contaminantes

Monóxido de carbono (CO): Gas extremadamente venenoso, es incoloro, inodoro e insípido, posee una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. Una concentración mayor a 750 ppm en el aire causa la muerte por la formación de carboxihemoglobina (COHb) en la sangre que impide la respiración celular, Es uno de los gases más peligrosos que existe y es la causa del 90% de los accidentes fatales en minas por intoxicación por gases. Su fuente principal es la quema incompleta de combustibles fósiles como el petróleo, carbón, gas, gasolina etc. Dentro de los efectos que producen se encuentra:

a. Afecta al transporte del oxígeno en el cuerpo humano.
b. Disminución de funciones neuroconductuales.
c. Menor peso en recién nacidos.
d. Retardo en el desarrollo post natal.

Figura 2.1 Proceso de intoxicación por monóxido de carbono.

Fuente: http://es.scribd.com/doc/3135799/Control-Ambiental-Mineria.

Dióxido de carbono (CO_2): Es un gas invisible, no tiene color y olor. Tiene un sabor ligeramente ácido. Se produce por la respiración del hombre, incendios, por la descomposición de materias orgánicas, por aguas termales y en las voladuras. Es un gas más pesado que el aire, por lo tanto siempre se le encuentra en las partes más bajas y en zonas abandonadas. Sus síntomas son: Respiración rápida y agitación y aún en reposo. Donde hay presencia de CO_2 siempre habrá falta de oxígeno y viceversa.

Óxidos de nitrógeno (NO_x): De estos los más importantes por su toxicidad son el NO (monóxido nítrico) y el NO_2 (dióxido de nitrógeno). El NO_2 es uno de los componentes del smog fotoquímico y la lluvia ácida. Dentro de los efectos que producen se encuentra:

a. Inducción al edema pulmonar.
b. Aumenta susceptibilidad a infecciones.
c. Daño celular.

d. Irritación y pérdida de mucosas.
e. Exacerbación de asma.

Ozono (O_3): Considerado como contaminante secundario que a nivel troposférico se forma por la reacción del NO_2 con COV (compuestos orgánicos volátiles) en presencia de luz solar.

Principal componente del smog fotoquímico o niebla fotoquímica que causa efectos nocivos en seres humanos y plantas. Las altas concentraciones producen:

a. Irritación de vías respiratorias superiores.
b. Dolor de cabeza y tórax.
c. Incremento de mucosidad.
d. Cierre de vías respiratorias.
e. Aumento en la incidencia de ataques asmáticos.
f. Languidez.

Dióxido de azufre (SO_2): Es un gas incoloro con olor picante que se disuelve en agua fácilmente, no es inflamable ni explosivo, produce una sensación gustatoria a concentraciones de 0,3 a 1,0 ppm (partes por millón). Una concentración mayor a 100 ppm produce la muerte. Dentro de los efectos que producen se encuentra:

a. Afecta las vías respiratorias.
b. Altas concentraciones provocan bronquitis y bronco constricción.
c. Aumento en morbilidad y mortalidad en personas de tercera edad.
d. Aumento de morbilidad en niños.
e. Afecta principalmente a personas que sufren de asma o de enfermedades respiratorias agudas.

Metano de mina de carbón (MMC): Es el gas de metano liberado del carbón o de los estratos alrededor de la roca durante el proceso de minería de carbón. Es un gas aproximadamente 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono por lo cual la reducción de

emisiones de gases de MMC es la principal preocupación para el Organismo de Protección Ambiental (EPA).

II. Partículas contaminantes

Material partículado (PTS, PM10, PM 2,5): Este contaminante engloba tanto partículas sólidas como líquidas. Aquellas cuyo diámetro aerodinámico es igual o menor a 100 mieras se les conoce como PTS (partículas totales en suspensión), aquellas igual o menores a 10 micras se les conocen como PM10 (partículas menores a 10 micras) y las igual o menores a 2,5 m como PM2.5. La peligrosidad del material partículado aumenta conforme disminuye el diámetro aerodinámico de la partícula, debido a su potencialidad de penetrar en las vías respiratorias inferiores.

III. Radiación

El principal contaminante por radiación, por ser del tipo natural es:

Radón: Gas radiactivo incoloro, inodoro e insípido que se forma de manera natural en las rocas del suelo, especialmente en los granitos y esquistos. Puede penetrar desde el suelo y acumularse en el interior de los edificios poco ventilados, alcanzando concentraciones peligrosas. El radón proviene de la descomposición natural del uranio, un elemento que se encuentra en casi todos los tipos de suelo, en el agua y en muchos materiales de construcción. El radón puede causar cáncer de pulmón. Las partículas radiactivas que el radón emite al descomponerse pueden quedar atrapadas en los pulmones. A medida que continúan descomponiéndose en el interior de los pulmones, estas partículas despiden pequeñas explosiones de energía que pueden dañar los tejidos del pulmón y causar cáncer.

Programa de protección respiratoria

El empleador debe establecer un programa completo de protección respiratoria de acuerdo con normas de protección respiratoria que incluya:

1. Monitoreo periódico del aire
2. Capacitación de los trabajadores.
3. Selección de máscaras respiratorias.
4. Determinación médica de la habilidad del trabajador para desempeñar el trabajo mientras utiliza una máscara respiratoria.
5. Examen de idoneidad del respirador.
6. Mantenimiento, inspección, limpieza y almacenamiento de máscaras respiratorias.

2.2.2 Robots móviles [2]

Vehículos con Ruedas: Los vehículos con ruedas son la solución más simple y eficiente para conseguir la movilidad en terrenos suficientemente duros y libres de obstáculos, permitiendo conseguir velocidades relativamente altas. Como limitación más significativa cabe mencionar el deslizamiento en la impulsión. Dependiendo de las características del terreno pueden presentarse también deslizamientos y vibraciones. La locomoción mediante ruedas es poco eficiente en terrenos blandos.

Los robots móviles emplean diferentes tipos de locomoción mediante ruedas que les confiere características y propiedades diferentes respecto a la eficiencia energética, dimensiones, cargas útiles y maniobrabilidad. La maniobrabilidad se consigue en vehículos omnidireccionales. Un vehículo omnidireccional en el plano es capaz de trasladarse simultáneamente e independientemente en cada eje del sistema de coordenadas, y rotar según el eje perpendicular.

A continuación se comentan brevemente las principales características de los sistemas de locomoción más comunes en los robots móviles.

A. Ackerman: Es el utilizado en vehículos de cuatro ruedas convencionales. De hecho, los vehículos robóticos para exteriores resultan normalmente de la modificación de vehículos convencionales tales como automóviles o incluso vehículos más pesados. Este sistema de locomoción se ilustra en la figura 2.2. La rueda delantera interior gira un ángulo ligeramente

superior a la exterior ($\theta_1 > \theta_0$) para eliminar el desplazamiento. Las prolongaciones de los ejes de las dos ruedas delanteras intersectan en un punto sobre la prolongación del eje de las ruedas traseras. El lugar de los puntos trazados sobre el suelo por los centros de los neumáticos son circunferencias concéntricas con centro el eje de rotación P_1 en la figura. Si no se tienen en cuenta las fuerzas centrifugas, los vectores de velocidad instantánea son tangentes a estas curvas.

Este tipo de locomoción es del NavLab 1, un vehículo autónomo que ha venido empleándose en el Robotics Institute de Carnegie Mellon University desde 1986 para experimentos de navegación autónoma en exteriores y del NavLab 2, vehículo todo terreno que se emplea desde 1991.

El mayor problema de la locomoción Ackerman es la limitación en la maniobrabilidad.

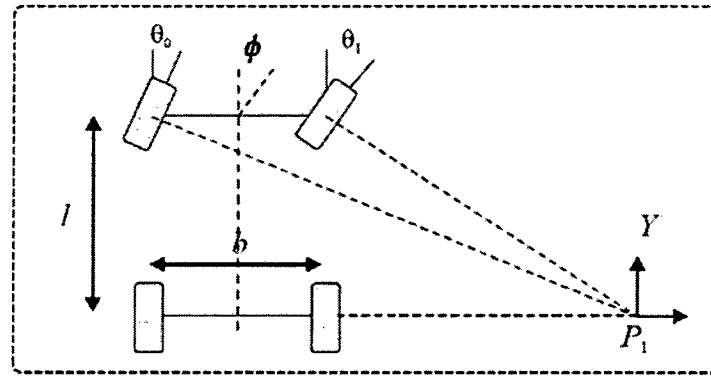


Figura 2.2 Locomoción del sistema Ackerman.

Fuente: Robótica manipuladores y robots móviles. Aníbal Ollero Baturone.

B. Triciclo clásico: La rueda delantera sirve tanto para la tracción como para el direccionamiento. El eje trasero, con dos ruedas laterales, es pasivo y sus ruedas se mueven libremente. La maniobrabilidad es mayor que la configuración anterior pero puede presentar problemas de estabilidad en terrenos difíciles. El centro de gravedad tiende a desplazarse cuando el vehículo se desplaza por una pendiente, causando la perdida de tracción.

Este sistema de locomoción es la del vehículo robótico Romero 3R (Ollero y otros, 1999) desarrollado en los laboratorios de la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. Debido a su simplicidad, es bastante frecuente en vehículos robóticos para interiores y exteriores pavimentados.

Existen otros tipos de locomoción para los robots móviles como: Direccionamiento diferencial, pistas de deslizamiento, Skid Steer, etc.

2.2.3 Microcontrolador PIC18F2550 [3]

Introducción

Microchip ha lanzado varias gamas de PIC con elevadas prestaciones, los PIC18, los PIC24 y los dsPIC. Con la gama alta, Microchip mantiene la arquitectura básica que tan buenos resultados ha obtenido con la gama baja, media y además reduce sus limitaciones. Los PIC18F2550 tienen una arquitectura RISC avanzada Harvard con 16 bits de bus de programa y 8 bits de bus de datos. La figura 2.3 muestra su configuración de pines.

Principales características

- Arquitectura RISC avanzada, hardware de 16 bits con 8 bits de datos.
- Hasta 64KB de memoria de programa y 77 instrucciones.
- Multiplicador Hardware 8x8.
- Hasta 3968 bytes de RAM y 1KBytes de EEPROM.
- Frecuencia máxima de reloj 48 MHz.
- Pila de 32 niveles.
- Múltiples fuentes de interrupción.
- Periférico de comunicación serial EUSART, Bus serie universal USB.
- Temporizadores: TMR0, TMR1, TMR2 y TMR3.
- Módulos Captura/Comparación/PWM (CCP).
- Módulo mejorado de CAPTURA/COMPARACIÓN/PWM (ECCP).
- Módulo convertidor de 10-bit analógico digital (A/D).

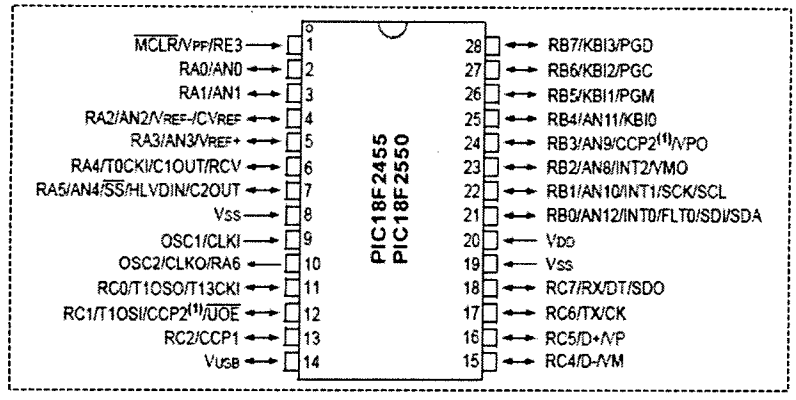


Figura 2.3 Configuración de pines del microcontrolador PIC18F2550.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Organización de la memoria

El PIC18F2550 dispone de las siguientes memorias:

- Memoria de programa: Memoria FLASH interna de 32.768 bytes:
  - Almacena instrucciones y constantes/datos.
  - Puede ser escrita/leída mediante un programador externo o durante la ejecución del programa mediante unos punteros.
- Memoria RAM de datos: Memoria SRAM interna de 1.536 bytes en la que están incluidos los registros de función especial:
  - Almacena datos de forma temporal durante la ejecución del programa. Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución mediante diversas instrucciones.
- Memoria EEPROM de datos: Memoria no volátil de 256 bytes.
  - Almacena datos que se deben conservar aun en ausencia de tensión de alimentación.
  - Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución a través de registros.
- Pila: Bloque de 31 palabras de 21 bits.
  - Almacena la dirección de la instrucción que debe ser ejecutada después de una interrupción o subrutina.
- Memoria de configuración: Memoria en la que se incluyen los bits de configuración (12 bytes de memoria flash) y los registros de identificación (2 bytes de memoria de sólo lectura).

Arquitectura

En la figura 2.4 se muestra la arquitectura del microcontrolador PIC18F2550, el cual dispone de buses diferentes para el acceso a la memoria de programa y a la memoria de datos (arquitectura Harvard):

- Bus de la memoria de programa: 21 líneas de dirección y 16/8 líneas de datos (16 líneas para instrucciones / 8 líneas para datos).
- Bus de la memoria de datos: 12 líneas de dirección y 8 líneas de datos.

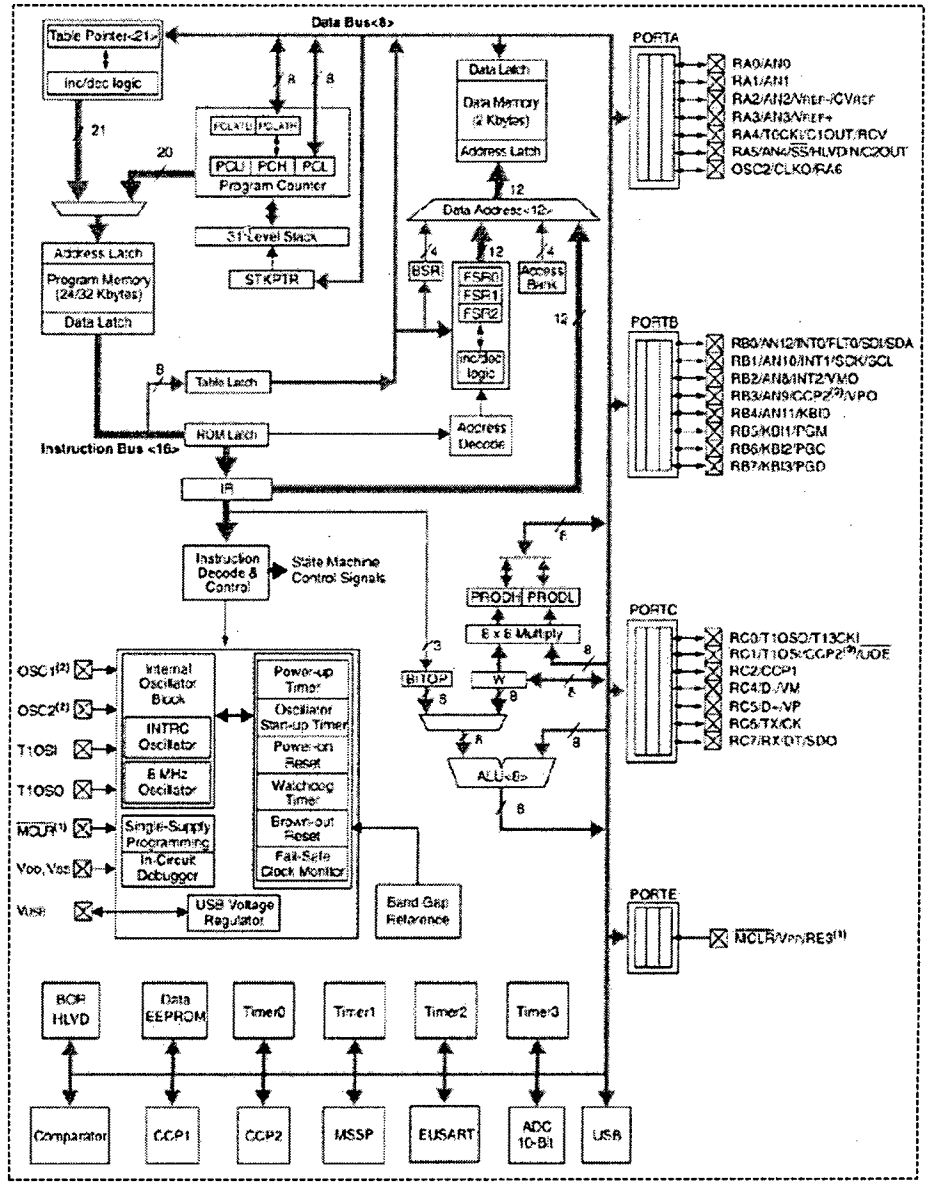


Figura 2.4 Arquitectura del microcontrolador PIC18F2550.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Esto permite acceder simultáneamente a la memoria de programa y a la memoria de datos. Es decir, se puede ejecutar una instrucción (lo que por lo general requiere acceso a la memoria de datos) mientras se lee de la memoria de programa la siguiente instrucción (proceso pipeline).

Memoria de programa

El PIC18F2550 posee una capacidad máxima de memoria de programa de 2M x 16 bits (1FFFFFH-000000H), de los cuales solo se encuentra disponible 32.768 x 16 bits (7FFFH-0000H), como se ve en figura 2.5.

Las instrucciones ocupan 2 bytes (excepto las instrucciones CALL, MOVFF. GOTO y LSFR que ocupan 4). Por lo tanto, la memoria de programa puede almacenar hasta 16.384 instrucciones.

Primero se almacena la parte baja de la instrucción y luego la parte alta (para las instrucciones de 4 bytes primero los bytes menos significativos y luego los más significativos). Las instrucciones siempre empiezan en direcciones pares. La operación de lectura en la posición de memoria por encima de 7FFFH da '0' como resultado (equivalente a la instrucción NOP).

Direcciones especiales de la memoria de programa:

- La vectorización del Reset es 0000H.
- La vectorización de las interrupciones de alta prioridad ocupa la dirección de la memoria de programa: 0008H.
- La vectorización de las interrupciones de baja prioridad ocupa la dirección de la memoria de programa: 0018H.

La memoria de programa puede ser leída, borrada y escrita durante la ejecución del programa. La operación que se utiliza normalmente en tiempo de ejecución es la de lectura de tablas o datos almacenados en programa.

Contador de programa: El PC (contador de programa) tiene 21 bits (PCU, PCH y PCL). El bit menos significativo del PC apunta a BYTES, no a WORDs, por lo que es "0". El PC se incrementa de dos en dos. Se dispone de los correspondientes registros auxiliares PCLATU y PCLATH para actuar de forma combinada con el PC cuando éste se escribe o se lee.

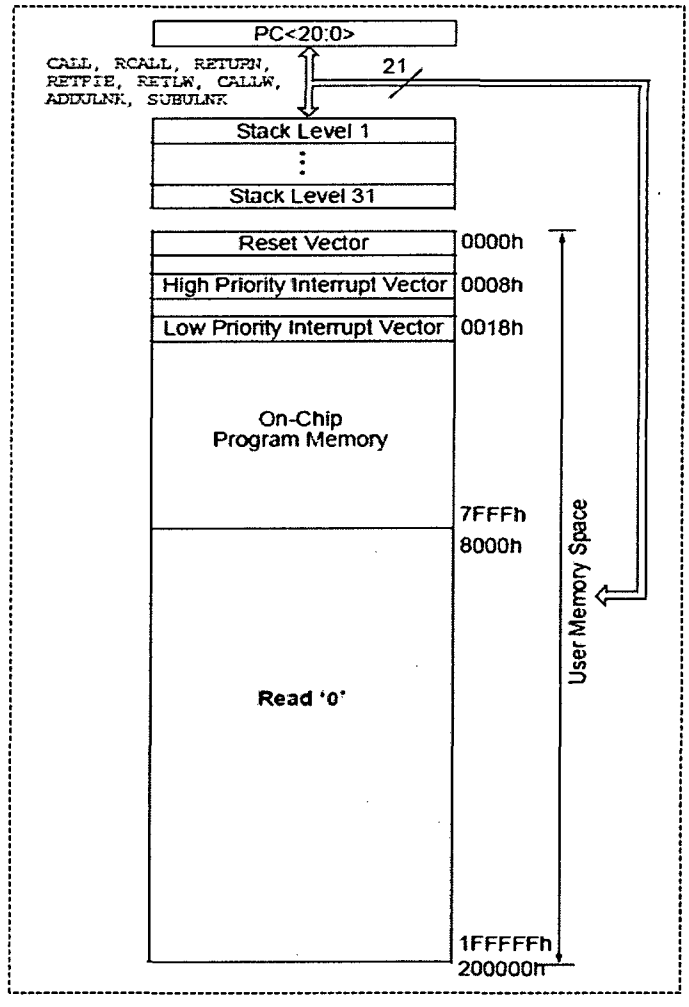


Figura 2.5 Memoria de programa del microcontrolador PIC18F2550.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Memoria de configuración: Se trata de un bloque de memoria situado a partir de la posición 30000H de la memoria de programa (más allá de la zona de memoria de programa de usuario). En esta memoria de configuración se incluyen:

- Bits de configuración: contenidos en 12 bytes de memoria flash permiten la configuración de algunas opciones del PIC como:
  - Opciones del oscilador.
  - Opciones de reset.
  - Opciones del Watchdog.
  - Opciones de la circuitería de depuración y programación.

- Opciones de protección contra escritura de la memoria de programa y de la memoria EEPROM de datos.

  Estos bits se configuran generalmente durante la programación C, o pueden ser leídos y modificados durante la ejecución del programa.

- Registros de identificación: se trata de dos registros situados en las direcciones 3FFFFEH y 3FFFFFH que contienen información del modelo y revisión del dispositivo. Son registros de sólo lectura y no pueden ser modificados por el usuario.

Pila: La Pila es un bloque de memoria RAM independiente de 31 palabras de 21 bits y un puntero de 5 bits, que sirve para almacenar temporalmente el valor del PC cuando se produce una llamada a una subrutina o interrupción. El "Top Of Stack" es accesible se puede leer y escribir (será conveniente quitar previamente las interrupciones). El puntero de pila (contenido en el registro STKPTR) es un contador de 5 bits que indica la posición actual del final de pila. El contenido del final de pila es accesible mediante los registros TOSU, TOSH, TQSL.

Cuando se procesa una interrupción o se ejecutan las instrucciones CALL o RCALL (el PC está apuntando a la siguiente instrucción) se incrementa el STKPTR y se almacena el valor del PC en el final de pila. Cuando se ejecutan las instrucciones RETURN, RETLW o RETFIE se copia en el PC el valor almacenado en la cima de pila y se decrementa el STKPTR.

Memoria de datos

Los PIC18 tienen hasta un total de 4 KBytes agrupados en 16 bancos, con 256 bytes cada uno. Como en el resto de las gamas, existen los registros de propósito general GPR y los registros especiales SFR; éstos últimos se sitúan en la zona más alta (desde F00h hasta FFFh). El PIC18F2550 dispone una memoria RAM de datos 1.536 bytes (6 bancos de 256 bytes). Además dispone de 126 bytes dedicados a los registros de función especial (SFRs) situados en la parte alta del banco 15 que muestra en la figura 2.6.

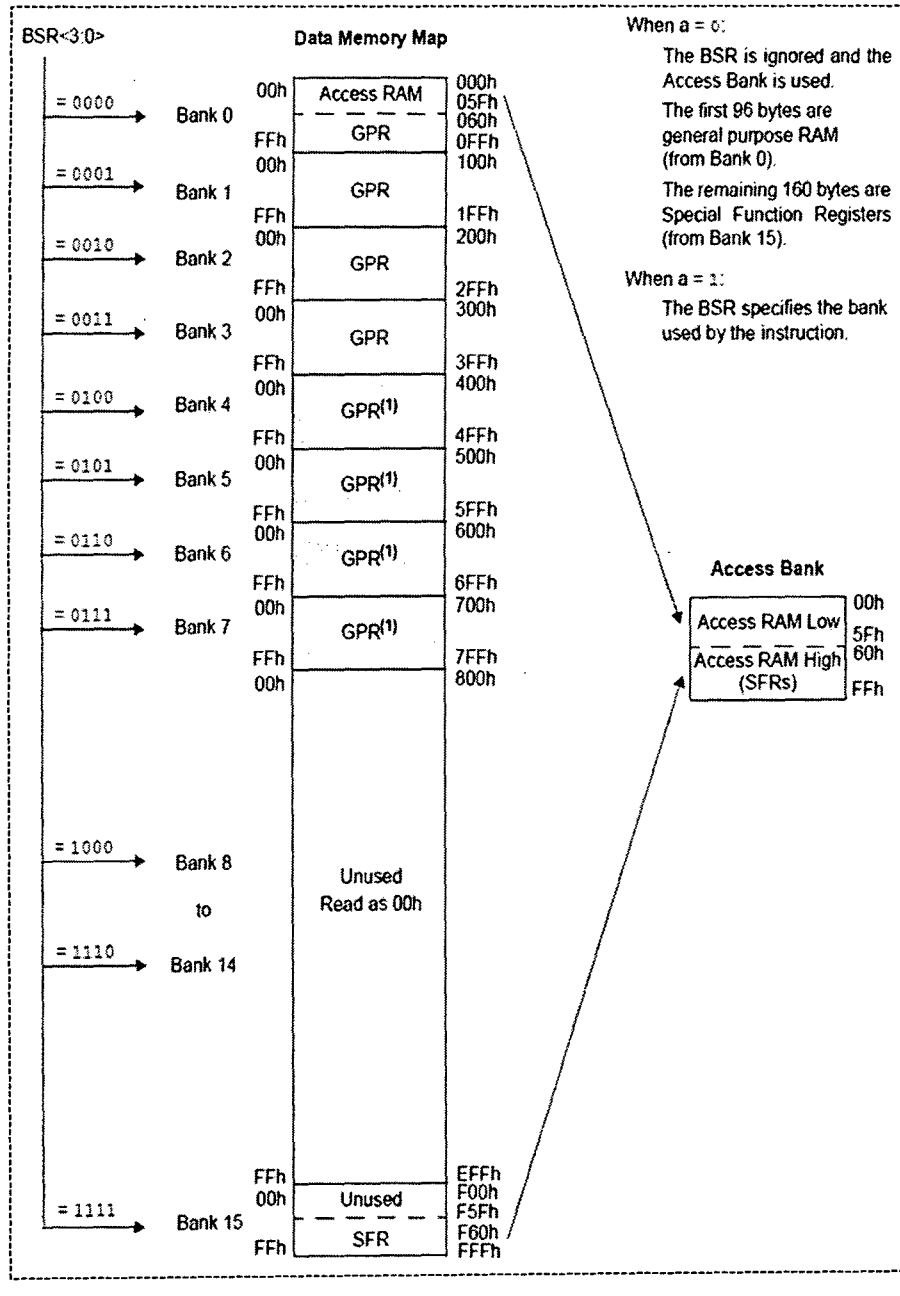


Figura 2.6 Memoria de datos del microcontrolador PIC18F2550.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Para acceder a un byte de la memoria RAM de datos primero se debe seleccionar el banco al que pertenece el byte mediante el registro de selección de banco (BSR) y, a continuación, direccionar el byte dentro del banco. Además existe una modalidad de acceso rápido a las 126 posiciones de la parte baja del banco 0 y a los 126 bytes de SFR.

La memoria RAM de datos se compone de registros de propósito general (GPRs), los cuales pueden ser utilizados por el usuario y de registros de función especial (SFRs), con los cuales se puede monitorizar/controlar el funcionamiento de la CPU y de las unidades funcionales del PIC. En el PIC18F2550 se sitúa en el bloque de memoria de 0xF60 a 0xFFF, como se observa en la figura 2.7. Se distinguen dos conjuntos de SFRs:

- SFRs asociados con el núcleo del PIC: CPU: WREG, STATUS, BSR, etc.; Interrupciones: INTCON, PIEI, PIRI, IPRI, etc.; Reset: RCON.
- SFRs asociados con las modalidades funcionales: Timers: TOCON, TMRIH, TMRIL, TICQN, etc.; Convertidor ADC: ADRESH, ADRESL, ADCONO, AOCON1, etc.; EUSART: TXREG, TXSTA, RCSTA, etc.; CCP: CCPRIH, CCPRIL, CCPICON, etc. y MSSP: SSPSTAT, SSPDATA, SSPCFG, etc. Puertos de E/S: TRISA, PORTA, TRISB, PORTB, TRISC, PORTC, etc.

Memoria EEPROM: El PIC18F2550 dispone una memoria EEPROM de datos de 256 bytes. Al ser una memoria no volátil, los datos almacenados en ella se mantienen en ausencia de tensión de alimentación. El acceso a esta memoria se realiza mediante los SFRs: EECON1, EECON2, EEDATA y EEADR. Esta memoria permite hasta 1.000.000 de ciclos de borrado/escritura. Se puede leer/escribir de forma individual en cada una de las 256 posiciones de memoria. La duración de un ciclo completo de borrado/escritura de un byte en la memoria EEPROM es de unos 4 ms.

Modos de direccionamiento: El modo de direccionamiento es la forma en la que se obtienen los datos a ser utilizados en la instrucción. Existen 4 modos de direccionamiento: inherente, literal, directo e indirecto.

- Modo de direccionamiento inherente: En este modo, o bien la instrucción no tiene operando o bien el operando viene especificado en el propio código de operación de la instrucción.
- Modo de direccionamiento literal: En este modo, el valor del operando viene indicado de forma explícita en la instrucción.

- Modo de direccionamiento directo: La dirección en la que se encuentra el valor del operando viene indicada de forma explícita en la instrucción.

Address	Name	Address	Name	Address	Name	Address	Name	Address	Name
FFFh	TOSU	FDFh	INDF2[1]	FBFh	CCPR1H	F9Fh	IPR1	F7Fh	UEP15
FFEh	TOSH	FDEh	POSTINC2[1]	FBEh	CCPR1L	F9Eh	PIR1	F7Eh	UEP14
FFDh	TOSL	FDDh	POSTDEC2[1]	FBDh	CCP1CON	F9Dh	PIE1	F7Dh	UEP13
FFCh	STKPTR	FDCh	PREINC2[1]	FBCh	CCPR2H	F9Ch	—[2]	F7Ch	UEP12
FFBh	PCLATU	FDBh	PLUSW2[1]	FBBh	CCPR2L	F9Bh	OSCTUNE	F7Bh	UEP11
FFAh	PCLATH	FDAh	FSR2H	FBAh	CCP2CON	F9Ah	—[2]	F7Ah	UEP10
FF9h	PCL	FD9h	FSR2L	FB9h	—[2]	F99h	—[2]	F79h	UEP9
FF8h	TBLPTRU	FD8h	STATUS	FB8h	BAUDCON	F98h	—[2]	F78h	UEP8
FF7h	TBLPTRH	FD7h	TMR0H	FB7h	ECCP1DEL	F97h	—[2]	F77h	UEP7
FF6h	TBLPTRL	FD6h	TMR0L	FB6h	ECCP1AS	F96h	TRISE[3]	F76h	UEP6
FF5h	TABLAT	FD5h	T0CON	FB5h	CVRCON	F95h	TRISD[3]	F75h	UEP5
FF4h	PRODH	FD4h	—[2]	FB4h	CMCON	F94h	TRISC	F74h	UEP4
FF3h	PRODL	FD3h	OSCCON	FB3h	TMR3H	F93h	TRISB	F73h	UEP3
FF2h	INTCON	FD2h	HLVDCON	FB2h	TMR3L	F92h	TRISA	F72h	UEP2
FF1h	INTCON2	FD1h	WDTCON	FB1h	T3CON	F91h	—[2]	F71h	UEP1
FF0h	INTCON3	FD0h	RCON	FB0h	SPBRGH	F90h	—[2]	F70h	UEP0
FEFh	INDF0[1]	FCFh	TMR1H	FAFh	SPBRG	F8Fh	—[2]	F6Fh	UCFG
FEEh	POSTINC0[1]	FCEh	TMR1L	FAEh	RCREG	F8Eh	—[2]	F6Eh	UADDR
FEDh	POSTDEC0[1]	FCDh	T1CON	FADh	TXREG	F8Dh	LATE[3]	F6Dh	UCON
FECh	PREINC0[1]	FCCh	TMR2	FACh	TXSTA	F8Ch	LATD[3]	F6Ch	USTAT
FEBh	PLUSW0[1]	FCBh	PR2	FABh	RCSTA	F8Bh	LATC	F6Bh	UEIE
FEAh	FSR0H	FCAh	T2CON	FAAh	—[2]	F8Ah	LATB	F6Ah	UEIR
FE9h	FSR0L	FC9h	SSPBUF	FA9h	EEADR	F89h	LATA	F69h	UIE
FE8h	WREG	FC8h	SSPADD	FA8h	EEDATA	F88h	—[2]	F68h	UIR
FE7h	INDF1[1]	FC7h	SSPSTAT	FA7h	EECON2[1]	F87h	—[2]	F67h	UFRMH
FE6h	POSTINC1[1]	FC6h	SSPCON1	FA6h	EECON1	F86h	—[2]	F66h	UFRML
FE5h	POSTDEC1[1]	FC5h	SSPCON2	FA5h	—[2]	F85h	—[2]	F65h	SPPCON[3]
FE4h	PREINC1[1]	FC4h	ADRESH	FA4h	—[2]	F84h	PORTE	F64h	SPPEPS[3]
FE3h	PLUSW1[1]	FC3h	ADRESL	FA3h	—[2]	F83h	PORTD[3]	F63h	SPPCFG[3]
FE2h	FSR1H	FC2h	ADCON0	FA2h	IPR2	F82h	PORTC	F62h	SPPDATA[3]
FE1h	FSR1L	FC1h	ADCON1	FA1h	PIR2	F81h	PORTB	F61h	—[2]
FE0h	BSR	FC0h	ADCON2	FA0h	PIE2	F80h	PORTA	F60h	—[2]

Figura 2.7 Registros de función especial de la memoria de datos.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

- Modo de direccionamiento indirecto: en este modo, la dirección de memoria en la que se encuentra el dato viene especificado en uno de los registros FSR0, FSR1 y FSR2.

Interrupciones

Se dispone de dos niveles de prioridad:

- Nivel alto vectorizado en la dirección 0008H.
- Nivel bajo, vectorizado en la dirección 0018H.

Todas las interrupciones pueden ser programadas con cualquiera de las dos prioridades, salvo la interrupción externa 0 (siempre tiene alta prioridad). Se puede forzar el modo compatible "sólo alta prioridad", mediante el bit IPEN = 0. GIE/GIEH & PEIE/GIEL controlan los respectivos permisos globales. El servicio de interrupción de alta prioridad impide el servicio de baja prioridad. Cuando se ejecuta RETFIE se pone el permiso correspondiente al nivel que se está sirviendo. En la figura 2.8 se muestra las fuentes de interrupción.

Todas las interrupciones disponen de 3 bits de configuración (excepto la interrupción externa 0 que tiene dos):

- Bit de habilitación de interrupción: permite habilitar a nivel individual la interrupción.
- Flag de interrupción: se pone a '1' cuando se produce la condición de interrupción independientemente de si la interrupción está habilitada o no. Debe ponerse a '0' por software cuando se procesa la interrupción.

Valid #INT_ Keywords

PIC18F2550

RTCC	Timer 0 overflow (using RTCC name)
TIMER0	Timer 0 overflow (using TIMER0 name)
TIMER1	Timer 1 overflow
TIMER2	Timer 2 overflow
TIMER3	Timer 3 overflow
EXT	External interrupt
EXT1	External interrupt #1
EXT2	External interrupt #2
RB	Port B any change on B4-B7
AD	Analog to digital conversion complete
RDA	RS232 receive data available
TBE	RS232 transmit buffer empty
SSP	SPI or I2C activity
CCP1	Capture or Compare on unit 1
CCP2	Capture or Compare on unit 2
BUSCOL	Bus collision
LOWVOLT	Low voltage detected
COMP	Comparator event
EEPROM	Write complete
OSCF	System oscilator failed
USB	Universal Serial Bus activity

Figura 2.8 Fuentes de interrupciones del CCS para el PIC18F2550.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

- Bit de prioridad de interrupción: establece si la interrupción es de alta o de baja prioridad (no está disponible para la interrupción externa 0).

Oscilador

El microcontrolador necesita un reloj estable para proporcionar una fuente de reloj separada.

Control del oscilador: El oscilador se controla mediante dos registros de configuración y otros dos de control.

En CONFIG1L y CONFIG1H se elige el oscilador y las opciones de los escaladores del USB (prescaler y postscaler), como se ve en la figura 2.9.

Los bits de configuración se seleccionan al programarlos y permanecerán hasta que se vuelvan a programar.

El registro OSCCON selecciona el modo activo de reloj.

El registro OSCTUNE se utiliza para recortar frecuencia de la fuente INTRC.

Tipos de Oscilador: Hay que programar los bits de configuración FOSC3:FOSC0 para seleccionar un modo de estos:

- **XT:** XTAL/ circuito resonante.
- **XTPLL:** XTAL/ circuito resonante con PLL activo.
- **HS:** XTAL/ circuito resonante muy rápido.
- **HSPLL:** XTAL/ circuito resonante muy rápido con PLL activo.
- **EC:** Reloj externo con Fosc/4 como salida en RA6.
- **ECIO:** Reloj externo con RA6 como E/S.
- **ECPLL:** Reloj externo con Fosc/4 como salida en RA6 y PLL activo.
- **ECPIO:** Reloj externo con RA6 como E/S y PLL activo.
- **INTHS:** Oscilador interno usado como reloj del microcontrolador y HS como reloj del USB.
- **INTXT:** Oscilador interno usado como reloj del microcontrolador y XT como reloj del USB.
- **INTCKO:** Oscilador interno usado como reloj del microcontrolador y EC como reloj del USB con Fosc/4 como salida en RA6.

Unidades funcionales

El PIC18F2550 dispone de una serie de Unidades Funcionales (UF) que:

- Realizar tareas específicas especializadas (conversión A/D, transmisión/recepción de datos, generación de señales digitales con temporizaciones programables, etc.).

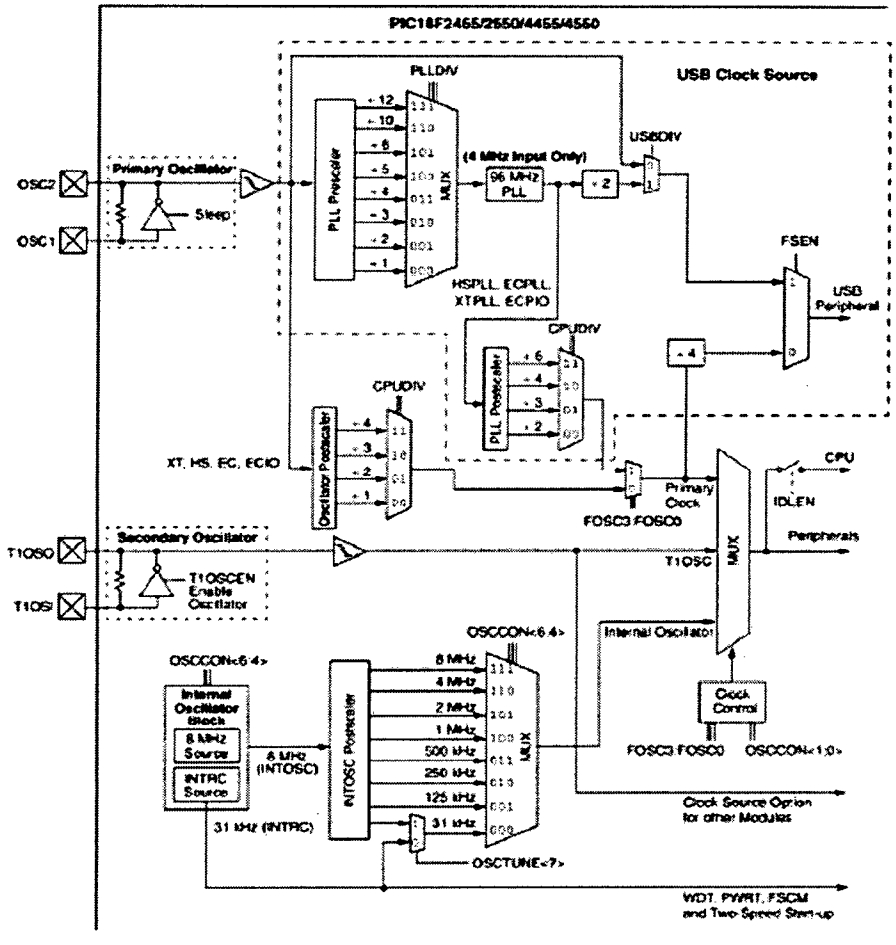


Figura 2.9 Los escaladores del USB, permiten múltiples configuraciones.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

- Optimizar el rendimiento del PIC, ya que estas unidades trabajan en paralelo a la CPU permitiendo que esta se centre en otras tareas como el procesado de datos, cálculos, movimiento de datos, etc.

Las Unidades Funcionales más importantes del PIC18F2550, se muestran en la tabla 2.4.

Puertos de entrada/salida: El PIC18F2550 dispone de 4 puertos de E/S que incluyen un total de 23 líneas digitales de E/S, como se ve en la tabla 2.5. Cada puerto de E/S tiene asociado 3 registros:

- Registro TRIS: Mediante este registro se configuran cada una de las líneas de E/S del puerto como ENTRADA (bit correspondiente a '1') o como SALIDA (bit correspondiente el '0').
- Registro PORT: Mediante este registro se puede leer el nivel de pin de E/S y se puede establecer el valor del *latch* de salida.
- Registro LAT: Mediante este registro se puede leer o establecer.

Tabla 2.4 Unidades funcionales del PIC18F2550.

Puerto de E/S	Unidad de comparación/PWM mejorada (ECCP)
Temporizador 0	Canal de comunicación serie EUSART
Temporizador 1	Canal de comunicación serie MSSP
Temporizador 2	Módulo analógico de comparación
Temporizador 3	Canal de transmisión de datos en paralelo (SPP)
Conversor A/D	Acceso a memoria externa (EMA)
Módulo USB	Unidad de comparación/captura/PWM (CCP)

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Tabla 2.5 Puertos de E/S del PIC18F2550.

Puerto E/S	Líneas de entrada/salida
PORTA	7 Líneas de entrada/salida
PORTB	8 Líneas de entrada/salida
PORTC	7 Líneas de entrada/salida
PORTE	1 Línea de entrada

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Temporizadores

Temporizador 0: Configurable como temporizador/contador de 8 bits/16 bits. Pre-escalar de 8 bits programable e interrupción por desbordamiento.

Temporizador 1: Configurable como temporizador/contador de 16 bits. Dispone de un oscilador propio que puede funcionar como: Señal de reloj del temporizador 1. Señal de reloj del PIC en modos de bajo consumo. Pre-escalar de 3 bits programable e interrupción por desbordamiento.

Temporizador 2: Temporizador de 8 bits (registro TMR2). Registro de periodo PR2. Pre-escalar de 2 bits programable (1:1, 1:4, 1:16). Post-escalar de 4 bits (1 :1...1 :16). Interrupción por igualdad entre TMR2 y PR2. Se puede utilizar junto con los módulos CCP y ECCP.

Temporizador 3: Configurable como temporizador/contador de 16 bits. Dispone de varias opciones de señal de reloj en el modo temporizador: Oscilador principal con o sin pre-escalar. Oscilador del temporizador 1 con o sin pre-escalar. Pre-escalar de 3 bits programable.

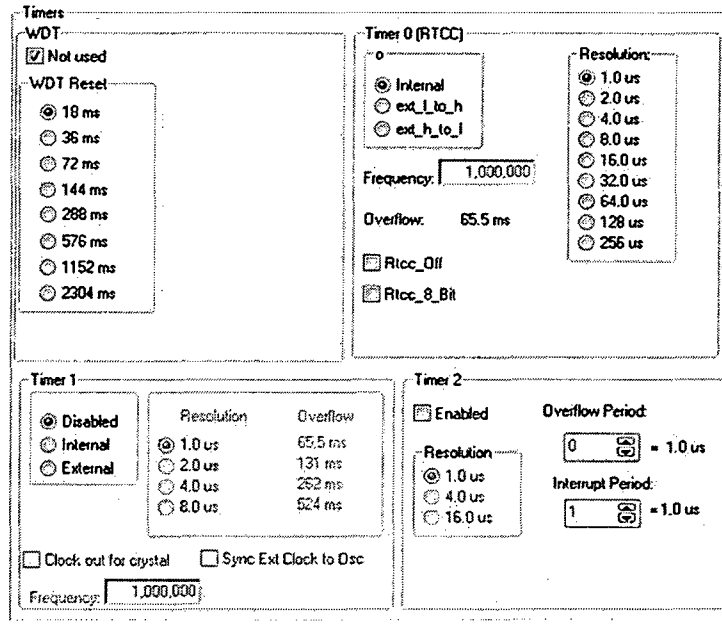


Figura 2.10 Opciones en CCS para los temporizadores.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Canal de comunicación serie (EUSART)

Características fundamentales (ver figura 2.11):

- Modos de trabajo: Modo asíncrono de 8 bits, modo asíncrono de 9 bits, modo síncrono Maestro, modo síncrono Esclavo.
- Auto-activación por detección de dato recibido.
- Detección automática de velocidad de comunicación (baudrate).
- Transmisión y detección de carácter de BREAK (bus LIN).

Módulo USB del PIC18f2550

En la figura 2.12 se observan, donde están ubicados los pines D- y D+ en caso de usar el módulo USB interno (Correspondientes a las señales de datos del puerto USB en el PIC18F2550), así como también los otros pines que intervienen en su funcionamiento.

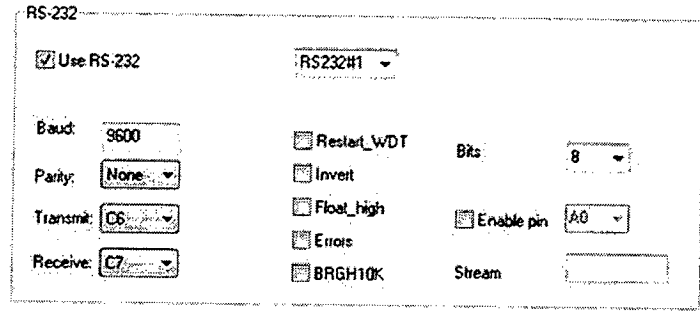


Figura 2.11 Opciones en CCS para la comunicación serie RS232.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Funcionamiento del módulo USB: La familia de dispositivos PIC18FX455/X550 contiene una interfaz serie compatible con el SIE (serial interfase engine) USB "full-speed" (2.0) y "de poca velocidad" (1.0) que permite la comunicación rápida entre cualquier dispositivo USB y el microcontrolador.

El SIE puede interconectarse directamente al USB, utilizando el transmisor-receptor interno, o puede conectarse a través un transmisor-receptor externo. El PIC tiene un regulador interno de 3.3V para alimentar el transmisor-receptor interno en aplicaciones de 5V.

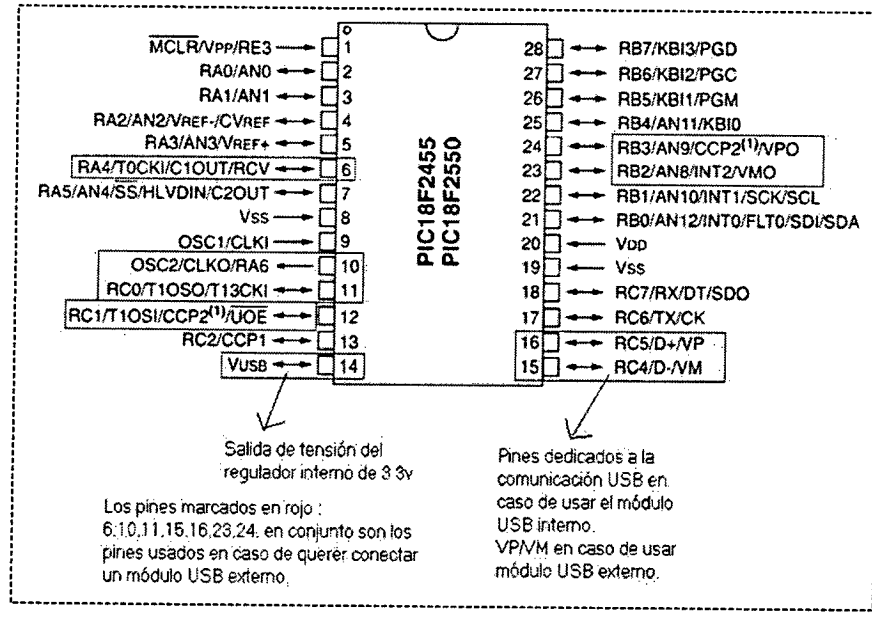


Figura 2.12 Pines del PIC18F2550 que intervienen en la comunicación USB.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Se han incluido algunas características especiales en el hardware para mejorar el funcionamiento. Se proporciona memoria de puerto dual en la memoria de datos del dispositivo (RAM del USB) para tener acceso directo a la memoria desde el núcleo del microcontrolador y desde el SIE.

También se proporcionan unos buffer para que el programador elija libremente el uso de la memoria dentro del espacio de la RAM del USB.

Existe un puerto paralelo para transmitir grandes cantidades de datos (SSP) como se observa en la figura 2.13, para esto se ha proporcionado la ayuda de transferencia ininterrumpida de volúmenes de datos grandes, por ejemplo datos síncronos, a los buffers de memoria externos.

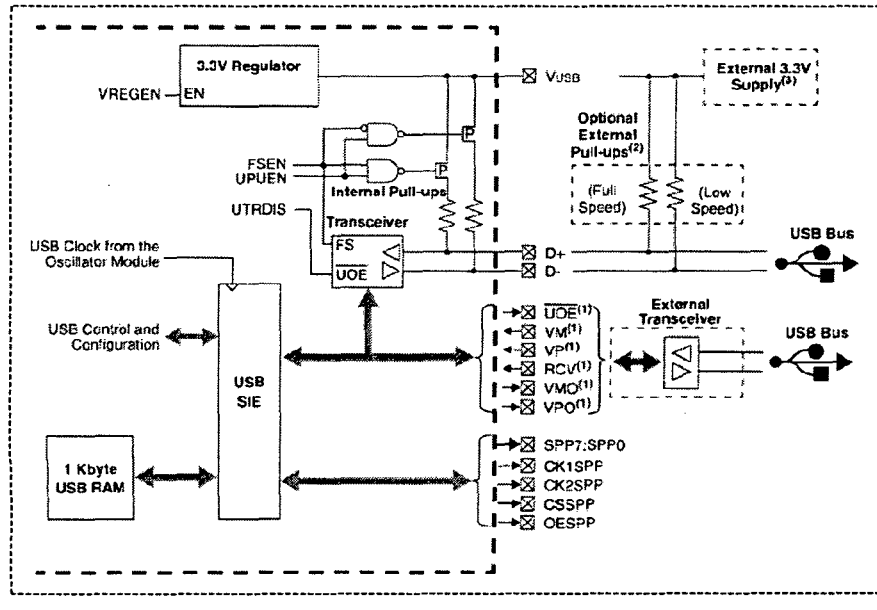


Figura 2.13 Diferentes opciones de conexión del USB con el exterior.

Fuente: Compilador C CCS y simulador Proteus para PIC. Eduardo García B.

Nota 1: Esta señal solo está disponible si el transmisor interno está desactivado (UTRDIS=1).

Nota 2: Las pull-ups externas son opcionales, pero si queremos usarlas hay que desactivar las propias resistencias de pull-up internas.

Nota 3: El regulador de voltaje de 3.3V, nos provee de tensión al módulo USB en aplicaciones de 3.3V. En caso de tener una fuente externa de 3.3V conectada a Vusb, tenemos que desactivar el módulo interno del regulador.

Vemos en la imagen los diferentes pines que según configuración de la SIE, podemos usar un transceptor externo.
Algo muy importante que tenemos que ver es el puente bidireccional entre la SIE y el SSP. Este puente nos va a permitir el transporte a alta velocidad de grandes flujos de datos en modo síncrono.

Estado y control del módulo USB: En total hay 22 registros para manejar las transacciones del USB. Los registros son:

- Registro de control del USB (UCON).
- Registro de configuración del USB (UCFG).
- Registro de estado de la transferencia del USB (USTAT).
- Registro de dirección de dispositivo USB (UADDR).
- Registros del número del frame (UFRMH: UFRML).
- Registros activadores de los Endpoints de 0 a 15 (UEPN).

Enumeración: Cuando el dispositivo se une al bus, el anfitrión crea un proceso de enumeración en un intento por identificar el dispositivo. Esencialmente, el anfitrión interroga al dispositivo, recopila información tal como el consumo de energía, tarifas y tamaños de los datos, protocolo y otra información descriptiva, que contienen los descriptores. El proceso de enumeración sería:

1. Reset del USB: Resetear el dispositivo. Así, el dispositivo no se configura y no tiene una dirección (dirección 0).
2. Conseguir el descriptor del dispositivo: El anfitrión solicita una pequeña parte del descriptor del dispositivo.
3. Reset del USB: Resetear el dispositivo otra vez.
4. Fijar la dirección: El anfitrión asigna una dirección al dispositivo.
5. Conseguir el descriptor del dispositivo: El anfitrión recupera el descriptor del dispositivo, recolectando la información; del fabricante, tipo de dispositivo, control máximo del tamaño de los paquetes.
6. Conseguir los descriptores de configuración.

7. Conseguir cualquier otro descriptor.
8. Fijar una configuración.

2.2.4 Introducción al puerto USB [4]

USB es una especificación de las empresas Compaq, Intel, Microsoft y NEC, que describe un canal serie que soporta una gran variedad de periféricos de media y baja velocidad, con soporte integral para transferencias en tiempo real (isócronas) como voz, audio y vídeo comprimido, y que permite mezclar dispositivos y aplicaciones isócronas y asíncronas. Por lo tanto, entre los dispositivos USB más característicos se pueden citar teclados, ratones, joysticks, tabletas gráficas, monitores, módems, impresoras, escáneres, CD-ROMs, dispositivos de audio (como micrófonos o altavoces digitales), cámaras digitales y otros dispositivos multimedia.

La versión 1.1 (La que soporta el PIC18F2550) establece:

- Un acceso al bus gestionado directamente por el Controlador USB, para permitir transferencias isócronas y eliminar los tiempos de arbitración.
- Una velocidad de 12 Mbps (Full Speed o FS) y un subcanal de 1,5 Mbps (Low Speed o LS) para los dispositivos más lentos, como ratones y joysticks. La coexistencia en un mismo sistema de dispositivos FS y LS se maneja mediante conmutación automática y dinámica de velocidad entre unas transferencias y otras.
- Una conectividad excepcional, ya que puede manejar hasta 127 dispositivos simultáneamente que se pueden conectar y desconectar en caliente, sin tener que reiniciar el sistema.
- Una configuración automática de dispositivos, que elimina la necesidad de realizar configuraciones manuales por medio de puentes.
- La coexistencia de dispositivos isócronos y asíncronos. Los dispositivos isócronos se atienden en función del ancho de banda y latencia requeridos, y los asíncronos se atienden durante el tiempo restante no consumido por los dispositivos isócronos.

- Una distribución de alimentación desde el controlador USB, que permite la conexión tanto de dispositivos alimentados desde el bus como autoalimentados.
- Una arquitectura fácilmente escalable para permitir la existencia de varios controladores USB en un sistema.
- La versión 1.1 es soportada por los siguientes sistemas operativos: Windows 98\Windows 2000\Windows XP\Windows Vista\Windows 7 y además los siguientes OS ajenos a Windows, Linux\Mac OS.

Protocolo USB

El protocolo de nivel físico se basa en tokens (testigos). El controlador USB transmite tokens que incluyen la dirección del dispositivo destino, y el dispositivo que detecta su dirección en el token responde y lleva a cabo la transferencia de datos con el controlador. De esta manera, el Controlador USB maneja la parte más compleja del protocolo, generando los tokens de transferencias de datos a 12 Mbps o a 1,5 Mbps, y controlando la conexión lógica entre el sistema y las funciones internas de cada dispositivo. El controlador USB también maneja el consumo en el bus a través de las funciones Suspender/Continuar, por medio de las cuales controla los modos Reposo/Activo de los dispositivos. Esta arquitectura permite el diseño de dispositivos extremadamente simples y de bajo costo.

USB divide el tiempo en espacios de 1ms denominados Tramas, durante las cuales se llevan a cabo las comunicaciones a través de Transacciones, las cuales se componen a su vez de Paquetes. Las transacciones se compone de 3 fases: Token, Dato y Validación (Handshake):

- La fase de Token se compone de un paquete, enviado por el controlador USB, y está presente en toda transacción. Contiene los campos:
  - PID (identifica el tipo de paquete). Todos los PIDs van protegidos por bits redundantes.
  - Dirección del elemento destino (7 bits de dispositivo + 4 bits de elemento interno al dispositivo), y CRC5.

- La fase de Datos (opcional) se compone de los paquetes de datos que se transfieren entre el Controlador USB y el dispositivo. Cada paquete se compone de los campos PID, Datos, y CRC16.
- La fase de Validación (opcional) se usa para indicar el resultado de la transacción. Se compone sólo de un campo PID.

Adicionalmente, el controlador USB indica el principio de cada Trama y la transmisión hacia dispositivos LS mediante tokens especiales.

Tipos de transferencia de datos

USB soporta 4 tipos de transferencias de datos:

- Síncrona: Este tipo proporciona un método de transferencia para cantidades de datos grandes (hasta 923 bytes) con la entrega puntual asegurada; sin embargo, la integridad de los datos no se asegura. Es bueno en aplicaciones donde los datos son pequeños.
- Bulk: Este método de transferencia permite grande cantidades de datos que se transferirán asegurando la integridad de los datos; sin embargo, la puntualidad de la entrega no se asegura.
- Interrupción: Este tipo de transferencia prevé la entrega puntual asegurada para bloques pequeños de datos, se asegura su integridad.
- Control: Para configuración y control de dispositivos, y manejo del bus.

El PIC18F2550 soporta la trasferencia interruptiva (mouse, teclado y cualquier dispositivo HID) y transferencias tipo Bulk (paquetes) en dispositivos como por ejemplo osciloscopios USB.

2.2.5 Control y automatización

A. Control [5]

Durante la década de los cuarenta, los métodos de respuesta en frecuencia hicieron posible que los ingenieros diseñaran sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran con los requerimientos de desempeño. A finales de los años cuarenta y principios de los 50, se desarrolló por completo el método del lugar geométrico de las raíces.

Los métodos de respuesta en frecuencia y del lugar geométrico de las raíces, que forman el núcleo de la teoría de control clásica, conducen a sistemas estables que satisfacen un conjunto más o menos arbitrario de requerimientos de desempeño. En general, estos sistemas son aceptables pero no óptimos en forma significativa.

Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelven más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere de una gran cantidad de ecuaciones. La teoría del control clásica, que trata de los sistemas con una entrada y una salida, pierde su solidez ante sistemas con entradas y salidas múltiples.

El mismo autor menciona que alrededor de 1960, debido a la disponibilidad de las computadoras digitales se hizo posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos; la teoría de control moderna está basada en el análisis del dominio del tiempo, y la síntesis a partir de variables de estados, y se ha desarrollado para enfrentar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requerimientos limitativos respecto de la precisión, el peso y el costo en aplicaciones militares, espaciales e industriales.

Durante los años comprendidos entre 1960 y 1980, se investigaron a fondo el control óptimo tanto de sistemas determinísticos como estocásticos, y el control adaptable, mediante el aprendizaje de sistemas complejos. De 1980 a la fecha, los descubrimientos en la teoría de control moderna se centraron en el control robusto.

Ahora que las computadoras digitales se han vuelto baratas y compactas, se usan como parte integral de los sistemas de control. Las aplicaciones recientes de la teoría de control moderna incluyen sistemas ajenos a la ingeniería.

A_1. Principios de control

- Está basado en la ley universal del equilibrio.
- Es perfectible, con tendencia a la eficacia.
- Es secuencial y repetitivo, debido a que es un sistema.

- El control se apoya en la comprobación, que es una forma de evaluación, supervisión y monitoreo de un proceso.
- Todo control de variables sufre perturbaciones o trastornos por la influencia de ciertos factores, internos y externos.
- Tiene respuesta oscilatoria.
- Es secuencial y repetitivo, debido a que es un sistema.
- Es una comparación entre lo realizado con lo esperado.
- El ser humano es el controlador nato de toda tarea, proceso o acción de controlar.

A_2 Componentes y operaciones básicas en un sistema de control [5]

En la figura 2.14, se puede observar los cuatro componentes básicos de todo sistema de control:

i. *Sensor*, que también se conoce como elemento primario.

ii. Transmisor, el cual se conoce como elemento secundario.

iii. Controlador, que es el "cerebro" del sistema de control.

iv. Elemento final de control, frecuentemente son actuadores como pueden ser válvulas, bombas de velocidad variable, motores eléctricos, transportadores, etc.

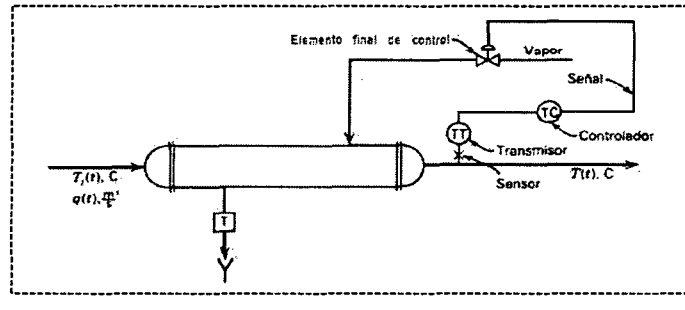


Figura 2.14 Sistema de control del intercambiador de calor.

Fuente: De Control automático de procesos. Smith y Corripio.

La importancia de los elementos estriba en que realizan las tres operaciones básicas que están presentes en todo sistema de control:

i. *Medición (M)*, la medición de la variable que se está controlando, se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.

ii. *Decisión (D)*, en base a la medición, el controlador decide que hacer para mantener la variable dentro de un rango preestablecido.

iii. *Acción (A)*, como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el actuador.

B. Estrategia de control [6]

El autor propone que hay dos sistemas de control:

Sistemas de control de lazo abierto: Es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida.

Son aquellos en que la acción del controlador no se relaciona con el resultado final. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Un ejemplo simple es el llenado de un tanque usando una manguera de jardín. Mientras que la llave siga abierta, el agua fluirá. La altura del agua en el tanque no puede hacer que la llave se cierre.

Estos sistemas se caracterizan por ser:

- Sencillos
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación
- La salida no se compara con la entrada
- Es afectado por las perturbaciones
- La precisión depende de una previa calibración del sistema

"Los sistemas en lazo abierto son económicos pero normalmente inexactos". **Benjamín C. Kuo (1996:09)**. Ver la figura 2.15.

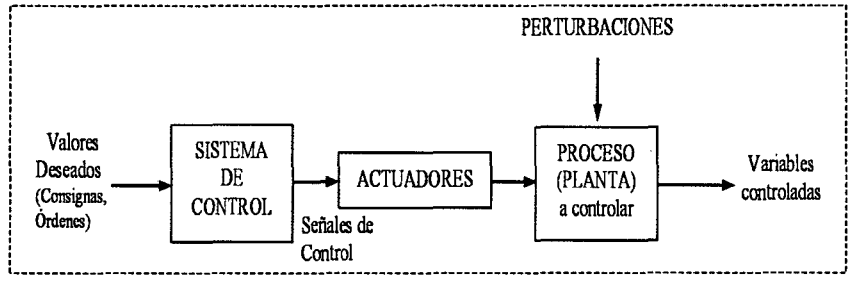


Figura 2.15 Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto.

Fuente: Sistemas de control automático. Kuo Benjamín C.

Sistemas de control de lazo cerrado: Es aquel en el que la acción de control se ejerce en función de la salida. Ver la figura 2.16.

La acción de control se realiza en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La gran mayoría de los sistemas de control en la actualidad son en lazo cerrado.

Sus características son:

- Complejos, y amplios de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y la afecta para el control del sistema.
- Estos sistemas se caracterizan por presentar retroalimentación.
- Más estable a perturbaciones y variaciones internas

Este sistema de control, es más completo, integral y confiable, por las características señaladas como afirma **Benjamín C. Kuo (1996:10)** "Los sistemas en lazo cerrado tienen muchas ventajas sobre los sistemas en lazo abierto".

Se caracteriza por que existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a este conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso.

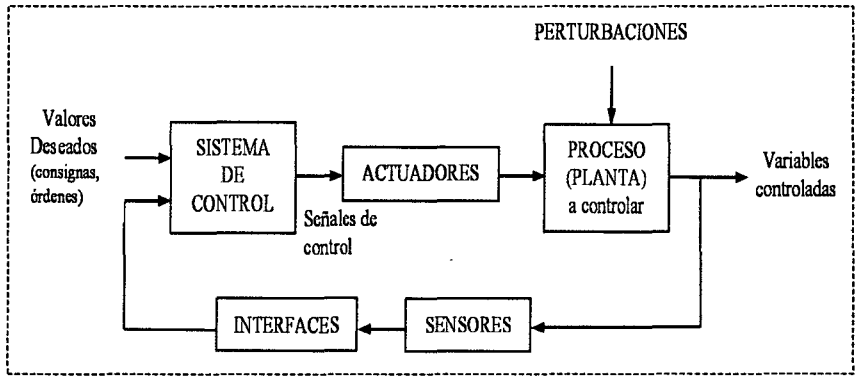


Figura 2.16 Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.

Fuente: Sistemas de control automático. Kuo Benjamín C.

La mayoría de los procesos existentes en la industria utilizan el control en lazo cerrado; por que el producto que se pretende obtener o las variables que se controlan necesita un control continuo en función de unos determinados parámetros de entrada, o bien porque el proceso a controlar se subdivide en una serie de acciones elementales de tal forma que, para realizar una determinada acción sobre el proceso, es necesario que previamente se hayan realizado otra serie de acciones elementales.

C. Modelo estructural de un sistema automatizado [7]

García Moreno, Emilio (2001:10-11), clasifica la estructura de un sistema automatizado en dos partes claramente diferenciados: Parte operativa, y la parte de control o mando, como se ve en la figura 2.17.

C_1 Parte operativa: Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, etc.

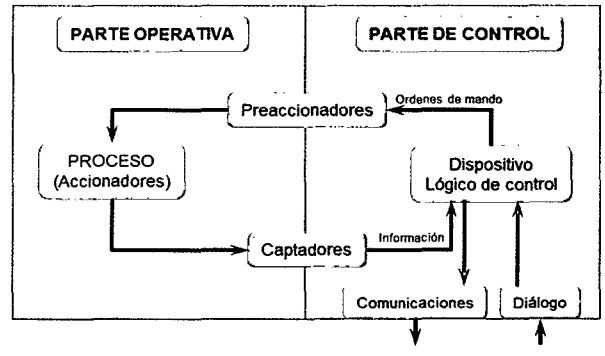


Figura 2.17 Modelo estructural de un sistema automatizado.

Fuente: Automatización de procesos industriales. Emilio García Moreno.

C_2 Parte de control o mando: Que independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones para mantener a la parte operativa bajo control.

El sometimiento de la parte operativa se logra mediante el mantenimiento continuo de un intercambio de información entre la primera y la parte de control o mando. Dicho intercambio se establece a través de los captadores binarios, transductores analógicos y digitales, los dispositivos de pre accionamiento. A partir de los dos primeros se recoge información de los valores de las magnitudes físicas a controlar, así como de sus cambios de estado; tras el tratamiento de la información se envían acciones de mando a través de los preaccionadores. Estos son dispositivos que permiten el control de grandes potencias mediante las señales de pequeña potencia que son emitidas por la parte de control.

Como se puede observar en esta parte, es la tecnología quien se encarga de coordinar las operaciones que gobiernan a la parte operativa. A continuación, describiremos dichas tecnologías que según **García Moreno, Emilio (2001:22-24)** están señalados en la siguiente clasificación, que se muestra en la figura 2.18.

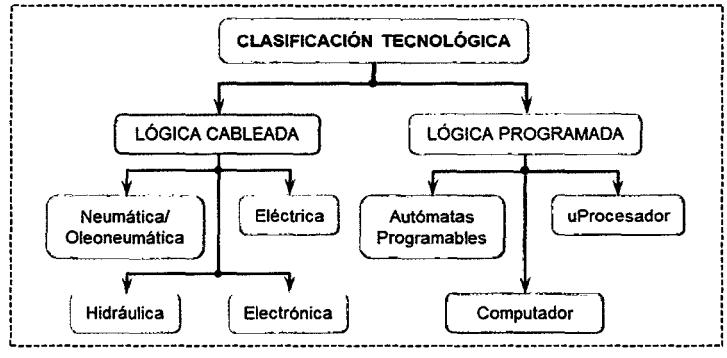


Figura 2.18 Clasificación tecnológica.

Fuente: Automatización de procesos industriales. Emilio García Moreno.

$C_{2.1}$ Lógica cableada: Su denominación viene dada por el tipo de dispositivos que intervienen en su implementación.

- Tecnología eléctrica: Las uniones físicas se realizan mediante cables eléctricos, relés electromagnéticos, interruptores pulsadores etc. El relé actúa como un intermediario para alimentar un determinado circuito en

función de una señal externa, se compone de bobina, conjunto magnético y contactos. El contactor funcionalmente equivalente a un relé, pero más robusto para soportar mayores tensiones y corriente, utilizados en la industrial.

- Tecnología electrónica: La electrónica, es la rama de la física y fundamentalmente una especialización de la ingeniería que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control de flujo microscópico de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente. La automatización electrónica se caracteriza por el empleo de componentes electrónicos tales como: las puertas lógicas, registro de desplazamiento, temporizadores, contadores viables, multiplexadores/demultiplexadores, sumadores, etc., son elementos fundamentales mediante los cuales se elaboran los controladores.
- Tecnología neumática: Esta tecnología ha sido, y es aun frecuentemente utilizada en los automatismos industriales, aunque va quedando relegada a los accionamientos de cierta potencia con algoritmos de control relativamente simples y también para aplicaciones de carácter especial para ambientes explosivos.
- Tecnología hidráulica: En la actualidad en las grandes y medianas empresas de producción se tiene implementado procesos que poseen la necesidad de emplear grandes cantidades de energía. El empleo de la energía hidráulica se hace necesario en este momento, por ejemplo en las máquinas pesadas, grúas, entre otros, son áreas en donde se requieren grandes esfuerzos y presiones que tanto la energía neumática como la energía eléctrica no son apropiados ya sea por razones económicas o por las magnitudes de los esfuerzos requeridos.

$C_{2.2}$ Lógica programada: Se trata de una tecnología desarrollada a partir de la aparición del microcontrolador, y de los sistemas programables basados este en: computador, controladores lógicos y autómatas programables. Constantemente, debido a los altos niveles de integración alcanzados en la microelectrónica, el umbral de rentabilidad de esta tecnología decrece y frente a la lógica cableada presenta gran flexibilidad, posibilidad de cálculo científico e implementación de algoritmos complejos de control de procesos, arquitectura de control distribuido, comunicaciones y gestión.

Las tecnologías más utilizadas para la lógica programada son:

- PLC: Se entiende por controlador lógico programable (PLC) o autómata programable, a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Realiza funciones lógicas: serie, paralelo, temporizaciones, contaje y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.
- Computador: Los computadores no son más que automatismos programables. Se puede decir entonces que la aplicación de los computadores está vinculada a la automatización y el control. Los diferentes requerimientos en cuanto a potencia de cálculo, robustez en el comportamiento, fiabilidad, resistencia a condiciones de operación en ambientes abrasivos, corrosivos etc., ha motivado el desarrollo de diversos tipos de computadores industriales.
- Microprocesador: Es un circuito integrado que viene incluido en un microcontrolador, así como también están incluidos los periféricos necesarios para llevar a cabo el control de un proceso. Los microcontroladores PIC fabricados por microchip constituyen una familia de microcontroladores de distintas presentaciones. Son microcontroladores RISC con

arquitectura Harvard, tienen muy pocas instrucciones y son muy fáciles de utilizar.

En la práctica se suelen usar la combinación de ambas tecnologías, la lógica cableada y la programada según como dice **García Moreno, Emilio (2001:23)** "...muy a menudo, se suelen articular soluciones mediante implementaciones mixtas aprovechando las mejores características de ambas tecnologías...".

2.2.6 Comunicaciones inalámbricas

A. Telecomunicaciones

El término telecomunicación fue defino por primera vez en la reunión conjunta de la XIII Conferencia de la UTI (Unión Telegráfica Internacional) y la III de la URI (Unión Radiotelegráfica Internacional) que se realizó en Madrid el 3 de septiembre de 1932. La definición aprobada del término fue: "Telecomunicación es toda transmisión, emisión o recepción, de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos".

John Markus (1984:750), resalta que la telecomunicación es la "transmisión y recepción a distancia de señales escritos, mensajes, sonidos, o cualquier clase de información...".

Wayne Tomasi y otros (1996:01), detallan que la comunicación electrónica, es la "...transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos...", la información se define como el conocimiento, la sabiduría o la realidad y puede ser en forma analógica (proporcional o continua), tal como la voz humana, información sobre una imagen de video, música, etc.) o en forma digital (números codificados en binario, códigos alfanuméricos, símbolos gráficos, códigos operacionales del microprocesador), así mismo refiere que "...toda información debe convertirse a energía electromagnética antes de que se pueda propagar por un sistema de comunicaciones".

Briceño Márquez, José (2005:261) menciona a los principios de la transmisión de información, "...como el proceso mediante el cual se transfiere información desde un punto en el espacio y en el tiempo, denominado *fuente de información*, hasta otro punto denominado *destino de la información*, con el mínimo de pérdidas o perturbaciones".

[URL4] define telecomunicaciones, como todo procedimiento que permite a un usuario hacer llegar a uno o varios usuarios determinados (telefonía) o eventuales (radio, televisión), información de cualquier naturaleza (documento escrito, impreso, imagen fija o en movimiento, videos, voz, música, señales visibles, señales audibles, señales de mandos mecánicos, etc.), empleando para dicho procedimiento, cualquier sistema electromagnético para su transmisión y/o recepción (transmisión eléctrica por hilos, radioeléctrica, óptica, o una combinación de estos diversos sistemas). Así también menciona que un sistema de telecomunicaciones es el conjunto de equipos y enlaces tanto físicos como electromagnéticos, utilizables para la prestación de un determinado servicio de telecomunicaciones.

[URL5] menciona el siguiente concepto para telecomunicación, (del prefijo griego *tele*, "distancia" o "lejos", "comunicación a distancia") es una técnica, que consistente en transmitir un mensaje de un punto a otro, normalmente con el atributo típico adicional de ser bidireccional. El término *telecomunicación* cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de ordenadores a nivel de enlace. Telecomunicaciones, es toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de cables, radioelectricidad, medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos.

B. Modelo de un sistema de transmisión de información

En cualquier sistema de comunicación se transmite información desde

un origen o fuente a un destino por medio de un canal. Por lo general, la información de la fuente no está en una forma, que tenga la capacidad de viajar a través de un canal, por tal razón se utiliza un dispositivo llamado transmisor en un extremo y un receptor en el otro. Y los elementos son: fuente, transmisor, canal, receptor y destino.

Para **Lathi B. P. (1994:172)**, un sistema de comunicación consta de los siguientes componentes: fuente, transmisor, canal, receptor y destino.

Para **Briceño Márquez, José (2005:261-264)** [8], los componentes de un sistema completo de transmisión de información se puede representar como se muestra en la figura 2.19.

B_1 Fuente de información: La información o inteligencia a transmitir se origina en la fuente de información. Esta información se materializa como un conjunto (que sin perder generalidad supondremos finito y discreto) de n símbolos o mensajes distintos e independientes cuyo significado es conocido en el destino del sistema. La fuente de información así definida se denomina "fuente discreta sin memoria". Hay muchas clases de fuentes de información, incluyendo personas y máquinas, de manera que los símbolos o mensajes pueden tomar una gran variedad de formas: una secuencia de símbolos discretos o letras, una magnitud que varía en el tiempo, etc.; pero cualquiera que sea el mensaje, el propósito del sistema de comunicación es el de proporcionar una réplica más o menos exacta del mismo en el destino.

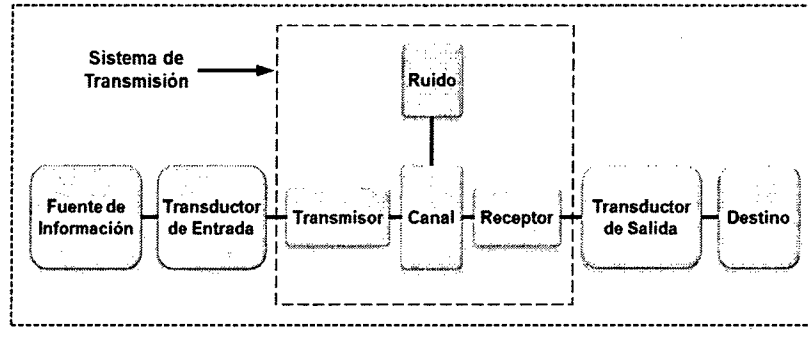


Figura 2.19 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación.

Fuente: De Principios de las comunicación. Briceño Márquez, José.

B_2 Transductor de entrada: El mensaje que produce la fuente no es de naturaleza eléctrica y, por lo tanto, es necesaria la presencia de un "transductor" o "codificador" que convierta el mensaje en una "señal". Esta última es una magnitud eléctrica variable en el tiempo (corrientes o voltajes) compatible con el tipo particular de sistema de transmisión que se emplee. Nótese entonces la diferencia entre información, mensaje y señal: información es la inteligencia o significado que se va a transmitir; es una entidad intangible. Mensaje es la materialización de la información en una cantidad mensurable: el mensaje es el soporte de la información. Señal es la magnitud eléctrica que resulta de la transformación de una magnitud no eléctrica portadora de información en una magnitud eléctrica variable en el tiempo. A este respecto, el número de elementos del conjunto de las señales de salida del transductor debe ser igual al número de elementos del conjunto de símbolos o mensajes de la fuente de información. La señal de salida del transductor se conoce también con el nombre de "señal mensaje".

El transductor de salida o "descodificador", efectúa la operación inversa del transductor de entrada; es decir, reconvierte las señales eléctricas recibidas en los símbolos o mensajes correspondientes, los cuales son presentados al destinatario para su interpretación.

B_3 Transmisor: Aunque no deja de ser frecuente encontrar el transductor de entrada acoplado directamente al canal, como sucede, por ejemplo, en un sistema telefónico local, generalmente es necesario "modular" una señal sinusoidal con la señal del transductor de entrada, sobre todo para transmisión a gran distancia. La "modulación" es la variación sistemática de alguna característica de una señal, denominada "portadora", en concordancia con la "señal modulante".

B_4 Canal: El canal de transmisión es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor. Puede ser un par de conductores, un cable

coaxial, una fibra óptica o sencillamente el espacio libre en el cual la señal se propaga en forma de una onda electromagnética. Al propagarse a través del canal, la señal transmitida se distorsiona debido a las no linealidades y/o las imperfecciones en la respuesta de frecuencia del canal. Otras fuentes de degradación son el "ruido" y la "interferencia" que recoge la señal a su paso por el canal.

B_5 Ruido: El término "ruido" se utiliza comúnmente para denominar aquellas señales que perturban la transmisión y procesamiento de señales en los sistemas de comunicación y sobre las cuales no se tiene un control completo. El ruido que afecta a un sistema de comunicación se clasifica en categorías dependiendo de su origen. Cuando el ruido proviene de los componentes del sistema tales como resistencias, tubos al vacío y dispositivos de estado sólido, se conoce como "ruido interno". La segunda categoría de ruido resulta de fuentes externas al sistema de comunicación e incluye el ruido atmosférico, extraterrestre y el producido por el hombre; es el "ruido externo".

B_6 Receptor: El objetivo del receptor es el de extraer la señal deseada a partir de la señal degradada transmitida por el canal. Como las señales recibidas son en general débiles y plagados de ruido, una primera operación del receptor es la amplificación y filtrado de dichas señales para poderlas procesar. Pero la operación fundamental del receptor es la "demodulación" o "detección", que es el proceso inverso de la modulación en el transmisor. Debido a la degradación de la señal recibida, el receptor no puede reconstruir exactamente la señal original, aunque el tipo de degradación que resulta depende del sistema de modulación utilizado.

B_7 Ancho de banda y potencia de transmisión: En los sistemas de transmisión existen dos parámetros de gran importancia: el ancho de banda del canal y la potencia transmitida. Los sistemas de comunicación deben diseñarse entonces para utilizar estos dos

recursos en la forma más eficiente posible. En general, es difícil optimizar ambos recursos simultáneamente, pues en la mayoría de los canales de comunicación, son "limitados en potencia" o "limitados en ancho de banda". Por ejemplo, los canales telefónicos son canales limitados en ancho de banda, mientras que un canal de microondas lo es en potencia. La meta ideal en el diseño de un sistema de comunicación es la de transmitir información a la máxima velocidad con el mínimo de potencia y ancho de banda.

C. Modos de transmisión

Wayne Tomasi y otros (1996:09) [9], detallan que en los sistemas de comunicaciones electrónicas existen cuatro modos de transmisión:

C_1 Simplex (SX): Las transmisiones pueden ocurrir sólo en una dirección, solo para recibir o solo para transmitir.

C_2 Half-Duplex (HDX): Las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo, llamados también sistemas con alternativa de dos sentidos.

C_3 Full-Duplex (FDX): Las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones al mismo tiempo, también se les denomina líneas simultaneas de doble sentido, dúplex o de ambos sentidos; una ubicación puede transmitir y recibir simultáneamente; sin embargo, la estación que está transmitiendo también debe ser la que recibe.

C_4 Full/Full-Duplex (F/FDX): Es posible transmitir y recibir simultáneamente, pero no necesariamente entre las dos estaciones, es decir una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir de una tercera estación al mismo tiempo. Las transmisiones full/full dúplex se utilizan exclusivamente con circuitos de comunicaciones de datos.

D. Red Inalámbrica [URL6]

El término red inalámbrica (Wireless network en inglés) es un término

que se utiliza en informática para designar la conexión de nodos sin necesidad de una conexión física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de puertos.

Una de sus principales ventajas es notable en los costos, ya que se elimina todo el cable Ethernet y conexiones físicas entre nodos, pero también tiene una desventaja considerable ya que para este tipo de red se debe tener una seguridad mucho más exigente y robusta.

En la actualidad las redes inalámbricas son las tecnologías más prometedoras. Existen dos categorías de las redes inalámbricas.

1. Larga distancia: Estas son utilizadas para distancias grandes como puede ser otra ciudad u otro país.
2. Corta distancia: Son utilizadas para un mismo edificio o en varios edificios cercanos no muy lejanos.

Según su cobertura, se pueden clasificar en diferentes tipos, como se muestra en la figura 2.20:

I. Redes inalámbricas de área personal (WPAN) [URL7]

Una red inalámbrica de área personal (WPAN) incluye redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros. Este tipo de red se usa generalmente para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, impresoras, teléfonos móviles y electrodomésticos) o un asistente personal digital (PDA) a un ordenador sin conexión por cables. También se pueden conectar de forma inalámbrica dos ordenadores cercanos.

Se usan varios tipos de tecnología para las WPAN:

La tecnología principal WPAN es Bluetooth, lanzado por Ericsson en 1994. Ofrece una velocidad máxima de 1 Mbps con un alcance máximo de unos treinta metros. La tecnología Bluetooth, también conocida como IEEE 802.15.1, tiene la ventaja de tener un bajo consumo de energía, algo que resulta ideal para usarla en periféricos de pequeño tamaño.

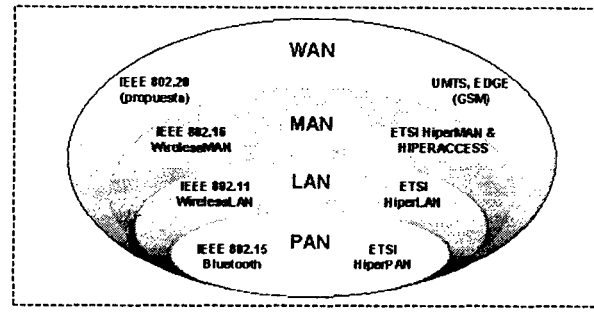


Figura 2.20 Cobertura y estándares de Wireless.

Fuente: http://es.kioskea.net/contents/wireless/wpan.php3.

HomeRF (Home Radio Frequency), lanzada en 1998 por HomeRF Working Group (que incluye a los fabricantes Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola y Microsoft, entre otros) ofrece una velocidad máxima de 10 Mbps con un alcance de 50 a 100 metros sin amplificador. A pesar de estar respaldado por Intel, el estándar HomeRF se abandonó en enero de 2003, en gran medida porque los fabricantes de procesadores empezaron a usar la tecnología Wi-Fi en placa (por medio de la tecnología Centrino, que incluía un microprocesador y un adaptador Wi-Fi en un solo componente).

La tecnología Zigbee (también conocida como IEEE 802.15.4) también se puede utilizar para conectar dispositivos en forma inalámbrica a un costo muy bajo y con bajo consumo de energía. Resulta particularmente adecuada porque se integra directamente en pequeños aparatos electrónicos (como, por ejemplo, electrodomésticos, sistemas estéreos y juguetes). Zigbee funciona en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y en 16 canales, y puede alcanzar una velocidad de transferencia de hasta 250 Kbps con un alcance máximo de unos 100 metros.

Por último, las conexiones infrarrojas se pueden utilizar para crear conexiones inalámbricas en un radio de unos pocos metros, con velocidades que puedan alcanzar unos pocos megabits por segundo. Esta tecnología se usa ampliamente en aparatos electrónicos del hogar (como los controles remotos), pero puede

sufrir interferencias debidas a las ondas de luz. La irDA (Infrared Data Association), lanzada en 1995.

II. Wireless local área network (WLAN)

En las redes de área local podemos encontrar tecnologías inalámbricas basadas en HIPERLAN (del inglés, High Performance Radio LAN), un estándar del grupo ETSI, o tecnologías basadas en Wi-Fi, que siguen el estándar IEEE 802.11 con diferentes variantes.

III. Wireless metropolitan área network (WMAN)

Para redes de área metropolitana se encuentran tecnologías basadas en WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, es decir, Interoperabilidad Mundial para Acceso con Microondas), un estándar de comunicación inalámbrica basado en la norma IEEE 802.16. WiMAX es un protocolo parecido a Wi-Fi, pero con más cobertura y ancho de banda. También podemos encontrar otros sistemas de comunicación como LMDS (Local Multipoint Distribution Service).

IV. Wireless wide área network (WWAN)

Una WWAN difiere de una WLAN (Wireless Local Área Network) en que usa tecnologías de red celular de comunicaciones móviles como WiMAX (aunque se aplica mejor a Redes WMAN), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), GPRS, EDGE, CDMA2000, GSM, CDPD, Mobitex, HSPA y 3G para transferir los datos. También incluye LMDS y Wi-Fi autónoma para conectar a Internet.

2.2.7 Modulación digital [URL8]

Modulación engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Se entiende por modulación a la alteración de alguna o varias características de una señal que se denomina portadora, en función de otra señal conocida como moduladora (La información).

La modulación surge por la necesidad de transmitir señales que, previamente modificadas (moduladas), adquieran propiedades más convenientes para su propagación por el medio de comunicación utilizado. La modulación facilita las transmisiones reduciendo considerablemente el tamaño de antenas y transformadores, reduce el nivel de ruido e interferencias a excepción de las modulaciones por amplitud, permite la múltiplexación de varias señales en un mismo medio al utilizar múltiplexación por división de frecuencias y reduce los niveles de potencia necesarios para su tratamiento y propagación.

Toda señal se caracteriza en un instante determinado por su frecuencia, amplitud y fase, son estos parámetros los que se pueden variar para transmitir información. Existen tres tipos de modulación básicas, en amplitud, en frecuencia y en fase.

Para el caso de transmisiones digitales, las modulaciones más utilizadas son:

1. ASK, modulación en amplitud (Amplitud Shift Keying): La modulación ASK es un caso particular de la modulación en amplitud (AM). En este tipo de modulación, la portadora ve modificada su amplitud en función de la señal a transmitir. Ver figura 2.21.

   La modulación ASK tiene un coste relativamente bajo, el circuito modulador y demodulador son sencillos, y requiere un ancho de banda reducido en comparación con otros métodos, lo que permite tener muchas señales en un mismo canal.

2. FSK, modulación en frecuencia (Frecuency Shift Keying): La modulación FSK es un caso particular de la modulación FM. La señal portadora modifica su frecuencia en función de la señal a transmitir, como se observa en la Figura 2.21.

   La Modulación FSK no depende de la amplitud, ya que la información está en la frecuencia, por lo que se obtiene inmunidad ante perturbaciones que puedan modificar la envolvente, pero tiene el problema de que requiere un gran ancho de banda. Se utiliza

normalmente en enlaces asíncronos y es el sistema ideal para transmisiones a baja velocidad.

3. PSK, modulación en fase (Phase Shift Keying)

La modulación PSK es una modulación en fase. Aquí la portadora ve modificada su fase en función de la señal a transmitir. Ver figura 2.21.

Es el tipo de modulación más eficiente para transmitir datos binarios en presencia de ruido y es ideal para comunicaciones síncronas. El inconveniente se presenta en el diseño muy complejo de los circuitos moduladores y demoduladores.

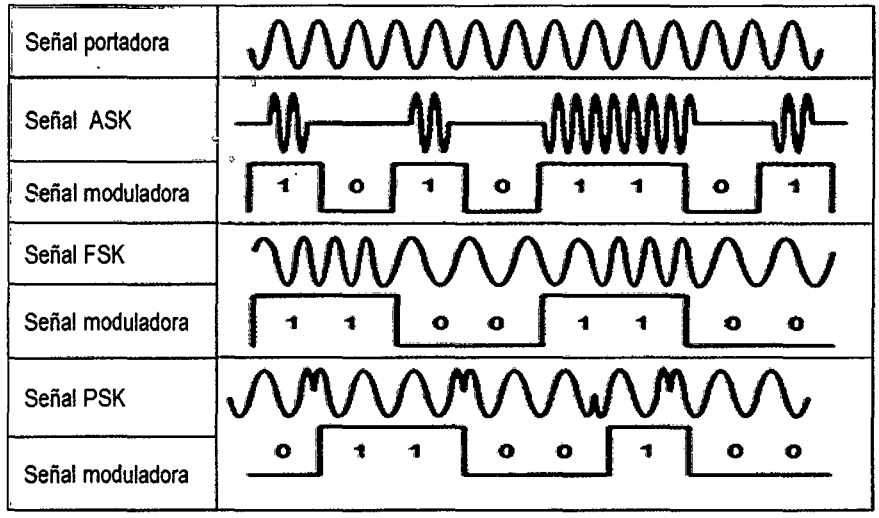


Figura 2.21 Se muestran las señales portadora, moduladora y moduladas.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3n).

2.2.8 Teleoperación [URL9]

La teleoperación, es un conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano. Por tanto, teleoperar es la acción que realiza un ser humano de operar o gobernar a distancia un dispositivo; mientras que un sistema de teleoperación será aquel que permita teleoperar un dispositivo, que se denominará dispositivo teleoperado.

Un sistema de teleoperación consta de los siguientes elementos:

Operador o teleoperador: Es el ser humano que realiza a distancia el

control de la operación. Su acción puede ir desde un control continuo hasta una intervención intermitente, con la que únicamente se ocupa de monitorizar y de indicar objetivos y planes cada cierto tiempo.

Dispositivo teleoperado: Podrá ser un manipulador, un robot, un vehículo o dispositivo similar. Es la máquina que trabaja en la zona remota y que está siendo controlada por el operador.

Interfaz: Conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de teleoperación. Se considera al manipulador maestro como parte del interfaz, así como a los monitores de vídeo, o cualquier otro dispositivo que permita al operador mandar información al sistema y recibir información del mismo.

Sensores: Conjunto de dispositivos que recogen la información, tanto de la zona local como de la zona remota, lo utiliza la interfaz y el control.

Control y canales comunicación: Conjunto de dispositivos que modulan, transmiten y adaptan el conjunto de señales que se transmiten entre la zona remota y la local. Generalmente se contará con uno o varias unidades de procesamiento.

En los sistemas de teleoperación de robots la intervención del operador humano muchas veces es imprescindible, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son muy complejos.

En muchos casos, el operador esta físicamente separado del robot, existiendo un sistema de telecomunicaciones entre los dispositivos que utiliza directamente el operador y el sistema de control local del robot.

2.2.9 Inspección visual [URL10]

La inspección visual es la técnica más antigua entre los Ensayos no destructivos, y también la más usada por su versatilidad y su bajo costo.

En ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición.

Esta técnica es, y ha sido siempre un complemento para todos los demás Ensayos no destructivos, ya que menudo la evaluación final se hace por medio de una inspección visual.

Según los instrumentos que se utilicen como ayuda a la visión, y la distancia (o el acceso) que se tenga entre el inspector y el objeto de estudio, la Inspección Visual se puede dividir en dos grupos:

- Inspección visual directa.
- Inspección visual remota.

En la primera, la inspección se hace a una distancia corta del objeto, aprovechando al máximo la capacidad visual natural del inspector. Se usan lentes de aumento, microscopios, lámparas o linternas, y con frecuencia se emplean instrumentos de medición como calibradores, micrómetros y galgas para medir y clasificar las condiciones encontradas. La inspección visual remota se utiliza en aquellos casos en que no se tiene acceso directo a los componentes a inspeccionar.

2.2.10 Medidor de monóxido de carbono **EXTECH CO10** [URL11]

El monóxido de carbono, cuya fórmula química es CO, es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce cuando se queman materiales combustibles como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera en ambientes de poco oxígeno. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua y los aparatos domésticos que queman combustible, como las estufas, también pueden producirlo si no están funcionando correctamente. Los vehículos parados con el motor encendido lo emanan.

El monóxido de carbono disminuye la cantidad de oxígeno disponible para las células, lo cual dificulta la función celular; es levemente más liviano que el aire (ver la tabla 2.6). Por lo tanto, el detector deberá colocarse entre 15 y 30 cm del cielorraso hasta 1.5 metros del suelo.

Límites de exposición: El nivel permisible de exposición a monóxido de carbono de acuerdo a OSHA es de 50 partes por millón (PPM) promediado

como el promedio del tiempo de peso de 8 horas (TWA). Un límite del techo (nivel de exposición que nunca debe excederse sin importar las 8 horas de TWA) de 200 ppm ha sido establecido por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) El valor del Límite de Los Higienistas Industriales de la Conferencia Americana Gubernamental (ACGIH) es de 25 ppm de un tiempo de 8 horas de TWA. Un nivel de 1200 ppm ha sido designado por NIOSH como de inmediato peligro para la salud o la vida (IDLH).

Tabla 2.6 Muestra efectos del monóxido de carbono.

Efectos del monóxido de carbono a diferentes concentraciones	
Concentración de monóxido de carbono	**Efecto**
10 mg/m3 (8,7 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 8 horas
30 mg/m3 (26 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante una hora
34,4 mg/m3 (30 ppm)	La exposición diaria a esta concentración es equivalente a fumar 20 cigarrillos al día
40,1 mg/m3 (35 ppm)	Las personas que tienen enfermedades cardíacas no deben exponerse a niveles superiores a esta concentración
60 mg/m3 (52 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 30 minutos
100 mg/m3 (87 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 15 minutos
115 mg/m3 (100 ppm)	Se informó del primer indicio de angina en sujetos que hacían ejercicio con cardiopatía coronaria expuestos a esta concentración
229-458 mg/m3 (200-400 ppm)	Después de 5-6 horas se puede observar un leve dolor de cabeza, náuseas, vértigo y síntomas mentales
458-802 mg/m3 (400-700 ppm)	Después de 4-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, incoordinación muscular, debilidad, vómitos y colapso
802-1260 mg/m3 (700-1100 ppm)	Después de 3-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, debilidad, vómitos y colapso
1260-1832 mg/m3 (1100-1600 ppm)	Después de 1.5-3 horas se puede observar coma. (la respiración es aún bastante buena a no ser que el envenenamiento se haya prolongado)
1832-2290 mg/m3 (1600-2000 ppm)	Después de 1-1.5 horas posibilidad de muerte

Fuente: http://www.bkprecision.com/downloads/manuals/es/627.pdf.

Características del medidor:

- Prolongada vida útil (expectativa superior a los 10 años)
- Certificado bajo normas internacionales BS, y fabricado bajo procesos de calidad certificados bajo ISO-9001.
- Alarmas audiovisuales incorporadas de sencilla operación.
- Autodiagnóstico continuo, función Test y modo detección de falla.
- Industria Argentina. 5 años de garantía, servicio técnico local.
- Sensor Japonés, última tecnología de alta precisión y sensibilidad.
- Sensor: Electroquímico con una vida <= 5 años.
- Tiempo de arranque: <= 20 s.
- Rango: 0 ~ 1000ppm. Resolución: 1 ppm.
- Precisión: 5% ó 10 ppm.
- Temperatura de trabajo: 0°C ~ 50°C. Humedad: Menor del 90%RH.
- Dimensiones: 275 x 70 x 30 mm. Peso: 220 gramos.

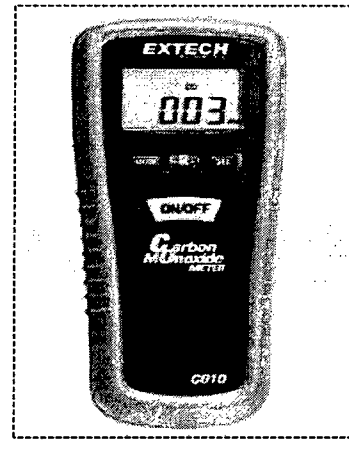


Figura 2.22 Aspecto físico del medidor de nivel de monóxido de carbono.

Fuente: http://www.bkprecision.com/downloads/manuals/es/627.pdf.

2.2.11 Anemómetros multifunción **TM-403** [URL12]

Se denomina aire a la combinación de gases que forma la atmósfera terrestre, mantenidos sujetos alrededor de la Tierra por la fuerza de gravedad. El aire es esencial para la vida en el planeta, es particularmente delicado y está compuesto en proporciones ligeramente variables por sustancias como se muestran en la tabla 2.7.

Actualmente se conoce con bastante exactitud la composición del aire.

Éstos pueden ser divididos en:

- Componentes fundamentales: nitrógeno (78,1%) y el oxígeno (20,9%).
- Componentes secundarios: gases nobles y dióxido de carbono (1%).
- Contaminantes: Monóxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, amoníaco y monóxido de carbono.
- Componentes universales: Agua (en sus 3 estados) y polvo atmosférico (humo, sal, arena fina, cenizas, esporas, polen, microorganismos, etc.). Las proporciones de vapor de agua varían según el punto geográfico de la tierra.

Tabla 2.7 Componentes del aire.

Componente		Concentración aproximada
Nitrógeno	(N)	78,03% en volumen
Oxígeno	(O)	20,99% en volumen
Dióxido de Carbono	(CO_2)	0,03% en volumen
Argón	(Ar)	0,94% en volumen
Neón	(Ne)	0,00123% en volumen
Helio	(He)	0,0004% en volumen
Criptón	(Kr)	0,00005% en volumen
Xenón	(Xe)	0,000006% en volumen
Hidrógeno	(H)	0,01% en volumen
Metano	(CH_4)	0,0002% en volumen
Óxido nitroso	(N_2O)	0,00005% en volumen
Vapor de Agua	(H_2O)	Variable
Ozono	(O_3)	Variable
Partículas		Variable

Fuente: http://www.armotec.pe/vmchk/Anemometros/Anemometros-Multifuncion-TM-403. html ?flypage=.

El equipo medidor de la serie TM-40X mide velocidad, temperatura y humedad del aire. Es ideal para mediciones in situ en tomas de aire gracias a su veleta de 30mm. Adicionalmente a las medidas de velocidad y temperatura, el modelo TM-401P también mide la humedad y del aire y presión absoluta. De esta manera, las condiciones del aire pueden revisarse de manera confiable.

Características:

- Veleta de 30 mm con 6 paletas de plástico.

- Sensibilidad a corrientes de aire de hasta 0.4 m/s.
- Función de cálculo de flujo de aire.
- Valores máximos, mínimos, promedio y data hold.
- Auto apagado con función de deshabilitado.
- Indicador de batería baja.
- Datalogger con hasta 99 entradas de memoria.
- Función de recuperación de última lectura.
- Pantalla iluminada.
- Sensor de presión atmosférica.
- Sensor de humedad.

Figura 2.23 Aspecto físico del medidor de nivel de la velocidad del aire.

Fuente: http://www.armotec.pe/vmchk/Anemometros/Anemometros-Multifuncion-TM-403. html ?flypage=.

Por los conceptos vertidos anteriormente, señalamos:

I. *La calidad de aire interior, se define como la naturaleza del aire que afecta la salud y el bienestar de las personas que se encuentran dentro de una instalación. Los trabajadores mineros exponen sus vidas, durante todo el proceso de explotación minera; uno de los contaminantes del aire de mina subterránea; son los gases tóxicos (CO, CO_2, NO_x, etc.). El monóxido de carbono (CO); posee una vida media de 2 a 4 meses, una concentración*

mayor a 750 ppm causa la muerte; gas extremadamente venenoso y es la causa del 90% de los accidentes fatales en las minas, por intoxicación. Igualmente es importante conocer la velocidad del flujo de aire, para trabajar en ambientes ventilados. Por lo tanto es importante el monitoreo constate del aire de mina subterránea en zonas abandonadas y zonas de trabajo.

II. *Los robots móviles no son solamente una colección de algoritmos para sensar, decidir y moverse en el espacio, también están constituidos de estructuras mecánicas y dispositivos electrónicos que deben enfrentar todas las características que presenta el entorno en el cual se realizan tareas. Los actuadores, procesadores, interfaces de usuario, sensores y mecanismos de comunicación que permiten a un robot móvil operar, deben ser integrados de tal manera que le permitan al sistema completo, funcionar como un todo. Para nuestro caso estamos usando un mini auto con locomoción tipo Ackerman.*

III. *El microcontrolador, es un circuito integrado programable que incluye un CPU, memoria de programa, memoria de datos, puertos de E/S, temporizadores, canales de comunicación (RS232, USB, Ethernet), sistemas de interrupciones, sistemas de seguridad, modo de bajo consumo y un largo etcétera; todo en un solo chip. Fabricadas en tecnología CMOS, para bajo consumo de energía y alta velocidad. Se utilizó el microcontrolador PIC18F2550.*

IV. *Se entiende por control, a las operaciones necesarias de medición, decisión y acción, ejercidas con el fin de mantener las variables dentro de los rangos de valores preestablecidos. Según el modelo estructural descrito, son dos las partes principales que se puede encontrar en un sistema automatizado, la parte operativa y la parte de control. En la* investigación para el control *de movimiento del mini auto, ha utilizado en la parte operativa: captadores (voltaje de los sensores de monóxido de carbono, velocidad del flujo de aire e imagen de la cámara IP), actuadores (motor D.C. de tracción y motor D.C. de dirección del mini auto, motor DC de la cámara, leds y LCD) y en la parte de control o mando la utilización de la tecnología de lógica programada con el microcontrolador, para controlar los motores DC con un controlador tipo On/Off en un sistema de control de lazo abierto y comunicación tipo Full-Duplex,*

V. *Se entiende por comunicación inalámbrica a toda transmisión y recepción a distancia, de señales, datos, imágenes, voz, sonidos o información de cualquier naturaleza que se efectúa a través de la propagación de ondas electromagnéticas. La modulación facilita las transmisiones reduciendo considerablemente el tamaño de antenas y reduce el nivel de ruido e interferencias. La modulación ASK tiene un coste relativamente bajo, el circuito modulador y demodulador son sencillos. En este caso se utilizó el modulo transmisor ST-TX01-ASK y el módulo ST-RX04-ASK ambos de SUMMITEK Technology Co.*

VI. *La teleoperación es un conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano. Por tanto, teleoperar es la acción que realiza un ser humano de operar o gobernar a distancia un dispositivo.*

VII. *La inspección visual es la técnica más antigua de los ensayos no destructivos, en ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición. La inspección visual remota se utiliza en aquellos casos en que no se tiene acceso directo a los componentes a inspeccionar y por lo general a través de una cámara. Para la inspección visual se utilizó cámara IP inalámbrica modelo F-M136.*

VIII. *Un sistema de monitoreo; es un proceso continuo y sistemático que mide el progreso y los cambios causados por la ejecución de un conjunto de actividades en un período de tiempo, con base en indicadores determinados con anterioridad.*

El monitoreo se aplica como un mecanismo utilizado para dar seguimiento a las acciones y comprobar en qué medida se cumplen las metas propuestas. Sirve como una herramienta de la evaluación que no sólo mide ejecuciones; también revisa y da señales de advertencia sobre o actividades problemáticas que no funcionan como habían sido planeadas y diseñadas, en este caso permite que se reformulen las metas. Esto nos permite inferir que monitoreo es la acción y efecto de monitorear, el verbo que se utiliza para nombrar a la

supervisión o el control a través de un monitor. Por extensión, el monitoreo es cualquier acción de este tipo, más allá de la utilización de un monitor.

Por lo tanto para la investigación; se entiende por robot móvil teleoperado por inspección visual para el monitoreo; al control de movimiento (avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado) del robot móvil (mini auto con locomoción Ackerman) en lazo abierto, control ON/OFF de los motores D.C. a través de la teleoperación, es decir enviando el comando de movimiento del robot, luego de observar en la pantalla del aplicativo de LabView la posición remota del móvil vía la cámara IP con tecnología WI-Fi, para posicionarse en el interior de la mina subterránea Raura; monitorear remotamente los valores del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire, es decir mostrar estos valores en la pantalla del aplicativo de LabView de la laptop y decidir la operatividad en la mina. Todo este proceso involucra la transmisión y recepción de señales desde la estación de monitoreo hacia el sistema móvil y viceversa; a través de la propagación de las ondas TEM espacial en el espacio, en una comunicación full-duplex y estando separadas unos 25 metros de distancia. Así mismo comprende al conjunto de microcontroladores, módulos transreceptores inalámbricos de RF, laptop, cámara IP y software de control, organizados, interrelacionados e interactuando entre sí, bajo los principios de la automatización y la comunicación.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

Mediante un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, se realiza el monitoreo de las variables del aire de mina subterránea en la compañía minera Raura.

2.3.2 Hipótesis específicas

- La tecnología de lógica programada es la adecuada para implementar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para realizar el monitoreo del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire de mina subterránea en la compañía minera Raura S.A.

- La tecnología RF-ASK y Wi-Fi permiten el enlace inalámbrico entre el robot móvil teleoperado por inspección visual y una laptop.

2.4 Variables de estudio

2.4.1 Variable independiente

Movimiento del robot móvil teleoperado por inspección visual.

2.4.2 Variable dependiente

Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire.

En la tabla 2.8, se muestran las variables y sus indicadores; que derivaron de la investigación realizada.

Tabla 2.8 Las variables sus indicadores y unidades de medida.

Movimiento del robot móvil teleoperado por inspección visual

Movimiento	Indicador	Unidad de medida
Avanza: A	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Retrocede: R	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Giro a la Derecha: D	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Giro a la Izquierda: I	Desplazamiento, posición	m, coordenadas
Parado: P	Desplazamiento, posición	m, coordenadas

Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire.

Variable	Indicador	Unidad de medida
Monóxido de carbono: CO	Respiración rápida y falta de oxígeno.	ppm o mg/m^3
Velocidad del flujo de aire: VA	Existencia de corrientes de aire.	m/minuto

Fuente: Elaborado por el investigador.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Ámbito de estudio

Mediante este proyecto se implementó un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual para el monitoreo remoto de las variables del aire de mina subterránea. Para la adquisición de los valores del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire; se utilizan sensores que estarán conectados a un robot móvil que seguirá una trayectoria guiada remotamente desde el monitor de una laptop en el aplicativo de LabView a través de una cámara IP Wi-Fi.

El monitoreo de los valores de las variables monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire, son mostrados en el aplicativo desarrollado en LabView 2012. Se utilizaron módulos de comunicación inalámbrica RF con modulación y demodulación ASK trabajando a la frecuencia de 434 MHz a 2400 bps, que permite el enlace entre la Estación de Monitoreo con interface USB para la laptop, basado en el microcontrolador PIC18F2550 y el Sistema Móvil encargado de la adquisición de datos del aire de mina subterránea y el movimiento del robot móvil con los motores D.C. La parte experimental se realizó en zonas abandonadas y de explotación minera de la compañía minera Raura S.A., ubicada entre los departamentos de Huánuco y Lima, a una altitud que varía entre 4300 a 4500 m.s.n.m., con glaciales y abundantes lagunas escalonadas, de clima frío y casi sin vegetación.

3.2 Tipo de investigación

La investigación tecnológica [URL8]: En las ciencias de la ingeniería presenta una serie de características que la vinculan en forma natural con la innovación tecnológica, lo cual indica que las instancias de promoción inicial de los proyectos de investigación y la evaluación de la investigación tecnológica pueden ser utilizadas como un instrumento para fomentar la innovación.

Con innovación tecnológica se designa la incorporación del conocimiento científico y tecnológico, propio o ajeno, con el objeto de crear o modificar un proceso productivo, un artefacto, una máquina y cumplir un fin valioso, la sociedad.

Con investigación tecnológica en las ciencias de la ingeniería se designa un ámbito de producción de conocimiento tecnológico validado, que incluye tanto el producto cognitivo, -teorías, técnicas, tecnologías, maquinarias, patentes, etc.- como las actividades que desarrollan los ingenieros para producir y validar dichos productos y conocimientos.

Entre las características que presenta la investigación tecnológica podemos mencionar:

1. El pensamiento ingenieril: Es una característica importante por presentar aspectos que lo diferencian del pensamiento científico. Los ingenieros identifican el diseño como algo propio de la profesión y a la habilidad para diseñar como de suma importancia para el ejercicio de la profesión ¿En qué consiste el diseño? Es una adaptación intencionada de medios para alcanzar un fin preconcebido superador de una situación inicial dada, y esto constituye una parte esencial de la ingeniería. Primero surge una concepción en la mente del ingeniero que luego, por etapas sucesivas se traslada al diseño. Este a su vez puede ser implementado por técnicas o herramientas para producir, por ejemplo, artefactos o sistemas. Podemos caracterizar el proceso que va desde la idea o concepto hasta su concreción material, con las siguientes etapas: a) detección de un mercado potencial o una necesidad social, b) invención o adaptación y/o producción de un concepto, que es una etapa de diseño analítico donde el concepto básico es examinado para explicitar las restricciones o especificaciones de diseño; c) análisis del concepto, que es una etapa de diseño detallado donde las operaciones normales son exploradas para encontrar dónde el diseño es deficiente y sus límites son experimentados a través de pruebas o experimentos funcionales, lo cual genera ciclos de diseño-prueba que permiten ajustar o mejorar el diseño; d) síntesis del concepto, caracterizado por modelos físicos a escala de laboratorio, y también experimentos funcionales; e) producción, comercialización y difusión en la sociedad.

2. La finalidad de la investigación: Es obtener conocimiento útil para resolver un problema concreto que surge principalmente en las necesidades de la sociedad.
3. Las influencias externas: Se trata de encontrar soluciones para casos particulares influenciados por contextos económicos, temporales, sociales, culturales y geográficos.
4. La realizabilidad: Cuando surge la idea de investigar un determinado diseño, generalmente la primera cuestión que necesita de una respuesta y evaluación está referida a su factibilidad. Desde un punto de vista tecnológico las condiciones de realizabilidad de un diseño son de dos tipos, material y operacional. Lo es materialmente si no contradice las leyes naturales conocidas y presenta una probabilidad razonable de lograr la conversión del conocimiento científico y tecnológico disponible en nuevo conocimiento útil, considerando el estado del arte de los mismos y los antecedentes del grupo de investigación en temas tecnológicos. Es operacionalmente realizable si para su implementación se dispone de los conocimientos y habilidades necesarios. La falta de respuesta afirmativa al cumplimiento de una de estas condiciones es una oportunidad para proponer y efectuar una investigación. Una parte importante de la investigación tecnológica consiste precisamente en hacer operacionalmente realizables ideas que sabemos que físicamente o materialmente lo son.
5. La presentación inicial de objetivos.

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación que se llevara a cabo será explicativo.

Los estudios explicativos están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Van más allá de la descripción y la correlación.

3.4 Método de investigación

El método de investigación general es dialectico porque orienta la investigación a partir de fenómenos concretos sin descuidar la interrelación de sus elementos internos y externos. El método específico es experimental porque es el proceso de investigación que genera las condiciones necesarias y suficientes para medir y

revelar las relaciones de los eventos en el monitoreo de las variables del aire de mina subterránea, por un robot móvil teleoperado por inspección visual.

Dentro del contexto del planteamiento del problema y los antecedentes, para la investigación se utilizó tres elementos metodológicos: fundamento teórico, desarrollo del hardware y desarrollo del firmware, como se muestra en la figura 3.1.

Figura 3.1. Esquema general de la metodología de investigación.

Fuente: Elaborado por el investigador.

El fundamento teórico se basó en la recopilación de información de conceptos y esquemas sobre la calidad del aire de minería subterránea, siendo importante el monitoreo constante de sus variables, optándose solo por las variables monóxido de carbono (CO) y la velocidad del flujo de aire; información sobre robot móvil; así como también información técnica del microcontrolador PIC18F2550, introducción al puerto USB, control y automatización, comunicaciones inalámbricas (en la que se destacan: modos de transmisión, red inalámbrica), modulación digital, teleoperación e inspección visual. En la figura 3.2, se detalla la organización de desarrollo del fundamento teórico.

Para el desarrollo del firmware se utilizaron dos lenguajes de programación: LabView 2012, en el cual se realizó el aplicativo que se ejecuta en la laptop, que se encarga de la teleoperación del robot móvil y el monitoreo, y el en lenguaje C de CCS para realizar la programación del microcontrolador, con el cual se edita, compila, depura, simula y se genera los archivos para la grabación de los

microcontroladores del circuito de la Estación de Monitoreo y circuito del Sistema Móvil. El esquema de desarrollo del firmware es mostrado en la figura 3.3.

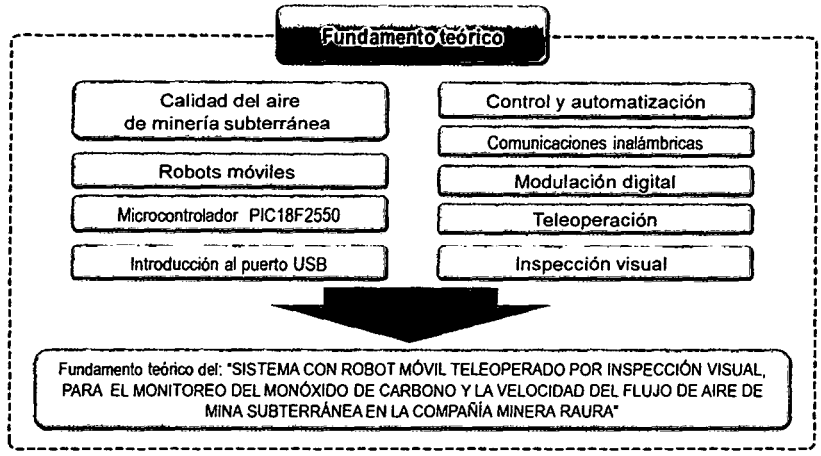


Figura 3.2. Esquema de desarrollo del fundamento teórico.

Fuente: Elaborado por el investigador.

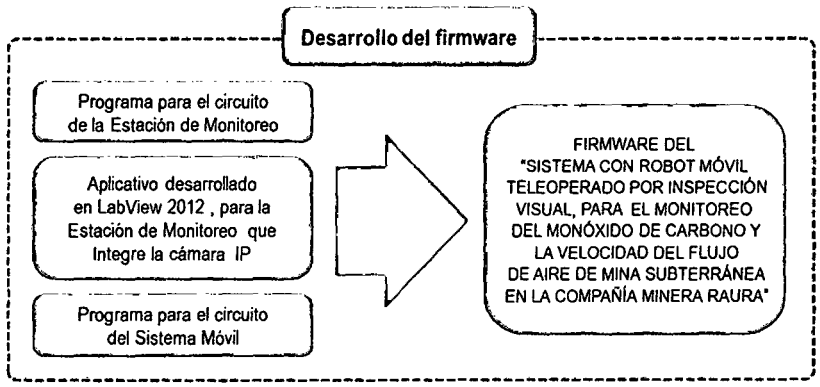


Figura 3.3. Esquema de desarrollo del Firmware.

Fuente: Elaborado por el investigador.

En el desarrollo del hardware, son tres los principales componentes del sistema: dos microcontroladores PIC18F2550, módulos de RF con modulación y demodulación ASK (transmisor: ST-TX01-ASK, receptor: ST-RX04-ASK), los circuitos de adaptación para los sensores de monóxido de carbono (CO) y la velocidad del flujo de aire, y los circuitos driver para los motores D.C. Se realizó el diseño y simulación en el software CAD Proteus Design Suite 8.0, los esquemas de los circuitos electrónicos y las tarjetas de circuito impreso. Los detalles son mostrados en la figura 3.4.

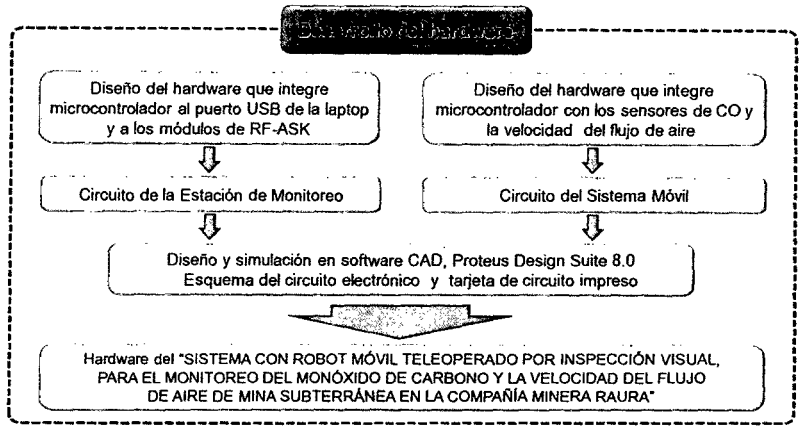


Figura 3.4. Esquema de desarrollo del hardware.

Fuente: Elaborado por el investigador.

3.5 Diseño de investigación

En la investigación se ha utilizado el diseño experimental, para proporcionar la máxima cantidad de información pertinente al problema bajo investigación.

$$M \quad O_a \quad X \quad O_d$$

Dónde:

M = Es la muestra de investigación.

O_a = Pruebas a la variable dependiente antes del experimento.

X = Experimento (variable independiente)

O_d = Pruebas a la variable dependiente después del experimento.

3.6 Población, muestra, muestreo

Población: Está constituida por los 72 espacios de explotación minera subterránea de la mina Raura S.A. (ver tabla 4.14), en las que se pueden tomar remotamente los datos de las variables del aire de mina subterránea.

Muestra: El tamaño de la muestra, para una población finita N, se establece de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2(P)(1-P)N}{(N-1)E^2 + Z^2(P)(1-P)}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra. N = Población.

Z = Nivel de confianza o coeficiente de confianza.

E = Error de la muestra o error permitido.

P= Proporción de unidades que poseen el atributo de interés en la población.

Para el caso de P se toma su valor, si se conoce de antecedentes de estudios similares o de lo contrario de un estudio piloto. En caso no existiera estudios similares y no pudieran hacerse un estudio piloto se considera la máxima varianza cuando P = 0.5 con un error absoluto de E = 0.05.

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, obtenemos como resultado:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * (1-0.5) * 72}{(72-1) * (0.05)^2 + (1.96)^2 * 0.5 * (1-0.5)}$$

$$n = \frac{69.14}{1.14} \quad , \quad n = 60.65$$

Entonces el número de muestras necesarias para la prueba de hipótesis es 61 espacios de explotación minera subterránea.

Tabla 3.1 Muestra los valores que toma Z y E.

Los valores Z más utilizados y sus niveles de confianza son:							
Z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%
Error (E)	25%	20%	15%	10%	5%	4,5%	1%

Fuente: Elaborado por el investigador.

Muestreo: El muestreo será aleatorio simple porque cada uno de los elementos de la población tiene la misma probabilidad de ser elegida para integrar la muestra. En nuestro caso se eligieron solo 3 espacios de explotación minera subterránea, debido a que es muy difícil realizar las pruebas en plena labor minera.

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se usaron las técnicas e instrumentos que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Se muestra las técnicas e instrumentos a utilizar.

Técnicas	Instrumentos	Aplicación
Observación	Ficha de observación Cámara vídeo/fotográfica	Tablas. Fotos de actividades.
Análisis Documental	Fichas de investigación Archivo electrónico	Tesis anteriores. Archivo: henn.xlsx
Experimentación	Análisis matemático Análisis electrónico Criterios de diseño Prueba de ensayo-error	 Simulación con Proteus ISIS. Diagrama de flujo del programa, esquemas de circuitos electrónicos. Pruebas.

Fuente: Elaborado por el investigador.

3.8 Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de datos del presente trabajo se obtuvo a través de las siguientes fases:

Fase de pre-campo: Revisión de trabajos de investigación con contenidos afines a la tesis, a través de las fichas de investigación para validar los criterios de diseño, tomando como referencia para definir las diferentes variables a utilizar.

Fase de campo: Simulaciones del sistema electrónico antes de implementar el hardware, es decir pruebas en campo del sistema completo de monitoreo de las variables del aire de mina subterránea. Prueba en campo del sistema completo para el "SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA", que está conformado por la **estación de monitoreo** y el **sistema móvil**.

Fase de gabinete: Registro manual en fichas de observación y análisis, registro automático con el aplicativo LabVIEW usando Excel.

3.9 Técnicas de procesamiento y análisis de Datos

Los datos recolectados fueron agrupados y estructurados con el único propósito de validar las hipótesis, utilizando el **análisis cuantitativo y la interpretación porcentual** de los datos estadísticos con la ayuda del software informático Excel, según las fichas de investigación para validar nuestros criterios de diseño del

hardware. Se realizó con el apoyo del software informático Excel. Los que se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Se muestra las técnicas e instrumentos para el procesamiento.

Técnicas	Instrumentos	Aplicación
Estadística Descriptiva	– Estadígrafos • Promedio • Efectividad • Desviación estándar – Gráficas	**Variable independiente** Pruebas. Estadístico. **Variable dependiente** Pruebas. Estadístico.
Estadística Inferencial	– "r" de Pearson	Procesamiento.

Fuente: Elaborado por el investigador.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Diseño e implementación

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques general de la investigación titulado "SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA", y la figura 4.2 muestra el esquema general, destacando la estación de monitoreo y el sistema móvil; con sus fuentes de alimentación.

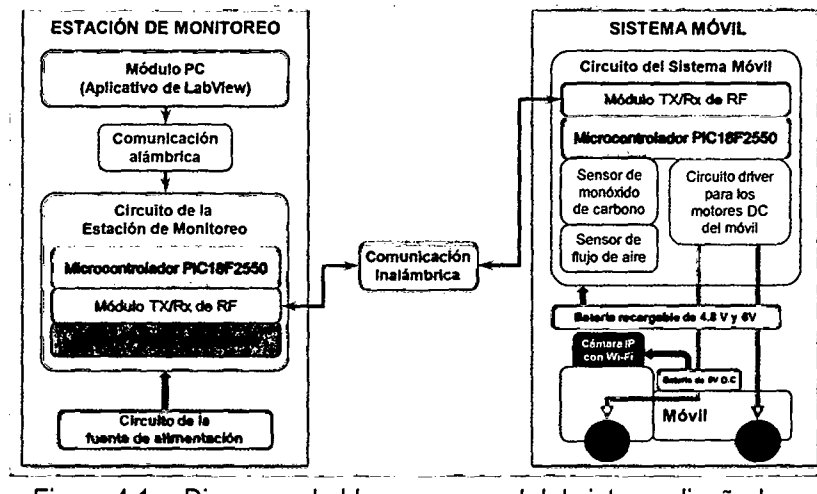
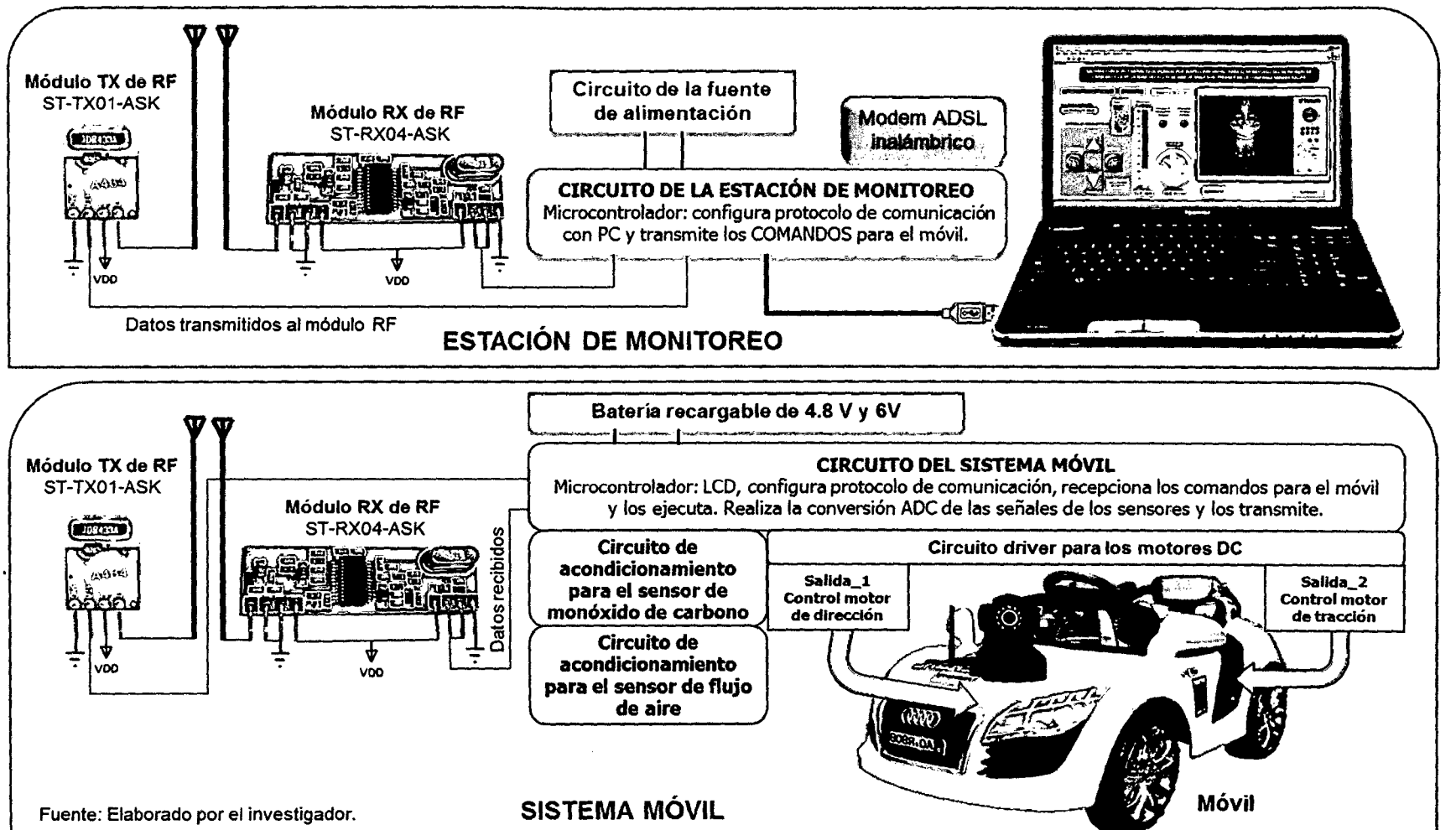


Figura 4.1 Diagrama de bloques general del sistema diseñado.

Fuente: Elaborado por el investigador.

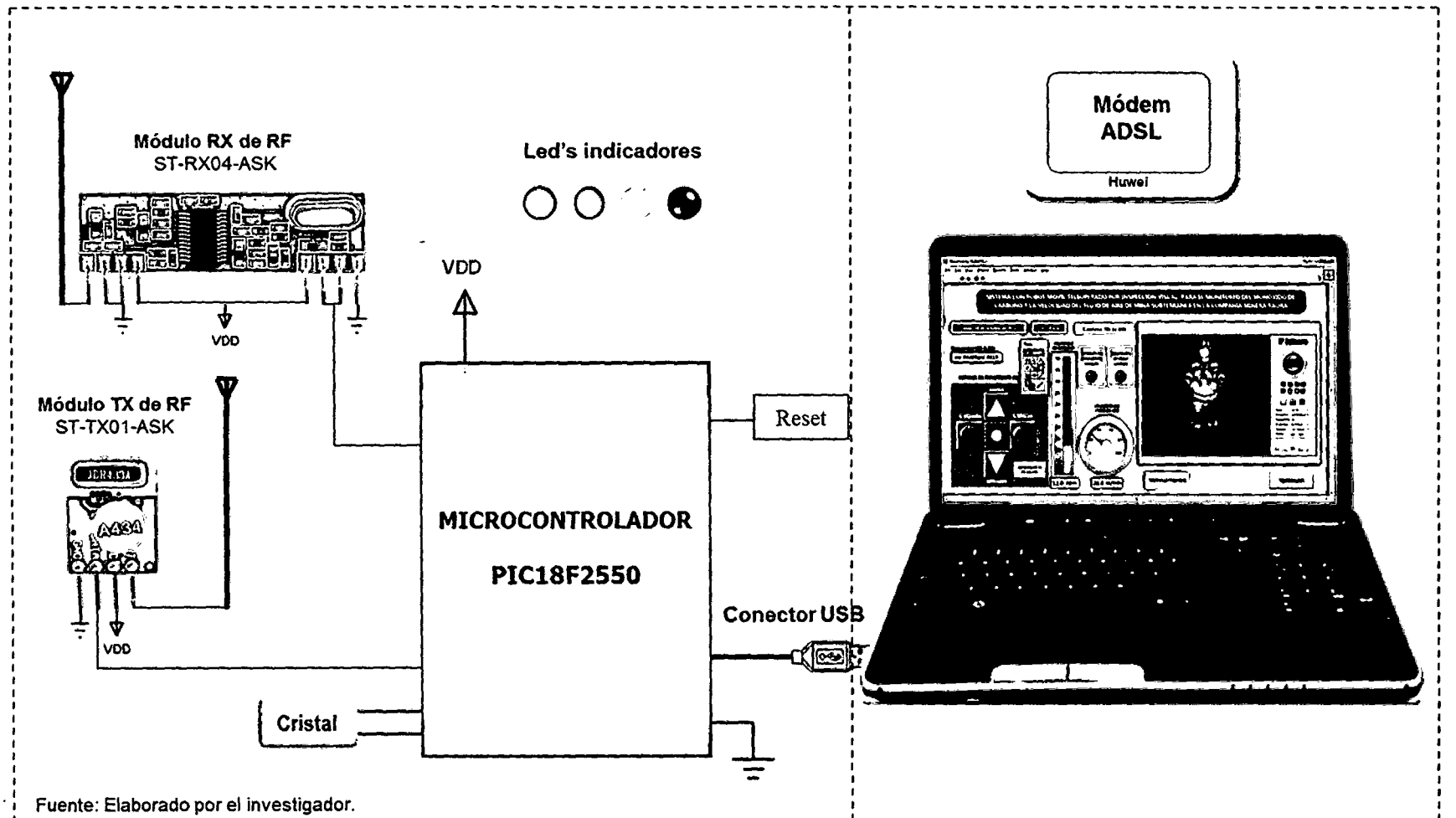
ESTACIÓN DE MONITOREO

Encargada de solicitar los datos que corresponde al nivel de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire al sistema móvil, recepcionarlos y procesarlos, a través de un programa desarrollado en LabView 2012; con interface USB (ver figura 4.3).



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.2 Esquema general del sistema, donde se destaca los módulos de RF-ASK y robot móvil teleoperado.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.3 Diagrama de bloques de la estación de monitoreo.

La estación de monitoreo está conformado por:

A. Módulo PC

En este módulo se desarrolló un programa (aplicativo) teniendo como tarea adquirir los datos de los sensores y teleoperar vía la cámara IP con tecnología Wi-Fi, el movimiento (avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado) del robot móvil por medio de la emisión de las acciones que llegan al microcontrolador PIC18F2550 y de los módulos de transmisión y recepción de RF, bajo la plataforma de Windows, usando como lenguaje de programación LabView 2012, el cual ofrece un entorno de desarrollo gráfico, amigable y de fácil programación.

En la figura 4.4 se muestra el panel frontal del programa aplicativo y en la figura 4.5 se muestra su diagrama de bloques. El aplicativo presenta:

Fecha y hora: el cual se actualiza automáticamente al ejecutar el programa, mostrando la fecha y hora actual.

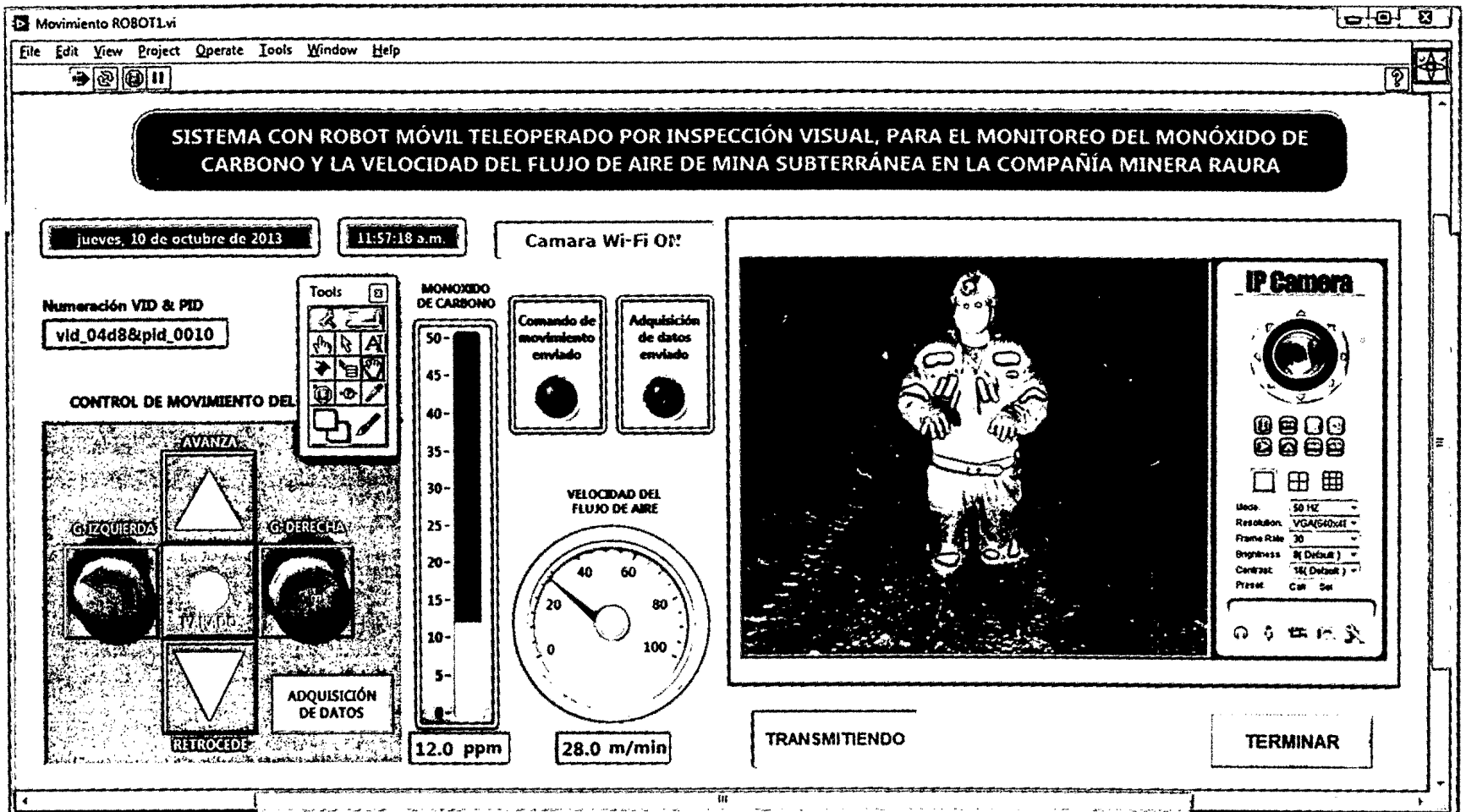
Numeración VIP&PID: En este panel se selecciona el VIP&PID del puerto USB, proporcionado por Microchip el cual permite comunicar el modulo PC con el modulo transmisor, utilizando el método de transferencia Bulk.

Control de movimiento del robot: El panel contiene programadas todas las órdenes en los íconos relacionados con el movimiento del robot: Avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, (que se ve en la figura 4.6); la acción se ejecuta al ser clic en el ícono correspondiente siendo transmitido automáticamente el código correspondiente.

Icono de adquisición de datos: Al hacer clic se envía la orden que solicita los datos del nivel del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire. En la figura 4.6, se muestra su respectivo icono.

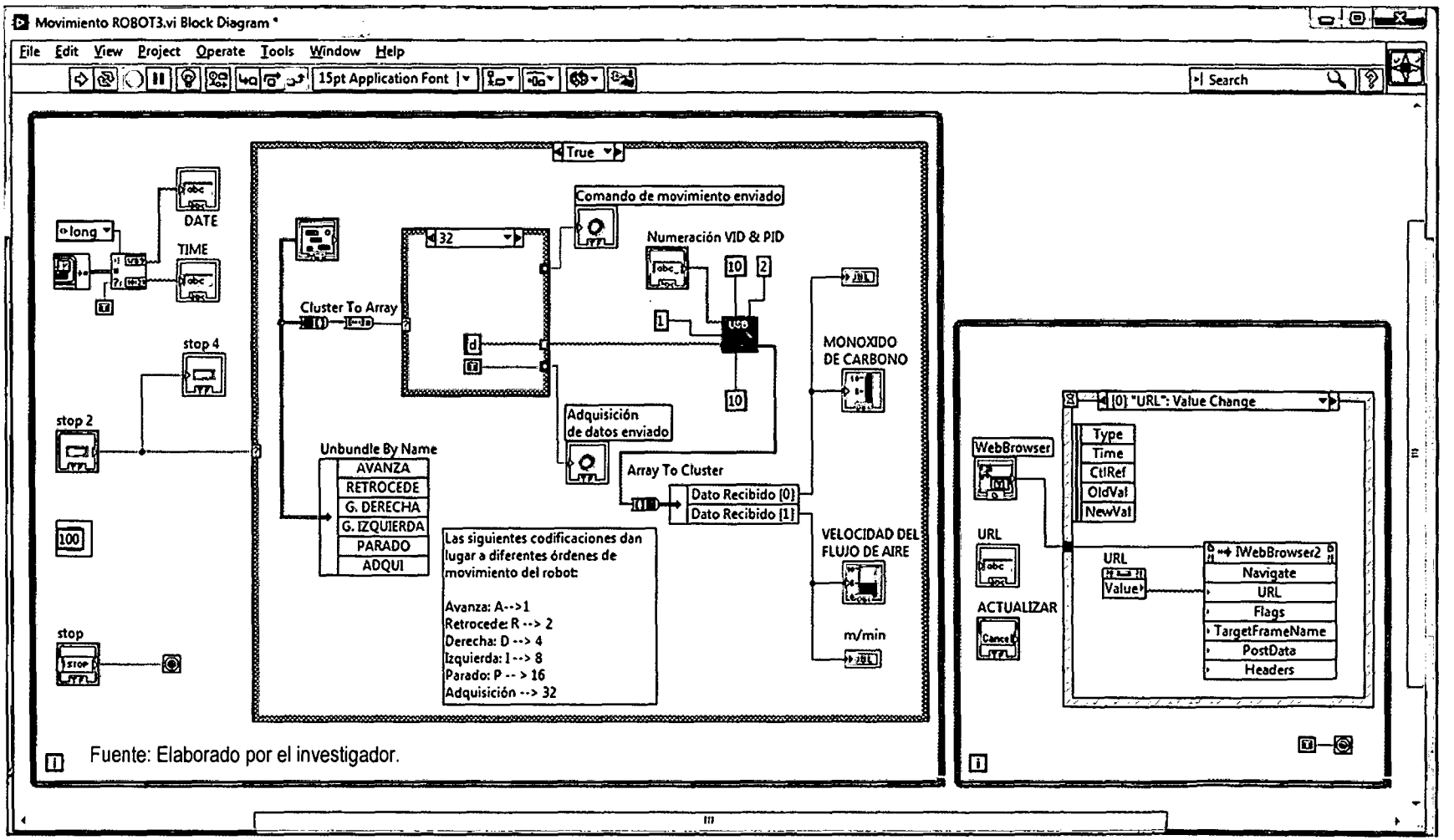
Indicador de envió de comando: Se enciende el indicador tipo led, cada vez que se envía un comando de movimiento.

Indicador de adquisición de datos: Se enciende el indicador tipo led, cada vez que se solicita la adquisición de datos que corresponde al nivel del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.4 Panel frontal del programa aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 12.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.5 Diagrama de bloques del aplicativo desarrollado en el lenguaje de programación gráfico LabView 12.

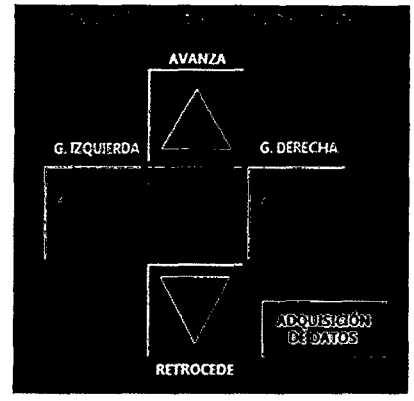


Figura 4.6 Íconos de las órdenes de movimiento del robot y adquisición.

Fuente: Elaborado por el investigador.

URL: Indica la dirección IP del dispositivo web Wi-Fi, es decir la dirección web de la cámara IP. Al ingresar, la cámara muestra la imagen capta remotamente, como se muestra en la figura 4.7.

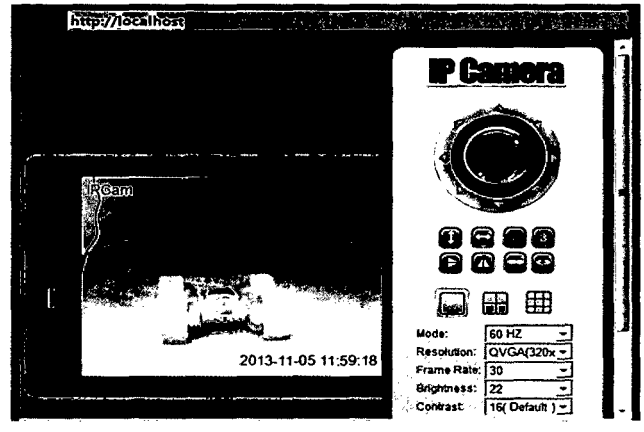


Figura 4.7 Muestra la imagen captada remotamente por la cámara IP.

Fuente: Elaborado por el investigador.

Icono actualizar: Al hacer clic, se actualiza la página web.

Icono terminar: Al hacer clic, se termina de ejecutar el aplicativo.

B. Comunicación alámbrica:

Se utilizó como medio de comunicación alámbrica para conectar la laptop con el circuito de la Estación de Monitoreo, un cable USB con conector tipo A en la laptop y tipo B en el circuito.

C. Circuito de la estación de monitoreo

Fue desarrollado para enviar los comandos ordenados desde el aplicativo hacia el sistema móvil, solicitar la adquisición de datos y recibirlos al ser enviados por el sistema móvil, garantizando el control de movimiento del robot y monitoreo del nivel de CO y velocidad del flujo de aire.

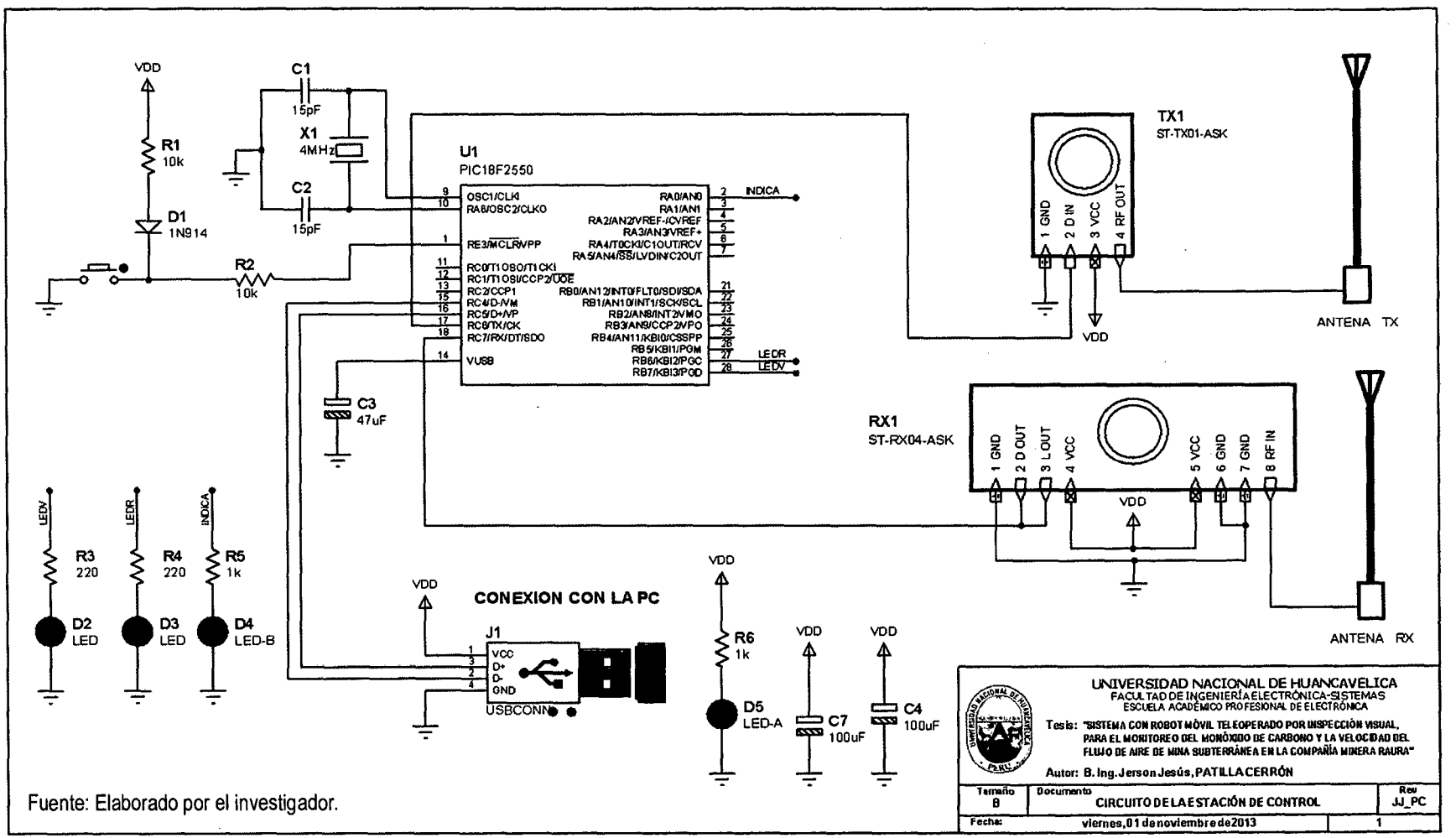
El circuito utiliza el microcontrolador PIC18F2550 que por un lado permite la conexión con el modulo PC a través del puesto USB (En la actualidad las laptops cuentan con este puerto, que permiten una conexión sencilla y universal) y por el otro, permite la conexión RS232 a nivel TTL con los módulos de RF-SAK de 434 MHz.

En la figura 4.8 se muestra el esquema del circuito de la Estación de Monitoreo, el cual se configura automáticamente tan pronto como se conecta a la laptop, a través del puerto USB del PIC18F2550 (implementado en el hardware del chip) y el respectivo programa grabado, para poder transmitir las órdenes para el control de movimiento del robot y la adquisición de datos.

Para transmitir las órdenes que controlan el movimiento: Avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; se hace clic con el mouse en el icono correspondiente del panel frontal, la orden se codifica en un caracter y vía el puerto USB de la laptop se pasa al microcontrolador PIC18F2550, que se encarga de codificar cada orden en una trama de cuatro bytes en formato serial RS232; esta trama ingresa al módulo transmisor de RF a través del pin 2, que internamente realiza una modulación digital ASK, para luego enviarlo a la antena que se encuentra en el pin 4, es así que la información viaja en el espacio libre a través de las ondas electromagnéticas tipo TEM espaciales omnidireccionalmente, hasta llegar a la antena receptora.

Módulo transmisor de RF

Se utilizó el módulo ST-TX01-ASK de SUMMITEK Technology Co. (Ver anexo A) que tiene una potencia de salida de hasta 8mW (de 4 a 16dBm),



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.8 Esquema electrónico del circuito de la estación de monitoreo, donde se muestra los módulos de RF.

para una velocidad de transmisión de 2400 bps, el pin DATA es la información que ingresa en formato serial RS232 para la transmisión; usa modulación ASK (*Amplitudes-Shift Keying*), la portadora es una señal sinusoidal de 434 MHz y la señal moduladora (datos) es digital; alcanza distancias de aproximadamente 100 metros en espacios abiertos.

En la figura 4.9 se muestra su aspecto físico y la disposición de pines. Este módulo se conectó al PIC18F2550 del circuito de la estación de monitoreo y al PIC del circuito del sistema móvil (ver figura 4.8 y figura 4.20), el dato ingresa por el pin 4, siendo modulado antes de enviarlo a la antena.

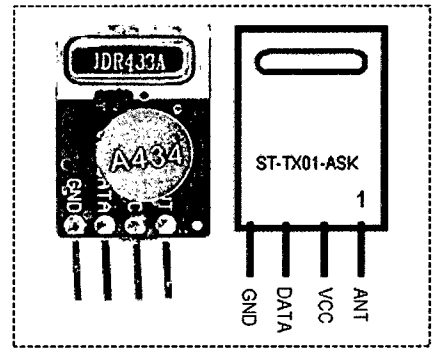


Figura 4.9 Aspecto físico y pines del módulo transmisor de RF.

Fuente: Manual técnico de ST-RX04-ASK.

Modulo receptor de RF

Se utilizó el módulo ST-RX04-ASK de SUMMITEK Technology Co. (Ver anexo B) que tiene una sensibilidad de 3 uV, alcanzando distancias de aproximadamente 100 metros, trabaja a una frecuencia de 434 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps, usa demodulación ASK. En la figura 4.10 se muestra su aspecto físico y su disposición de pines.

Este módulo se ha conectado al PIC18F2550 del circuito de la Estación de Monitoreo y circuito del Sistema Móvil (ver figura 4.8 y figura 4.20).

Como en este caso se transmiten señales de RF moduladas en ASK; para su recepción se conectó alambre de cobre N° 22 AWG de 18 cm de largo (que hace de antena) al pin 8, donde llegara el dato transmitido, que será demodulado internamente, obteniéndose por el pin 2 el dato digital originalmente enviado en formato RS232 con nivel TTL.

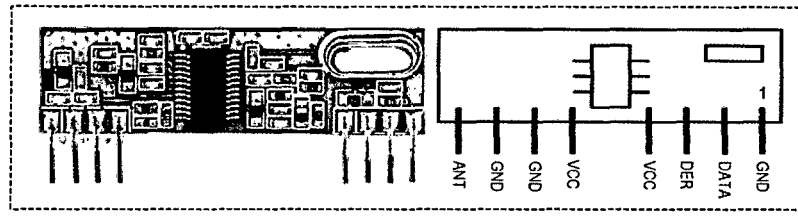


Figura 4.10 Aspecto físico y pines del módulo receptor de RF.

Fuente: Manual técnico de ST-RX04-ASK.

D. Circuito de la fuente de alimentación

Como fuente de alimentación para el circuito de la Estación de Monitoreo se utiliza la fuente de 5 V D.C. del puerto USB de la laptop, el cual puede entregar hasta 500mA sin que se pueda dañarse.

Programación del microcontrolador PIC18F2550

El proceso de programación del microcontrolador se realizó en tres etapas:

1. Edición del programa.
2. Compilación y simulación del programa.
3. Grabación del programa en el PIC.

Existe una gran variedad de lenguajes de programación que permiten la edición, compilación, simulación y grabación del programa para el PIC, para la presente investigación se trabajó con el lenguaje C; usando para ello el Compiler C de CCS Inc., el cual cuenta con un entorno de desarrollo integral (IDE) que permite que los programas sean editados y compilados a instrucciones de máquina en el entorno de trabajo de la PC, el código de máquina puede ser cargado de la PC al PIC mediante el ICD2 (o mediante cualquier programador) y puede ser depurado (puntos de ruptura, paso a paso, etc.) desde el IDE del Compiler C de CCS.

Teniendo en consideración que el objetivo de la Estación de Monitoreo es teleoperar al robot móvil para monitorear el nivel de CO y la velocidad del flujo de aire en el interior de mina, se sigue el diagrama de flujo que se muestra en la figura 4.11.

El programa del microcontrolador PIC18F2550 del circuito transmisor debe realizar las tareas siguientes:

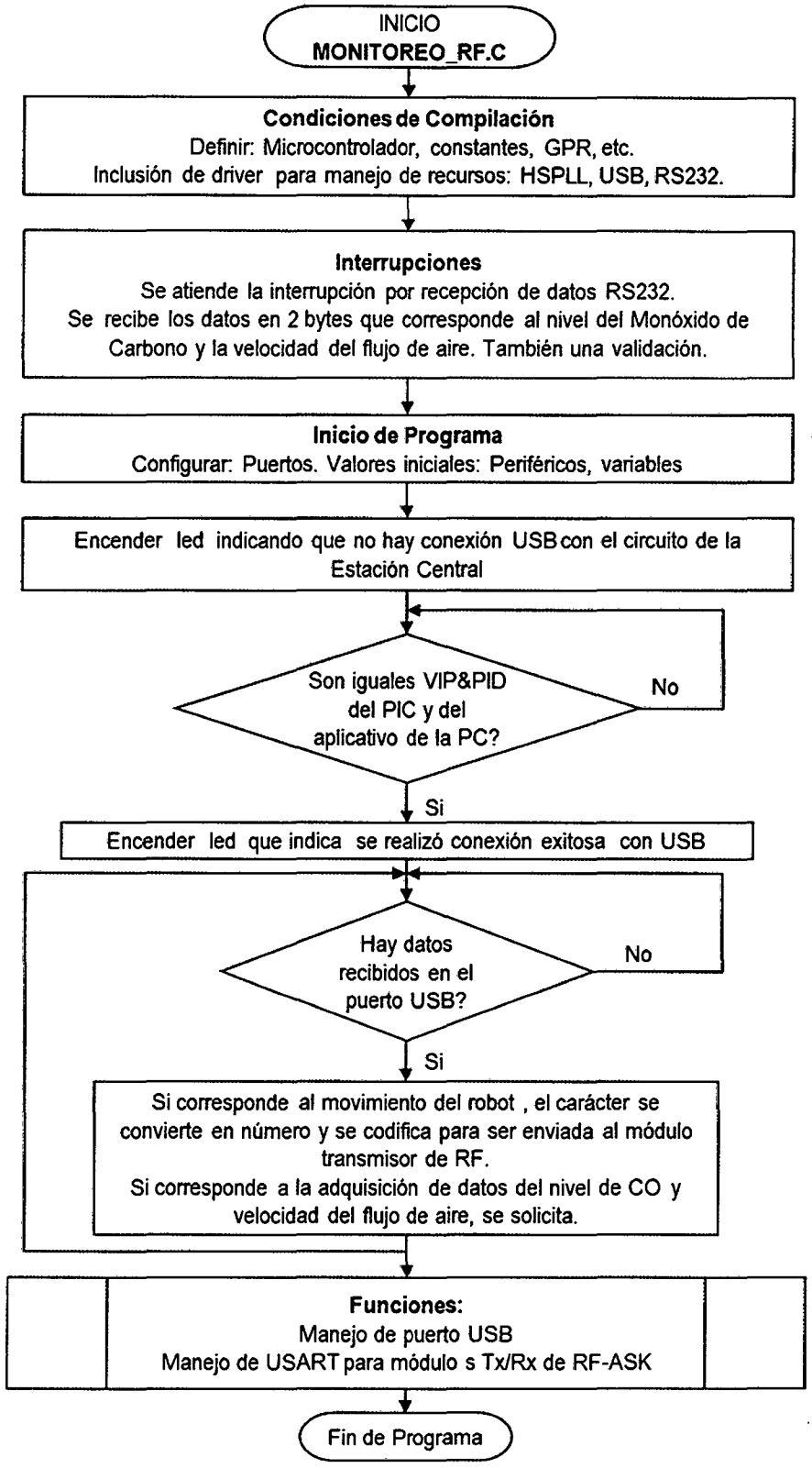


Figura 4.11 Diagrama de flujo del circuito de la Estación de Monitoreo.

Fuente: Elaborado por el investigador.

- Comunicación USB con el modulo PC (laptpo).
- Recibir el equivalente del movimiento (caracter/número) a realizar desde el puerto USB de la laptop. Como se muestra en la tabla 4.1.
- Transmitir la orden de movimiento del robot hacia el módulo transmisor de RF-ASK, codificado en una trama de cuatro bytes (información), como se muestra en la figura 4.12.

1011 1011	XXXX XXXX	XXXX XXXX	XXXX XXXX
Encabezado (1 byte)	Orden de movimiento (1 byte)	Orden de movimiento (1 byte)	Orden de movimiento (1 byte)

Figura 4.12 Formato de 4 bytes para la orden de movimiento.

Fuente: Elaborado por el investigador.

- Enviar la solicitud al Sistema Móvil para que envié el nivel de monóxido de carbono (en ppm) y la velocidad del flujo de aire (en m/minuto). La solitud envía el caracter "d" seguido de un byte que corresponde a la identificación del robot, como se muestra en la figura 4.13.

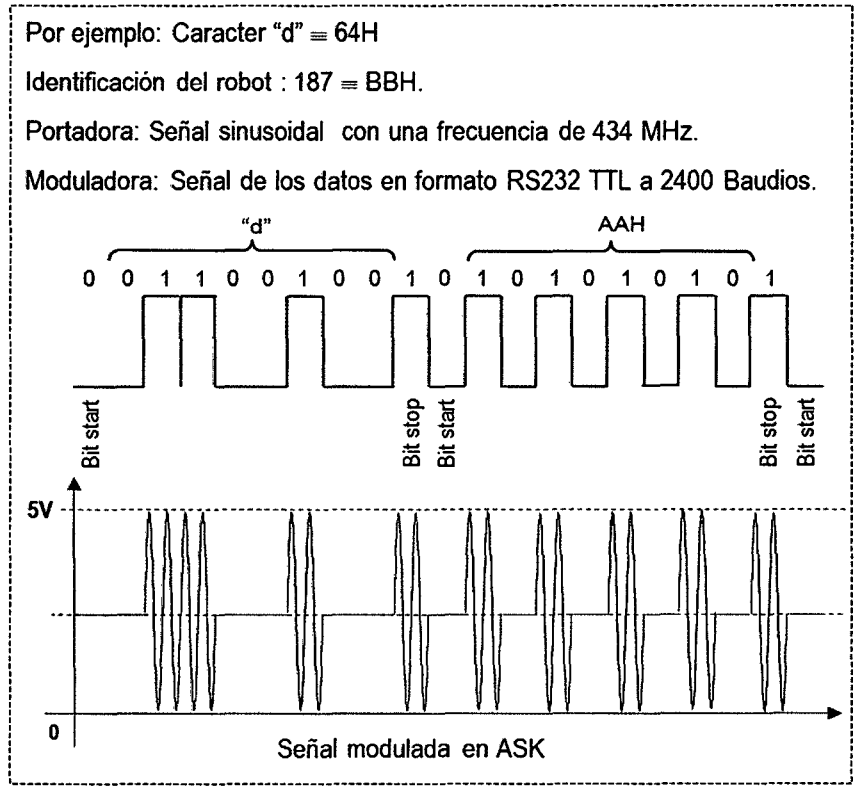


Figura 4.13 Formato de solicitud enviado al Sistema Móvil.

Fuente: Elaborado por el investigador.

- Recibir la información enviada desde el Sistema Móvil pasando por el modulo receptor de RF-ASK, que corresponde al nivel de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire. Se recibe el caracter "s" seguido de 2 bytes que corresponde al nivel de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire. En la figura 4.14 se muestra un ejemplo.

Tabla 4.1 Íconos con la descripción de movimiento que realiza el robot y su codificación respectiva.

Ícono (orden)	Descripción del Movimiento del Robot	Codificación Carácter / Número
Avanza	Robot avanza.	"A" / 1
Retrocede	Robot retrocede.	"R" / 2
Giro a la Derecha	Robot realiza un giro a la derecha.	"D" / 4
Giro a la Izquierda	Robot realiza un giro a la izquierda.	"I" / 8
Parado	Robot no se mueve.	"P" / 16
Adquisición de datos	Se envía solicitud para la adquisición de datos de los sensores de CO y flujo de aire.	"d" / 32

Fuente: Elaborado por el investigador.

Los recursos utilizados para la programación del PIC18F2550 y la distribución de pines, se pueden apreciar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Recursos y pines utilizados por el PIC18F2550.

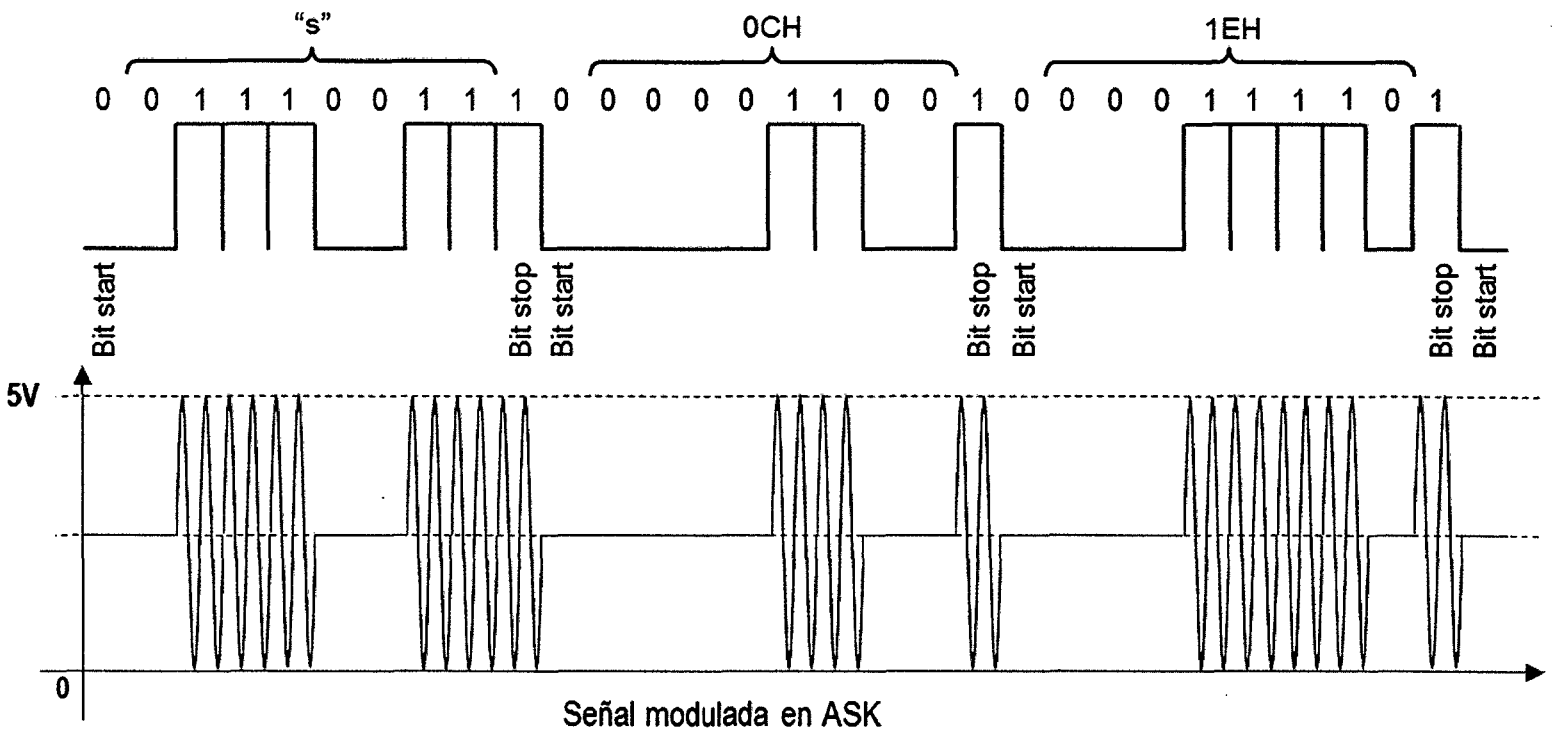
Recursos	Cantidad	Pines	Descripción
USB	1	RC5 RC4 VUSB	Transmisión-Recepción de datos por el puerto USB, D+ y D-. Generador de voltaje para USB
EUSART	1	RC6 RC7	Transmisión de datos Recepción de datos
Puertos E/S	1	RA0 RB7 RB6	Led indicador de transmisión Led indicador de no conexión USB Led indicador de conexión USB
Reloj	1	OSC1 OSC2	Generador de reloj del sistema por cristal de 4MHz
Fuente de alimentación	1	VDD GND	Tomado del propio conector USB
Reset	1	RE3	Para reiniciar el programa

Fuente: Elaborado por el investigador.

Por ejemplo : Caracter "s" ≡ 73H.

Monóxido de Carbono 12 ppm ≡ 0CH.

Velocidad del flujo de aire 30 m/minuto ≡ 1EH



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.14 Información recibida desde el sistema móvil pasando por el módulo receptor de RF-ASK.

El código del programa para el microcontrolador del circuito de la Estación de Monitoreo se muestra a continuación.

```
//*************************************************************
//*          UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA            *
//*      Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas         *
//*     Escuela Académico Profesional de Electrónica         *
//*                                                          *
//*   Archivo          : MONITOREO_RF.C                      *
//*   Autor            : Jerson Jesús, PATILLA CERRÓN        *
//*   Compilador       : CCS 4.128                           *
//*   Date             : 10/10/2013                          *
//*   Versión          : 1.0                                 *
//*************************************************************
#include <18F2550.h>            //Se declara PIC a usar
#fuses HSPLL,MCLR,PUT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG
#fuses USBDIV,PLL3,CPUDIV1,VREGEN,NOPBADEN
#use delay(clock=48000000)      //Frecuencia del cristal 48MHz
#use rs232(baud=1200,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,parity=N)
//Configuro el módulo USART como asíncrono para Tx y Rx
#define USB_HID_DEVICE FALSE
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK
#define USB_EP1_TX_SIZE 2
#define USB_EP1_RX_SIZE 1
#include <pic18_usb.h>  //PIC18Fxx5x hardware layer for CCS
#include <PicUSB.h>     //Configuración del USB y los descriptores
#include <usb.c>        //handles USB setup tokens
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)

// DECLARACIÓN DE CONSTANTES \\
#define LEDV       PIN_B7
#define LEDR       PIN_B6
#define LED_ON     output_high
#define LED_OFF    output_low
#define COMANDO    recibe[0]

// INICIO DE PROGRAMA \\
//*********************\\
//Inicio del programa principal
void main()
{
char     cabecera=170;  //Identificación único
char     recibe[1];
```

```
int      i;
int8     envia[2];
setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
set_tris_a(0x00);        //Puerto A como salida
output_a(0x00);          //Limpiamos el puerto A
set_tris_b(0x00);        //Puerto B como salida
output_b(0x00);          //Limpiamos el puerto B
set_tris_c(0b10000000);
LED_OFF(LEDV);           //Apagamos led Verde
LED_ON(LEDR);            //Encendemos led Rojo
usb_init();              //Inicializamos el USB
usb_task();                      //Habilita USB e interrupciones
usb_wait_for_enumeration();      //Esperamos PicUSB sea configurado
delay_ms(50)
LED_ON(LEDV);                    //Encendemos led verde
LED_OFF(LEDR);                   //Apagamos led Rojo

while (TRUE)
{
if(usb_enumerated())             //Si el PicUSB está configurado
 {
if (usb_kbhit(1))                //Endpoint de salida contiene datos
        {
usb_get_packet(1, recibe, 1);    //Byte del EP1 lo almacenamos
        COMANDO=recibe[0];
        output_a(COMANDO);
        envia[0]=cabecera;
        envia[1]=COMANDO;
        usb_put_packet(1, envia, 2, USB_DTS_TOGGLE);

        if (COMANDO=='A')        //Avanza=65
        {putc(cabecera);         //Por el USART nuestra identificación
        for(i=1;i<4;i++)         //Enviamos la orden
                {putc(1);
                delay_ms(1);}}

        else if (COMANDO=='R')
        {putc(cabecera);
        for(i=1;i<4;i++)
                {putc(2);
                delay_ms(1);}}

        else if (COMANDO=='D')
        {putc(cabecera);
        for(i=1;i<4;i++)
                {putc(4);
                delay_ms(1);}}
```

```
        else if (COMANDO=='I')
        {putc(cabecera);
        for(i=1;i<4;i++)
                {putc(8);
                delay_ms(1);}}

        else if (COMANDO=='P')//Parado=80
        {putc(cabecera);
        for(i=1;i<4;i++)
                {putc(64);
                delay_ms(1);}}
        }
  }
}
}                                   //Fin de programa
```

COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

En la comunicación por RF se trata de enviar o recibir la información (datos) mediante el campo electromagnético desde un módulo emisor de RF-ASK hasta un módulo receptor de RF-ASK o viceversa. Para el presente trabajo se utilizó con portadora sinusoidal de frecuencia establecida a 434 MHz y como señal moduladora las órdenes (datos) para la tele operación del movimiento del móvil. Como cualquier otro tipo de comunicación inalámbrica, el rendimiento de la conexión estará afectado por la potencia de la señal y por la degradación de la señal debido a la distancia, ruido o interferencia. En el mercado existe una gran variedad de módulos de RF, los cuales se pueden conectar a los microcontroladores por puerto RS232.

Como se ha mencionado, el desarrollo de la tesis está basado en el uso de comunicación por radio frecuencia (RF); por ello se decidió trabajar con el **módulo transmisor de RF** ST-TX01-ASK y el **módulo receptor de RF** ST-RX04-ASK de SUMMITEK Technology Co.

Sistema móvil

Es el encargado de cumplir las órdenes enviadas desde la estación de monitoreo respecto al movimiento del robot y adquisición de datos; para ello, utiliza el microcontrolador PIC18F2550 como procesador.

Está constituido por el circuito del sistema móvil (Conformado por: Sensor de monóxido de carbono con su circuito de adaptación de señal, sensor de la velocidad de flujo del aire con su respectivo circuito de adaptación de señal, módulo transmisor y receptor de RF-ASK, circuito driver del motor de tracción, circuito driver del motor de dirección del robot, microcontrolador PI18F2550 y componentes, y sus respectivas fuente de alimentación); el mismo móvil (Mini auto eléctrico con locomoción Ackerman), la cámara IP con tecnología Wi-Fi y sus respectivas baterías de alimentación. En la figura 4.15 se muestra el diagrama de bloques del sistema móvil donde destacan, el esquema del circuito electrónico del sistema móvil, los sub circuitos para los sensores y la cámara IP Wi-Fi.

Sensor de monóxido de carbono y su circuito de adaptación de señal

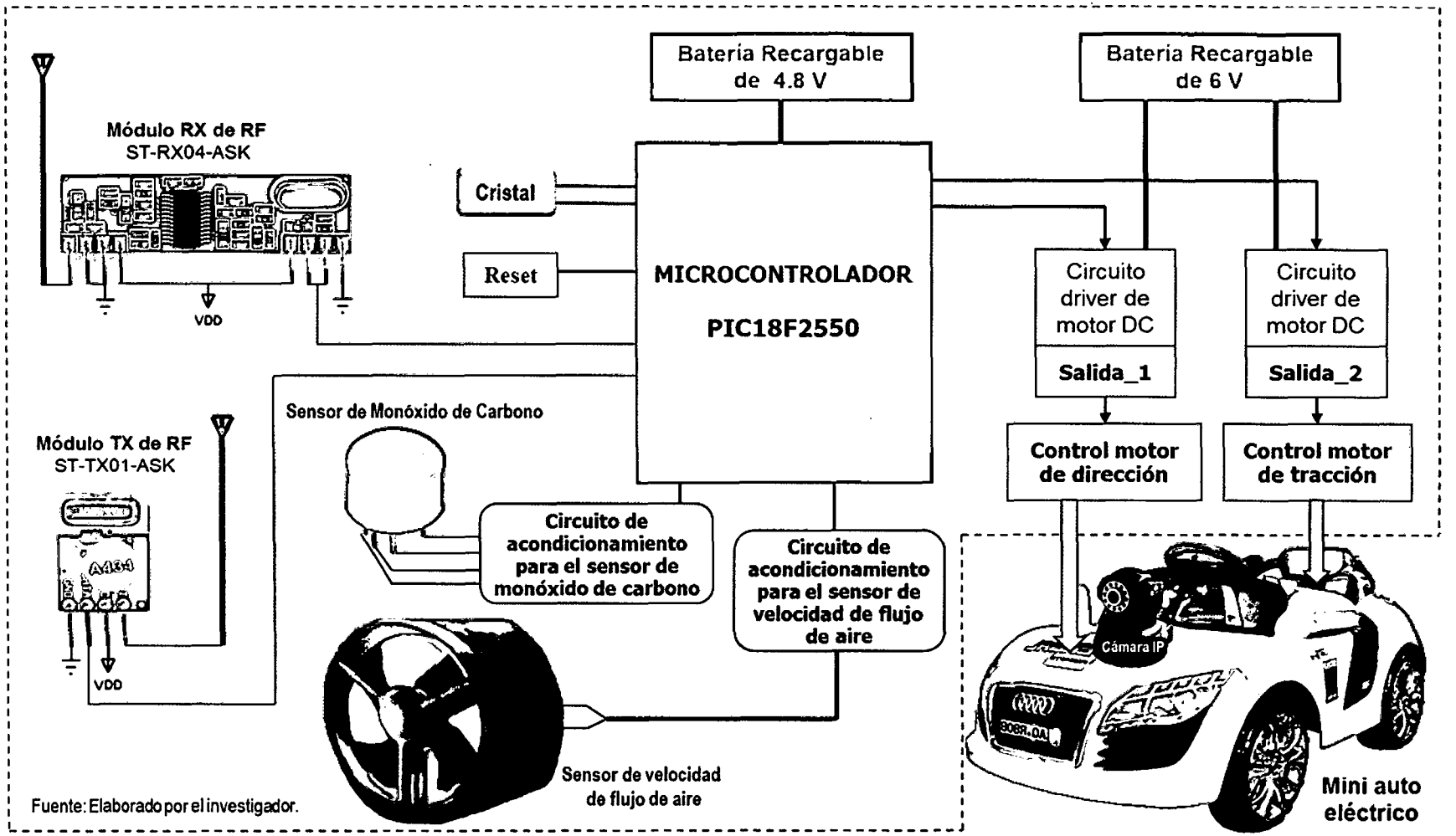
En la figura 4.16 se muestra el aspecto físico y la asignación de pines del sensor MQ-7; que es un dispositivo semiconductor que cambia su conductividad en función de la cantidad de gas que recibe, para ello posee un circuito interno que funge como divisor de tensión.

A través del elemento semiconductor sensible al gas se aplica una diferencia de potencial. Entre la salida del sensor Vout y Tierra (V=0) se coloca una resistencia de carga. Entonces el cambio de resistencia del sensor puede medirse como:

$$R_s = \left(\frac{V_c}{V_{out}} - 1\right) * R_L$$

El circuito de adaptación de señal para el sensor de CO, se alimenta con un voltaje fijo de 5V, además de un suministro de voltaje de 5V durante 60 segundos y 1.4V durante 90 segundos, tal como se muestra la figura 4.17.

El microcontrolador genera una onda cuadrada de 90 segundos en alto y 60 segundos en bajo por el puerto RB5, que se conecta a la base de un transistor el cual funciona en corte y saturación, permitiendo energizar o no energizar la bobina del relé. Cuando la bobina del relé está energizada hace que se cambie de voltaje de 5V a 1.4V.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.15 Diagrama de bloques del sistema móvil.

Un diodo polarizado inversamente se conecta en paralelo con la bobina del relé, para proteger al microcontrolador.

El sensor genera una salida analógica, esta salida se conecta a una resistencia que se ajusta a un valor de 10K para que el sensor proporcione un rango de 0V a 5V el cual es idóneo para que ingrese al conversor análogo-digital del microcontrolador.

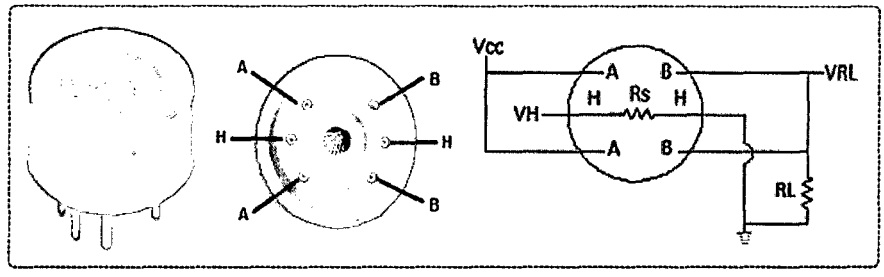


Figura 4.16 Aspecto físico y la asignación de pines del sensor MQ-7.

Fuente: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf.

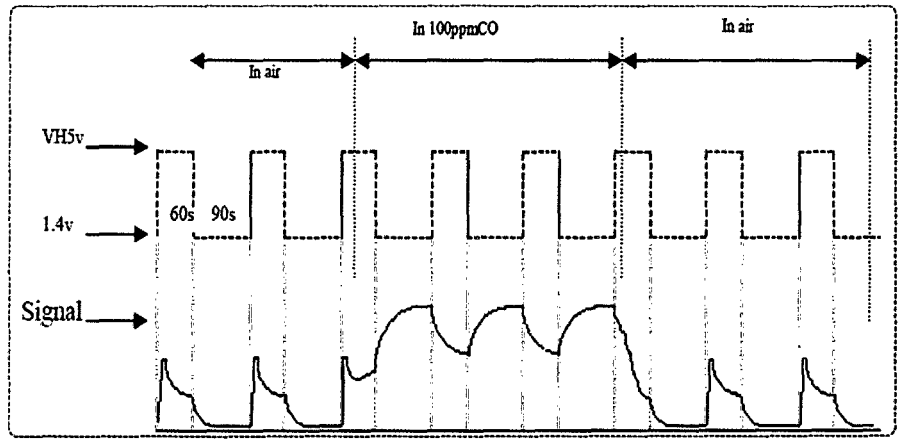


Figura 4.17 Diagrama de tiempo para la alimentación del sensor MQ-7.

Fuente: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf.

La impedancia de salida del MQ-7 (RS) está comprendida en el orden de los 20KΩ que es muy elevada, por lo que un circuito seguidor de señal que funciona acoplando impedancias mediante el operacional LM358 gracias a sus características de alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida y ganancia 1 (máxima transferencia de señal), hará que no exista caída de tensión debido a RS ya que con cualquier elemento que se

conecte luego del MQ-7 se creará un divisor de tensión reduciendo el voltaje de medición del sensor (VRL, salidas B del MQ-7), las cuales deben estar comprendidas entre 0V a 5V y que la impedancia para los próximos circuitos sea de muy bajo valor. R2 es la resistencia de carga del MQ-7. En la figura 4.18 se muestra el circuito de adaptación para este sensor.

Sensor de la velocidad de flujo del aire y su circuito de adaptación de señal: El sensor utiliza cazoletas que está acoplada al eje de un motor D.C. que induce una tensión D.C. entre sus terminales, el cual es proporcional a la velocidad del flujo de aire. Su circuito de adaptación comprende un seguidor con el OPAM LM358 y amplificador de tensión tal que la salida este ente 0V a 5V antes de ingresar al ADC del microcontrolador. El circuito se muestra en la figura 4.19.

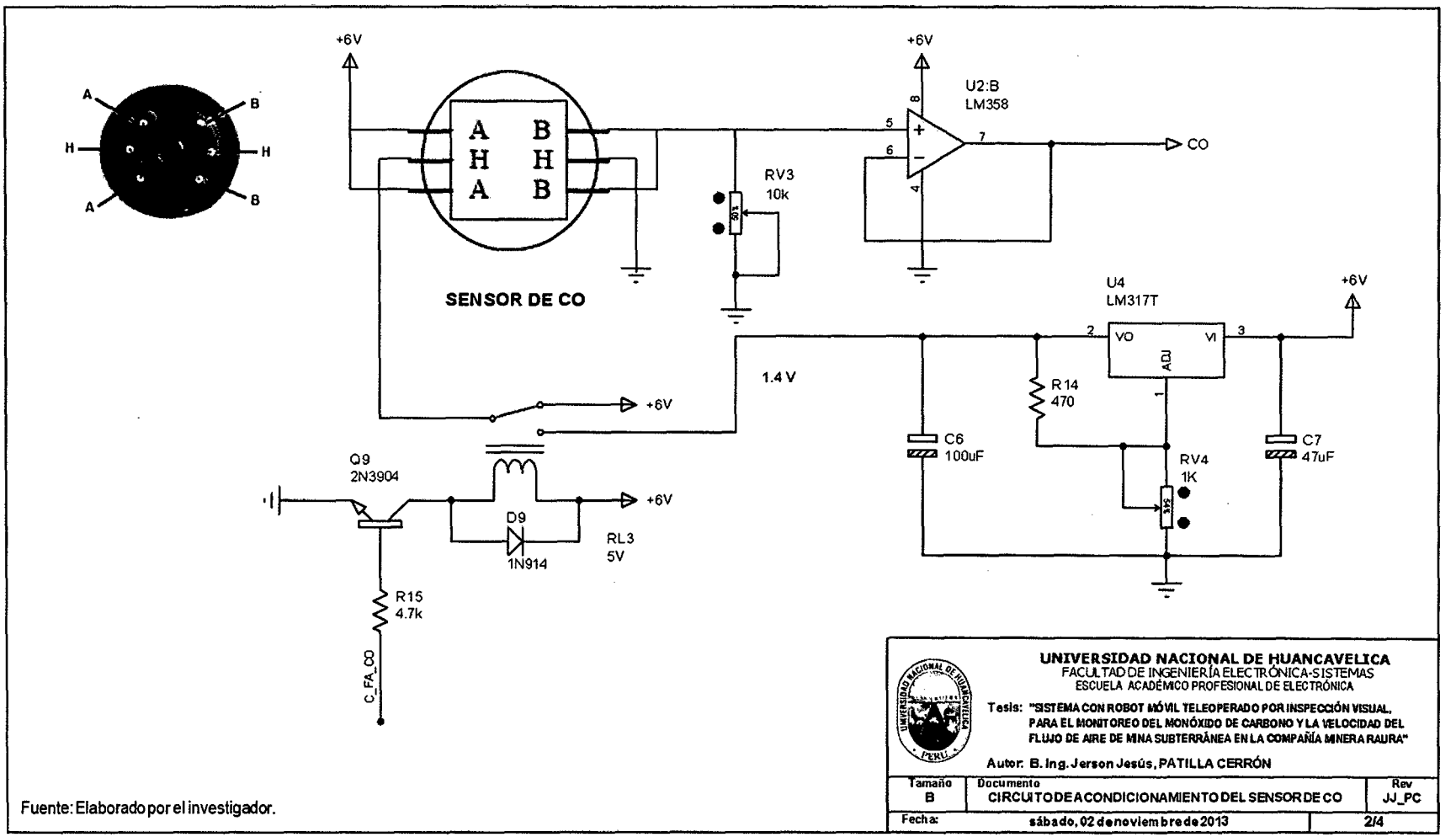
Circuito driver para motores D.C. del móvil

El proyecto está basado en un mini auto eléctrico comercial para la construcción del robot móvil. Debido a que se puede reutilizar su chasis, así como sus dos motores DC. Uno para el control de la dirección y otro para el control de la tracción del robot móvil.

Estos motores son controlados por el microcontrolador, a través de un circuito driver para amplificar las señales de corriente. El circuito típico usado en el manejo de estas señales recibe el nombre de puente H, aunque existen drivers como el L293B, que funcionan como amplificador para motores D.C.

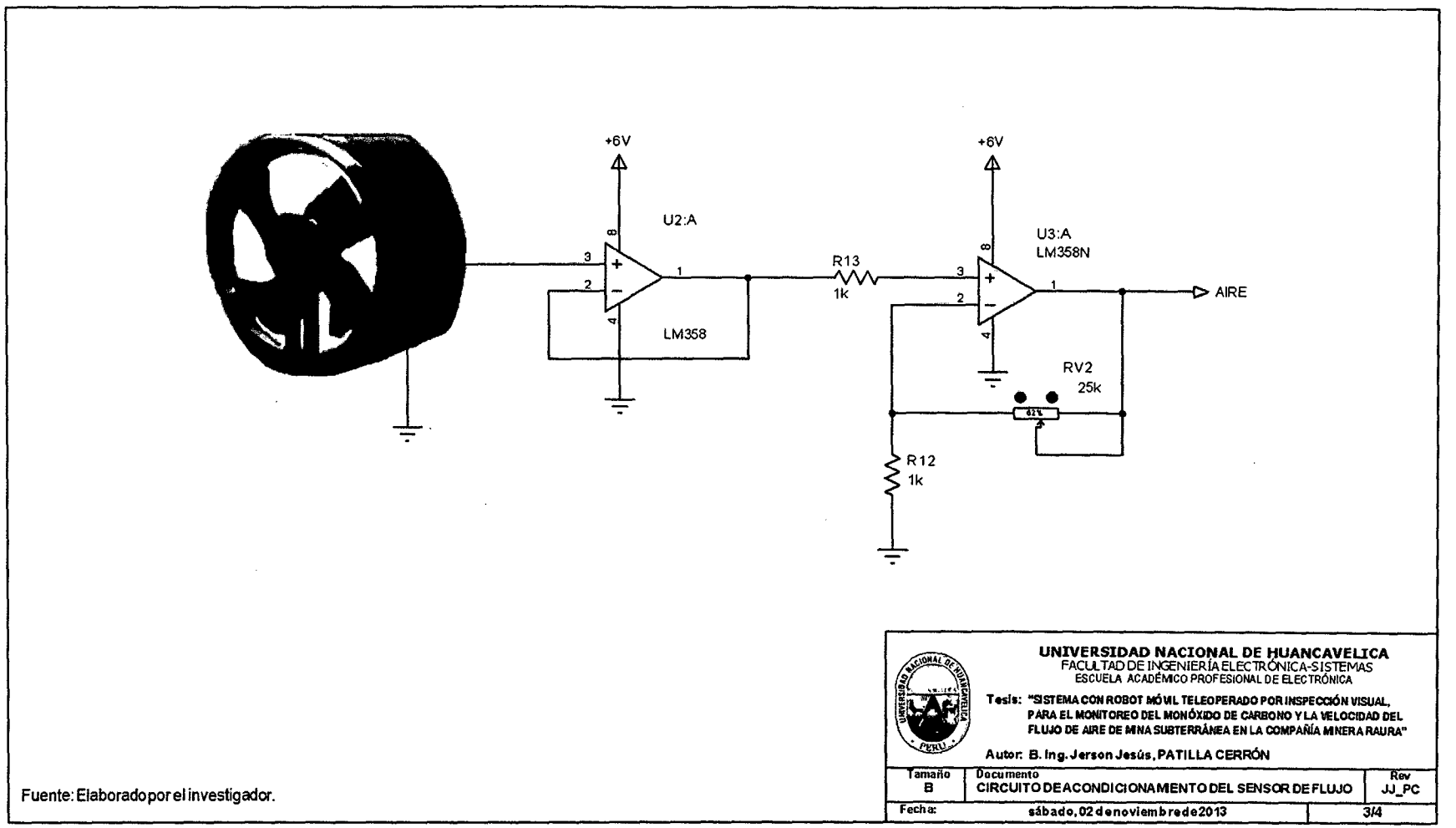
El puente H como su nombre lo indica, es un circuito que sirve como puente entre un sistema digital y el motor D.C., amplifica la potencia para mover dicho motor y garantiza el giro del mismo. Para lograr esto, el puente está conformado por cuatro transistores, de los cuales, si dos transistores opuestos diagonalmente se activan la corriente fluirá de un sentido a otro, permitiendo así controlar el giro del motor. Véase la figura 4.20.

Para determinar el sentido de giro de los motores DC, se siguió el comportamiento de los transistores respecto al nivel lógico en sus respectivas bases, tal como se muestra en la tabla 4.5.



Fuente: Elaborado por el investigador.

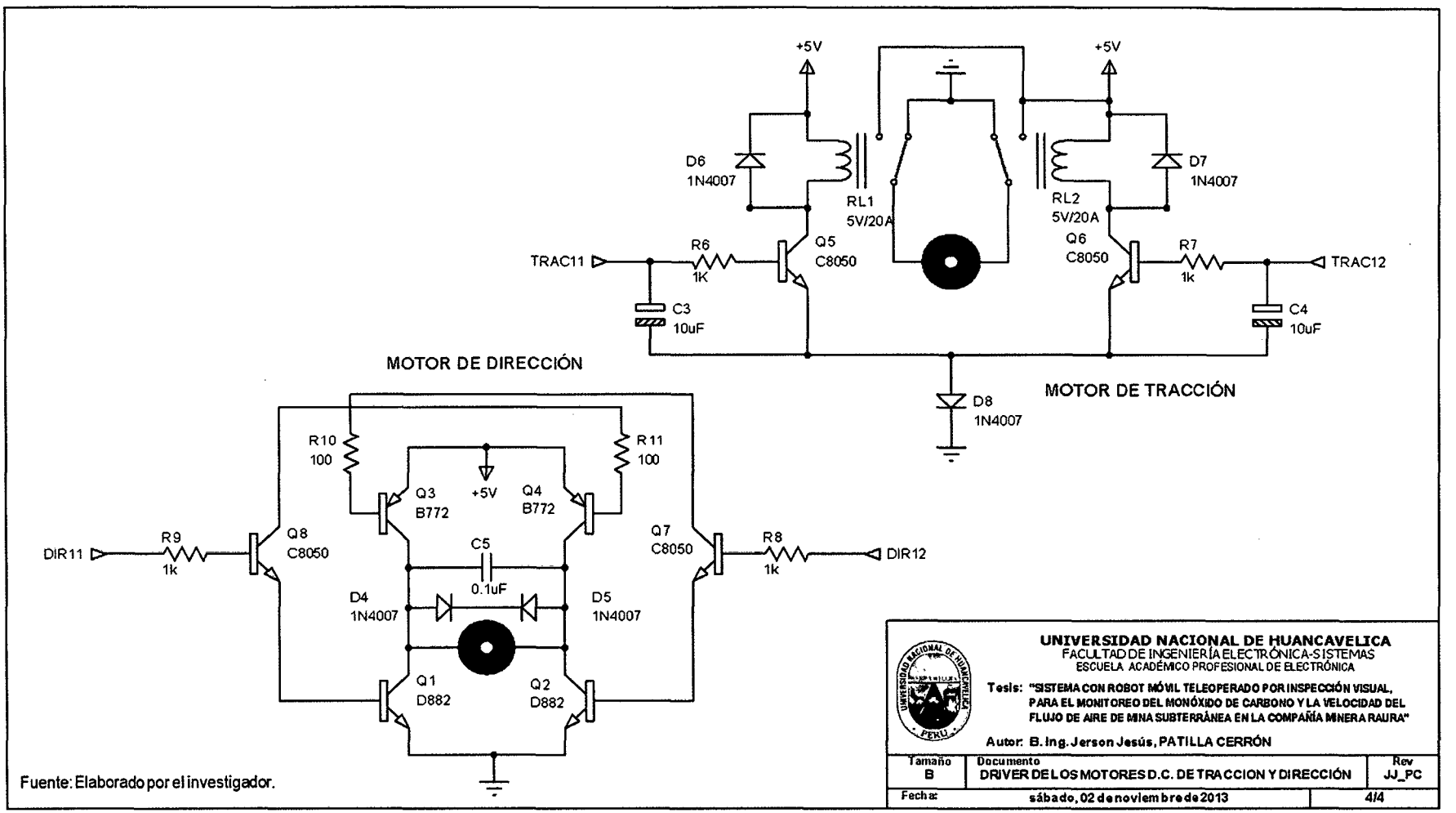
Figura 4.18 Esquema electrónico del circuito de adaptación para sensor de CO.



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.19 Esquema electrónico del circuito de adaptación para sensor de velocidad de flujo de aire.

47



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.20 Esquema electrónico del circuito driver de los motores D.C. de tracción y dirección.

Tabla 4.3 Giro de los motores D.C., según la orden.

Q1	Q2	Q7	Q8	Giro del Motor
1	0	1	0	Giro hacia la derecha
0	1	0	1	Giro hacia la izquierda
0	0	0	0	Motor parado
1	1	1	1	Motor parado

Fuente: Elaborado por el investigador.

Circuito del sistema móvil

Este circuito opera al igual que el circuito transmisor; pero como no se conecta directamente a la PC, no tiene implementado la circuitería de comunicación USB; pero tiene implementado la comunicación RS-232 a nivel TTL con el módulo receptor de RF, su objetivo es de recibir la información proveniente de la Estación de Control, procesarla y enviarla al circuito driver para los motores D.C. de tracción y dirección del robot móvil, para luego de verificar que se cumplió el mando enviando una señal a la Estación de Control. Basado en esto, se implementó el circuito receptor de que se muestra en la figura 4.21.

Programación del microcontrolador PIC18F2550

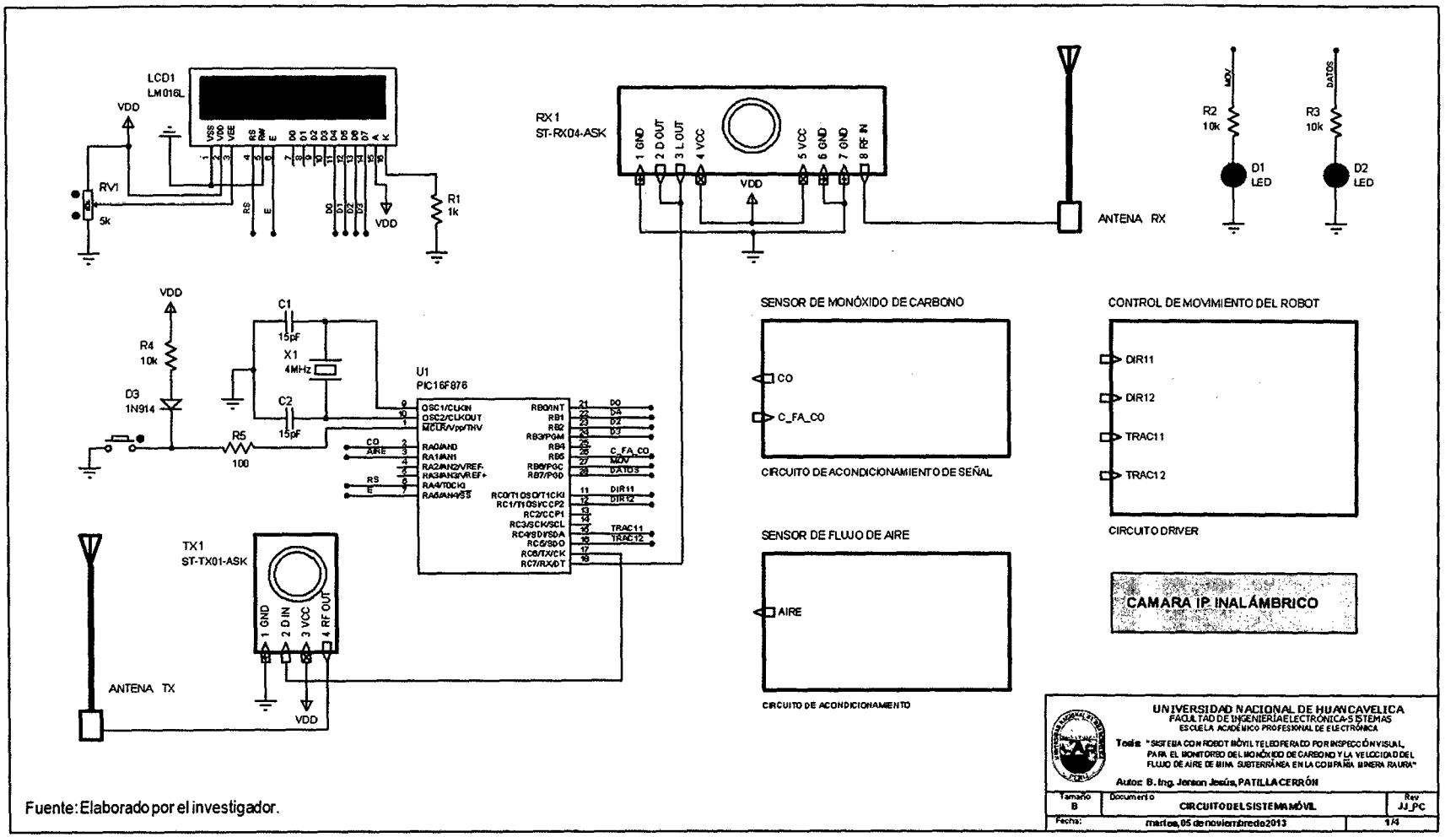
El proceso de programación del microcontrolador se realizó en tres etapas:

1. Edición del programa.
2. Compilación y simulación del programa.
3. Grabación del programa en el PIC.

Teniendo en consideración que el objetivo del sistema móvil es ejecutar las órdenes enviadas desde la estación de control referente al movimiento del robot, se sigue el diagrama de flujo que se muestra en la figura 4.22.

Los recursos utilizados para la programación del PIC18F2550 y la distribución de pines, se pueden apreciar en la tabla 4.4.

Cabe resaltar, que el receptor de RF, recepciona una trama de 4 bytes (32 bits), de los cuales el primer byte corresponde a la identificación del dispositivo y los tres siguientes bytes corresponde a la orden de movimiento que debe realizar el robot móvil: Avanza, retrocede, giro a la derecha, giro



Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 4.21 Esquema electrónico del circuito del sistema móvil.

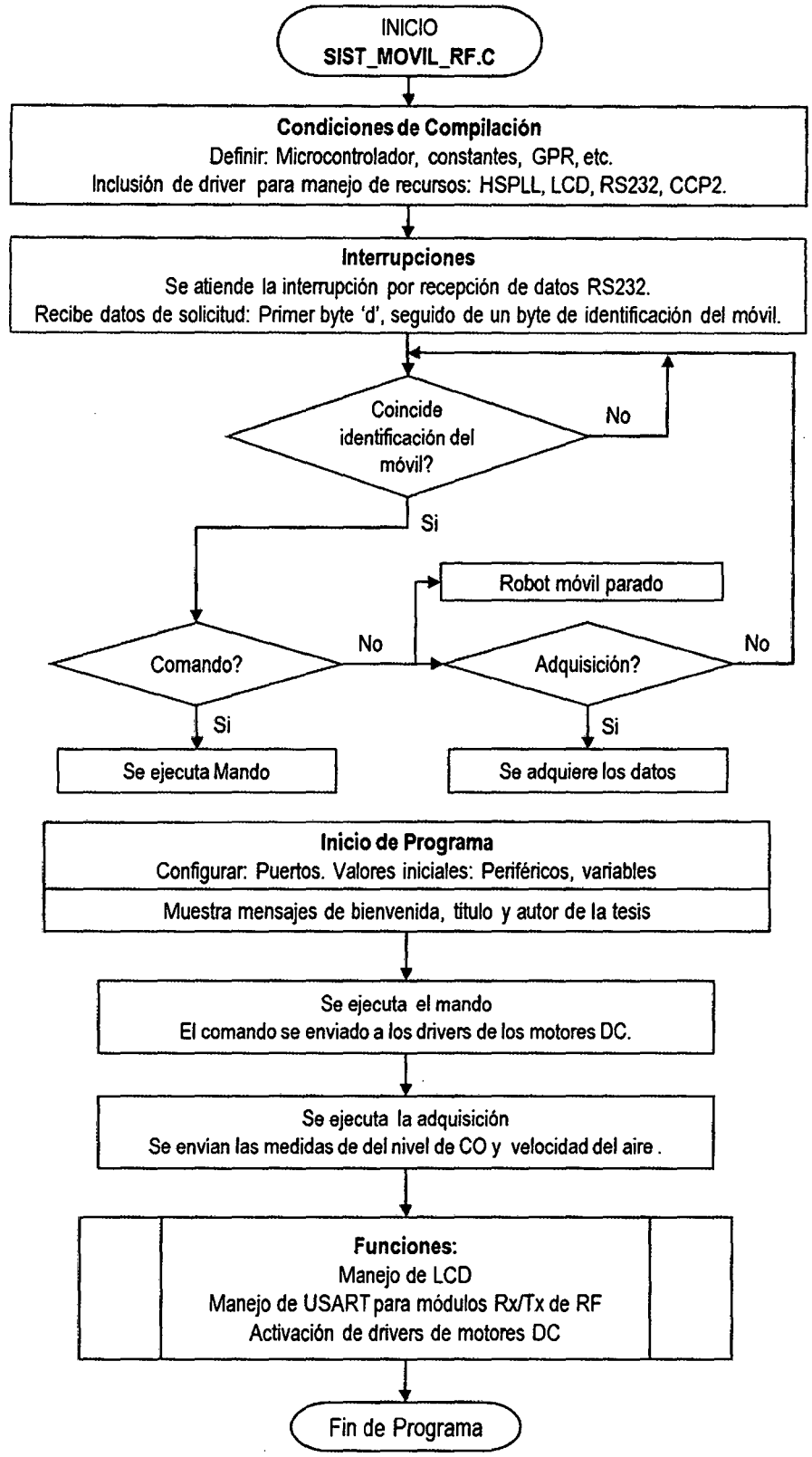


Figura 4.22 Diagrama de flujo del programa para el circuito del Sistema Móvil.

Fuente: Elaborado por el investigador.

a la izquierda y parado, como se observa en la tabla 4.5.

El programa del microcontrolador PIC18F2550 para el circuito del sistema móvil, debe realizar las tareas siguientes:

- Al encender el sistema, se muestra en el LCD de 16x2, un mensaje de bienvenida, título y autor de la tesis. En funcionamiento normal muestra la orden para el movimiento y los valores de CO y la velocidad del flujo.
- Recibe la orden para la teleoperación del móvil desde el módulo receptor de RF.
- Recibe la solicitud de adquisición, adquiere el nivel de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire en el interior de mina, luego los envía al módulo transmisor de RF.
- Ejecuta las órdenes recibidas para el control de movimiento del robot, través de los drivers de los motores D.C. de dirección y tracción.

Tabla 4.4 Recursos y pines utilizados por el PIC.

Recursos	Cantidad	Pines	Descripción
EUSART	1	RC6 RC7	Transmisión de datos Recepción de datos
Puertos E/S	3	RA0 RC2, RC3 RC4, RC5 RA3, RA4, RA5 RB0,RB1,RB2, RB3	Led, movimiento de robot Motor de dirección del móvil Motor de tracción del móvil Módulo LCD
Reloj	1	OSC1 OSC2	Generador de reloj del sistema por cristal de 4MHz
Reset	1	RE3	Para reiniciar el programa

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.5 Información que entrega el módulo receptor de RF al PIC18F2550, luego de la demodulación ASK.

Orden	**Trama de bits que se transmite y luego se recibe**	**Código decodificado**
Avanza	10101010 00000001 00000001 00000001	00000001
Retrocede	10101010 00000010 00000010 00000010	00000010
Giro a la Derecha	10101010 00000100 00000100 00000100	00000100
Giro a la Izquierda	10101010 00001000 00001000 00001000	00001000
Parado	10101010 00010000 00010000 00010000	00010000
Adquisición de datos	10101010 01000000 00100000 00100000	00100000

Fuente: Elaborado por el investigador.

El código del programa para el microcontrolador del circuito del sistema móvil receptor se desarrolló con en el Compiler CCS 4.128, se muestra a continuación.

```
//*************************************************************
//*          UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA            *
//*      Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas         *
//*     Escuela Académico Profesional de Electrónica         *
//*                                                          *
//*   Archivo          : SIST_MOVIL_RF.C                     *
//*   Autor            : Jerson Jesús, PATILLA CERRÓN        *
//*   Compilador       : CCS 4.128                           *
//*   Date             : 10/10/2013                          *
//*   Versión          : 1.0                                 *
//*************************************************************
#include <18F2550.h>            //Se declara PIC a usar
#fuses XT,NOWDT,PUT,NOBROWNOUT,NOLVP,NOCPD,NOWRT,NOPROTECT
#use delay(clock=4000000)       //Frecuencia del cristal 4MHz
#use rs232(baud=1200,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,parity=N)
//Configuro el módulo USART asíncrono como TX y RX

// DECLARACIÓN DE CONSTANTES \\
#priority rtcc
#DEFINE ENI PIN_C1
#DEFINE END PIN_C2
#DEFINE INI_1 PIN_C0
#DEFINE INI_2 PIN_C3
#DEFINE IND_1 PIN_C4
#DEFINE IND_2 PIN_C5
#DEFINE PTD PIN_B0
#DEFINE ALTO OUTPUT_HIGH
#DEFINE BAJO OUTPUT_LOW
#use fast_io (b)
#use fast_io (c)
#define ULTRASONIC      PIN_C1
#bit Bit_PWM = PORTB.7  //Bit 7 puerto B Salida modulación

// Prototipos de las funciones \\
void rda_isr()          //Adquisición de Datos

////////////////////
// INTERRUPCIONES \\
////////////////////
//FUNCIÓN DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE IDENTIFICACIÓN Y MOVIMIENTO
#INT_RDA
void rda_isr()
```

```
{
 valor[0]=fgetc();      //Primer dato adquirido: identificación
 if (valor[0]==170)     //Valor único, '@',10101010
 {                      //Si la identificación es autentificada se
                        //Procede a capturar los 3 datos faltantes
 for(i=1;i<4;i++)       //Almacena 3 datos del módulo USART
 {
 valor[i]=fgetc();
 }
 if(valor[1]==valor[2] && valor[2]==valor[3]) //Comparamos
 {dato=valor[3];}
 }
}

// DECLARACIÓN DE FUNCIONES \\
// Movimiento avanza el robot
void AVANZA()
 {ALTO(ENI);
 ALTO(END);
 ALTO(INI_1);
 ALTO(IND_1);
 BAJO(INI_2);
 BAJO(IND_2);}

// Movimiento retrocede el robot
void RETROCEDE()
   {ALTO(ENI);
 ALTO(END);
 ALTO(INI_2);
 ALTO(IND_2);
 BAJO(INI_1);
 BAJO(IND_1);}

// Giro a la derecha del robot
void G_DERECHA()
{ALTO(ENI);
 ALTO(END);
 ALTO(INI_2);
 ALTO(IND_1);
 BAJO(INI_1);
 BAJO(IND_2);
delay_ms(75);}

// Giro a la izquierda del robot
void G_IZQUIERDA()
{ALTO(ENI);
 ALTO(END);
```

```
  ALTO(INI_1);
  ALTO(IND_2);
  BAJO(INI_2);
  BAJO(IND_1);
delay_ms(75);}

// Robot parado
void PARADO()
{BAJO(ENI);
 BAJO(END);
 BAJO(INI_2);
 BAJO(IND_2);
 BAJO(INI_1);
 BAJO(IND_1);
 BAJO(PTD);}

// Parpadeo de led, que indica se puede transmitir
void GLP()
{ALTO(PTD);
 DELAY_MS(100);
 BAJO(PTD);
 DELAY_MS(100);}

//********************\\
// INICIO DE PROGRAMA \\
//********************\\
void main()
{set_tris_b(0);
output_b(0);
set_tris_c(0b10000000);
output_c(0);
PARO;
setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
enable_interrupts (GLOBAL);
enable_interrupts(int_rda);     //Interrupción por recepción de USART
delay_ms(500);                  //Estabilización en el arranque
while (TRUE)
 {delay_ms(500);                //Tiempo entre impulsos test
  }
while(true)
 {                              //Bucle while
 switch(dato)                   //Comparamos el dato y ejecutamos
 {case 1:
        AVANZA();
        break;
 case 2:
        RETROCEDE();
```

```
            break;
    case 4:
            G_DERECHA();
            break;
    case 8:
            G_IZQUIERDA();
            break;
    case 16:
            PARADO();
            break;
    default:
            GLP();
            break;
    }
    }
}                                   //Fin de programa
```

Circuito de la fuente de alimentación

La alimentación del circuito receptor, será proporcionada por: Una batería recargable de Ni-Cd de 4.8 V D.C. (VDD), de 500 mAh, exclusivamente para el circuito del Sistema Móvil y una batería recargable de ácido de 12 V D.C. (VCC), con una duración de 7 Ah, exclusivamente para los circuito drivers del motor de dirección y del motor de tracción, tal como se observa en la figura 4.23.

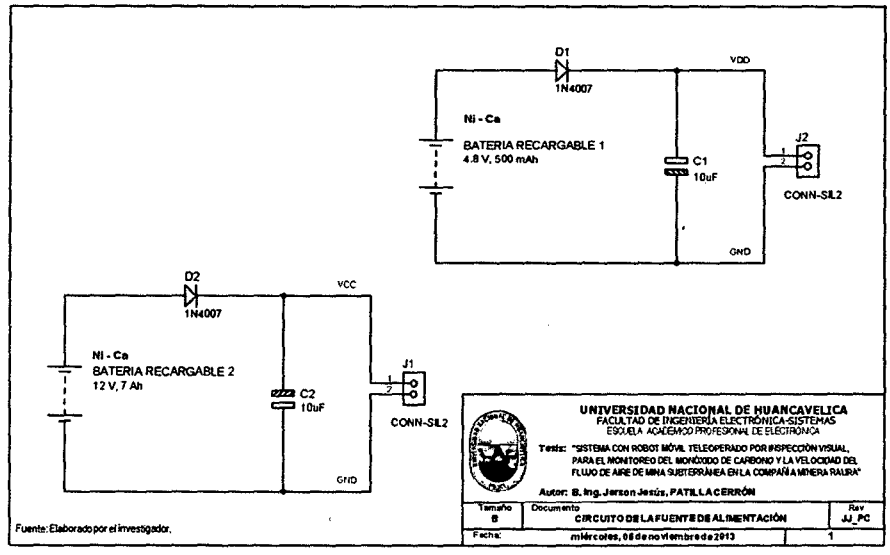


Figura 4.23 Circuito de la fuente de alimentación del Sistema Móvil.

Fuente: Elaborado por el investigador.

Prototipo final del sistema

El prototipo implementado que se utilizó para realizar las pruebas; está conformado por la estación de monitoreo, que se muestra en la figura 4.24 y el sistema móvil que se observa en la figura 4.25.

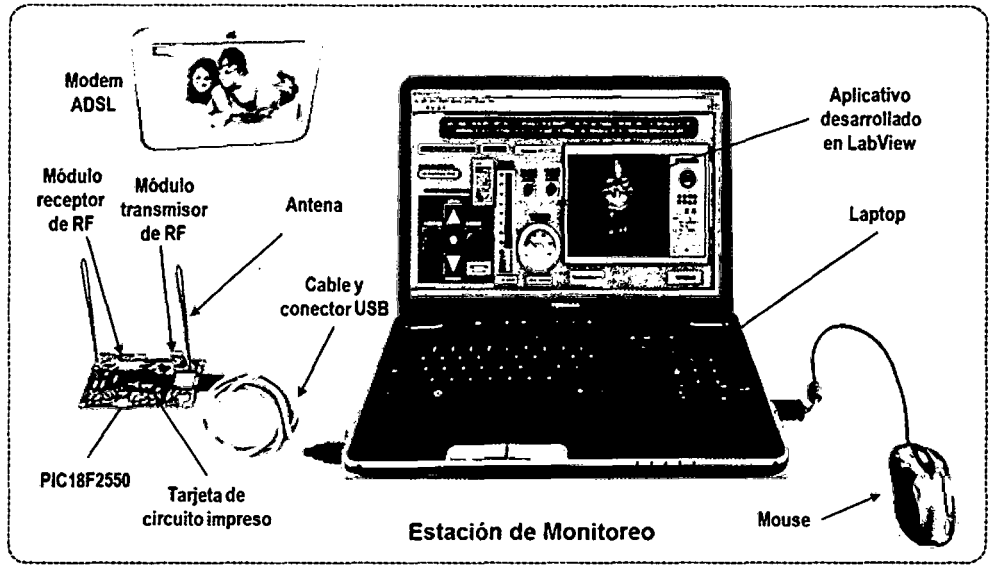


Figura 4.24 Estación de control implementado.

Fuente: Elaborado por el investigador.

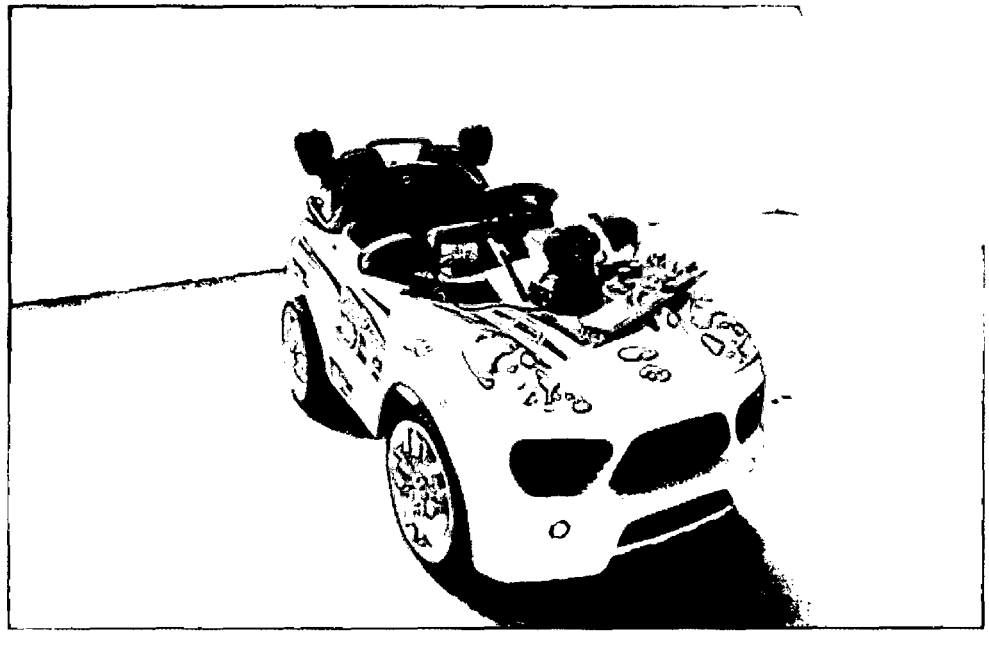


Figura 4.25 Sistema móvil implementado.

Fuente: Elaborado por el investigador.

En la PC se ejecuta el aplicativo desarrollado en LabView 2012; luego de ser energizados los circuitos electrónicos, que contienen los microcontroladores PIC18F2550 grabados con sus respectivos programas y montados en protoboard con todos los dispositivos electrónicos requeridos, encontrándose listos para realizar las prüebas experimentales.

Pruebas de experimentales realizadas en el sistema

En la implementación completa del "SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA"; se realizaron las 25 pruebas experimentales respecto a las variables independiente y dependiente.

Procesamiento y presentación de resultados de la variable independiente

Para la variable independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual, al realizar las pruebas experimentales se observó que en la prueba N° 4 y en prueba N° 9 no hubo una comunicación entre el circuito transmisor y el circuito receptor, debido a que la batería recargable de su fuente de alimentación se descargó, no pudiendo alimentarse adecuadamente el circuito. Los datos obtenidos en las pruebas realizadas sobre la comunicación inalámbrica para el control de movimiento del robot móvil, se muestran en las tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10.

Procesamiento y presentación de resultados de la variable dependiente

La compañía minera Raura S.A. ha realizado la distribución sobre su concesión, a través de las rutas como se observa en la tabla 4.11., en estas rutas se encuentran los yacimientos mineros subterráneos a explotar, encontrándose principalmente la mina esperanza con sus tajos 860, 652, 555 y 978; en la mina Catuva el nivel 490 y el tajo 090; en la mina Gayco con el nivel 300 y 520, etc.

Para el caso de la investigación realizada, las medidas del nivel de monóxido de carbono y velocidad del viento se realizaron con el consentimiento de la superintendencia de la compañía minera Raura S.A., contando solo con la

Tabla 4.6 Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil teleoperado, cuando se envía la orden avanza al robot.

Movimiento avanza del robot móvil								
Ítem			1	2	3	4	5
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿En el aplicativo, en la ventana correspondiente, se observa en la imagen captada por cámara IP la posición del móvil?	¿En el aplicativo de LabView, observando la posición del móvil; al hacer clic en el icono avanza se transmite vía USB el equivalente del movimiento al circuito de la Estación de Monitoreo?	¿El microcontrolador del circuito de la Estación de Monitoreo, recepciona el equivalente del movimiento avanza, la convierte a formato RS232 y la envía al módulo transmisor de RF, quien la modula en ASK y la transmite a través de su antena?	¿La antena del módulo receptor de RF del circuito del Sistema Móvil recepciona la señal equivalente del movimiento avanza, la demodula en ASK, la convierte a formato RS232 y la envía al microcontrolador?	¿El microcontrolador del circuito del Sistema Móvil recibe los datos, los procesa; los visualiza en el LCD, acciona automáticamente el circuito driver del motor de tracción y se observa que el robot móvil avanza?
1	21/10/13	Sí		✓	✓	✓	
	09:00:00	No	✓				✓
2	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:03:00	No					
3	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:06:00	No					
4	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:09:00	No					
5	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:12:00	No					
6	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:15:00	No					
7	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:18:00	No					
8	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:21:00	No					
9	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:24:00	No					
10	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:27:00	No					
11	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:30:00	No					
12	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:33:00	No					
13	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:36:00	No					
14	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:39:00	No					
15	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:42:00	No					
16	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:45:00	No					
17	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:48:00	No					
18	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:51:00	No					
19	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:54:00	No					
20	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	09:57:00	No					
21	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No					
22	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No					
23	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	No					
24	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No					
25	21/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No					

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.7 Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil teleoperado, cuando se envía la orden retrocede al robot.

Movimiento retrocede del robot móvil								
Ítem			6	7	8	9	10
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿En el aplicativo, en la ventana correspondiente, se observa en la imagen captada por cámara IP la posición del móvil?	¿En el aplicativo de LabView, observando la posición del móvil; al hacer clic en el icono retrocede se transmite vía USB el equivalente del movimiento al circuito de la Estación de Monitoreo?	¿El microcontrolador del circuito de la Estación de Monitoreo, recepciona el equivalente del movimiento retrocede, la convierte a formato RS232 y la envía al módulo transmisor de RF, quien la modula en ASK y la transmite a través de su antena?	¿La antena del módulo receptor de RF del circuito del Sistema Móvil recepciona la señal equivalente del movimiento retrocede, la demodula en ASK, la convierte a formato RS232 y la envía al microcontrolador?	¿El microcontrolador del circuito del Sistema Móvil recibe los datos, los procesa; los visualiza en el LCD, acciona automáticamente el circuito driver del motor de tracción y se observa que el robot retrocede?
1	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No					
2	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	
	10:03:00	No					✓
3	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	No					
4	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No					
5	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No					
6	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:15:00	No					
7	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:18:00	No					
8	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:21:00	No					
9	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:24:00	No					
10	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:27:00	No					
11	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:30:00	No					
12	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:33:00	No					
13	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:36:00	No					
14	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:39:00	No					
15	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:42:00	No					
16	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:45:00	No					
17	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:48:00	No					
18	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:51:00	No					
19	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:54:00	No					
20	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:57:00	No					
21	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:00:00	No					
22	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:03:00	No					
23	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:06:00	No					
24	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:09:00	No					
25	22/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:12:00	No					

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.8 Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil teleoperado, cuando se envía la orden giro a la derecha.

Movimiento giro a la derecha del robot móvil								
Item			11	12	13	14	15
Pruebas	Fecha Hora	Items	¿En el aplicativo, en la ventana correspondiente, se observa en la imagen captada por cámara IP la posición del móvil?	¿En el aplicativo de LabView, observando la posición del móvil; al hacer clic en el icono giro a la derecha, se transmite vía USB el equivalente del movimiento al circuito de la Estación de Monitoreo?	¿El microcontrolador del circuito de la Estación de Monitoreo, recepciona el equivalente del movimiento giro a la derecha, la convierte a formato RS232 y la envía al módulo transmisor de RF, quien la modula en ASK y la transmite a través de su antena?	¿La antena del módulo receptor de RF del circuito del Sistema Móvil recepciona la señal equivalente del movimiento giro a la derecha, la demodula en ASK, la convierte a formato RS232 y la envía al microcontrolador?	¿El microcontrolador del circuito del Sistema Móvil recibe los datos, los procesa; los visualiza en el LCD, acciona automáticamente el circuito driver del motor de dirección y se observa que el robot gira a la derecha?
1	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No					
2	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No					
3	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	No					
4	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No					
5	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	
	10:12:00	No					✓
6	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:15:00	No					
7	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:18:00	No					
8	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:21:00	No					
9	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:24:00	No					
10	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:27:00	No					
11	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:30:00	No					
12	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:33:00	No					
13	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:36:00	No					
14	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:39:00	No					
15	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:42:00	No					
16	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:45:00	No					
17	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:48:00	No					
18	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:51:00	No					
19	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:54:00	No					
20	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:57:00	No					
21	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:00:00	No					
22	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:03:00	No					
23	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:06:00	No					
24	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:09:00	No					
25	23/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:12:00	No					

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.9 Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil teleoperado, cuando se envía la orden giro a la izquierda.

Movimiento giro a la izquierda del robot móvil							
Item			15	17	18	19	20
Pruebas	Fecha Hora	Items	¿En el aplicativo, en la ventana correspondiente, se observa en la imagen captada por cámara IP la posición del móvil?	¿En el aplicativo de LabView, observando la posición del móvil; al hacer clic en el icono giro a la izquierda, se transmite vía USB el equivalente del movimiento al circuito de la Estación de Monitoreo?	¿El microcontrolador del circuito de la Estación de Monitoreo, recepciona el equivalente del movimiento giro a la izquierda, la convierte a formato RS232 y la envía al módulo transmisor de RF, quien la modula en ASK y la transmite a través de su antena?	¿La antena del módulo receptor de RF del circuito del Sistema Móvil recepciona la señal equivalente del movimiento giro a la izquierda, la demodula en ASK, la convierte a formato RS232 y la envía al microcontrolador?	¿El microcontrolador del circuito del Sistema Móvil recibe los datos, los procesa; los visualiza en el LCD, acciona automáticamente el circuito driver del motor de tracción y se observa que el robot giro a la izquierda?
1	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No					
2	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No					
3	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	
	10:06:00	No					✓
4	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No					
5	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No					
6	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:15:00	No					
7	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:18:00	No					
8	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:21:00	No					
9	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:24:00	No					
10	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:27:00	No					
11	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:30:00	No					
12	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:33:00	No					
13	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:36:00	No					
14	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:39:00	No					
15	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:42:00	No					
16	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:45:00	No					
17	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:48:00	No					
18	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:51:00	No					
19	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:54:00	No					
20	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:57:00	No					
21	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:00:00	No					
22	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:03:00	No					
23	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:06:00	No					
24	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:09:00	No					
25	24/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:12:00	No					

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.10 Resultados obtenidos de las pruebas en el robot móvil teleoperado, cuando se envía la orden sin movimiento (parado).

Sin movimiento (parado) el robot móvil							
Ítem			21	22	23	24	25
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿En el aplicativo, en la ventana correspondiente, se observa en la imagen captada por cámara IP la posición del móvil?	¿En el aplicativo de LabView, observando la posición del móvil, al hacer clic en el icono parado, se transmite vía USB el equivalente del movimiento al circuito de la Estación de Monitoreo?	¿El microcontrolador del circuito de la Estación de Monitoreo, recepciona el equivalente de sin movimiento (parado), la convierte a formato RS232 y la envía al módulo transmisor de RF, quien la modula en ASK y la transmite a través de su antena?	¿La antena del módulo receptor de RF del circuito del Sistema Móvil recepciona la señal equivalente de parado, la demodula en ASK, la convierte a formato RS232 y la envía al microcontrolador?	¿El microcontrolador del circuito del Sistema Móvil recibe los datos, los procesa; los visualiza en el LCD, acciona automáticamente el circuito driver del motor de tracción y se observa al robot móvil parado?
1	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No					
2	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No					
3	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	No					
4	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No					
5	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No					
6	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:15:00	No					
7	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:18:00	No					
8	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:21:00	No					
9	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:24:00	No					
10	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:27:00	No					
11	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:30:00	No					
12	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:33:00	No					
13	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:36:00	No					
14	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:39:00	No					
15	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:42:00	No					
16	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:45:00	No					
17	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:48:00	No					
18	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:51:00	No					
19	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:54:00	No					
20	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	10:57:00	No					
21	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:00:00	No					
22	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:03:00	No					
23	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:06:00	No					
24	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:09:00	No					
25	25/10/13	Sí	✓	✓	✓	✓	✓
	11:12:00	No					

Fuente: Elaborado por el investigador.

autorización de realizar las pruebas experimentales solo en la mina Esperanza, mina Catuva y mina Gayco; pero de forma restringida y contando con la indumentaria respectiva. La autorización fue por los días 26, 27 y 28 de octubre del año 2013, en el horario de 8:00 a.m. hasta las 2:00 p.m. Para realizar las pruebas experimentales se nos permitió ingresar el hardware de la estación de monitoreo, el sistema móvil, cámara IP y modem ADSL.

El procesamiento de los datos obtenidos en las pruebas realizadas a la variable dependiente: Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, respecto a la adquisición y sus valores que se muestra en el aplicativo de LabView, para el lugar denominado mina Esperanza, mina Catuva y mina Gayco, se presentan en la tabla 4.12, tabla 4.13 y tabla 4.14.

El monitoreo de los valores del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire con robot móvil teleoperado por inspección visual, se muestran en las tablas 4.15, 4.16 y 4.17.

Las gráficas del monóxido de carbono y velocidad del aire con los valores obtenidos experimentalmente, se muestran en las figuras 4.26, 4.27 y 4.28.

Tabla 4.11 Muestra las rutas que utiliza la compañía minera Raura S.A. para su explotación, destacando las minas y los tajos con su respectivo nivel.

Denominación	Minas en explotación
RUTA 01	ESPERANZA: TJS. 860, 652, 555,978
RUTA 02	FLOR DE LOTO: TJS.670... 679
RUTA 03	DESARROLLOS RPA 35. SUSAN
RUTA 04	MARGOT, NV. 590; TJS. 710, 738, 690, 070
RUTA 05	CATUVA, NV. 490, TJ.090
RUTA 06	MARGOT, NV. 490, TJS. 680, 650; NV. 440, TJ. 900; LEAD HILL, TJ. 792
RUTA 07	HADA 4, TJS. 797, 739, 720, 625. DESARROLLOS: GL. 612
RUTA 08	BRUNILDA, TJS. 821, 878; LEAD HILL,
RUTA 09	NV. 300, CR 489
RUTA 10	NV. 200, TJS.885,887,880, 814; GL.830, 120; RPA. 760; NV. 200, TJ. 840
RUTA 11	NV. 300,TJ. 805, NV. 250, TJS. 873, 816; NV. 275, TJ.840.
RUTA 12	NV. 440, TJS. 760, 075
RUTA 13	YANCO
RUTA 14	GAYCO NV. 520
RUTA 15	GAYCO, NV. 300
RUTA 16	DESARROLLOS: NV. 300, FRENTES 805, 001; NV. 380, CR 943(FARALLÓN); NV. 440, GAL. 632.

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.12 Valores experimentales del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, en mina Esperanza.

Adquisición del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, mina Esperanza						
Item			1	2	3	4
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿Parado y posicionado adecuadamente con la teleoperación del robot móvil; al hacer clic en el icono se envía la solicitud de adquisición y se enciende su indicador?	¿El circuito de la Estación de Monitoreo recibe la solicitud vía el puerto USB de la laptop, la procesa y la transmite al Sistema Móvil a través de su antena?	¿El circuito del Sistema Móvil recepciona la solicitud, la procesa adquiriendo los datos de los sensores y la transmite a la Estación de Monitoreo?	¿El aplicativo de LabView recibe y muestra los valores del nivel de CO y la velocidad del flujo de aire correctos, luego de recibir los datos del circuito de la Estación de Monitoreo vía el puerto USB?
1	26/10/13	Si		✓	✓	
	09:00:00	No	✓			✓
2	26/10/13	Si	✓	✓	✓	
	09:03:00	No				✓
3	26/10/13	Si	✓	✓	✓	
	09:06:00	No				
4	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:09:00	No				
5	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:12:00	No				
6	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:15:00	No				
7	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:18:00	No				
8	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:21:00	No				
9	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:24:00	No				
10	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:27:00	No				
11	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:30:00	No				
12	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:33:00	No				
13	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:36:00	No				
14	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:39:00	No				
15	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:42:00	No				
16	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:45:00	No				
17	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:48:00	No				
18	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:51:00	No				
19	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:54:00	No				
20	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:57:00	No				
21	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No				
22	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No				
23	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	No				
24	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No				
25	26/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No				

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.13 Valores experimentales del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, en mina Catuva.

Adquisición del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, mina Catuva						
N°			1	2	3	4
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿Parado y posicionado adecuadamente con la teleoperación del robot móvil; al hacer clic en el icono se envía la solicitud de adquisición y se enciende su indicador?	¿El circuito de la Estación de Monitoreo recibe la solicitud vía el puerto USB de la laptop, la procesa y la transmite al Sistema Móvil a través de su antena?	¿El circuito del Sistema Móvil recepciona la solicitud, la procesa adquiriendo los datos de los sensores y la transmite a la Estación de Monitoreo?	¿El aplicativo de LabView recibe y muestra los valores del nivel de CO y la velocidad del flujo de aire, luego de recibir los datos del circuito de la Estación de Monitoreo vía el puerto USB?
1	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:00:00	No				
2	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:03:00	No				
3	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:06:00	No				
4	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:09:00	No				
5	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:12:00	No				
6	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:15:00	No				
7	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:18:00	No				
8	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:21:00	No				
9	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:24:00	No				
10	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:27:00	No				
11	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:30:00	No				
12	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:33:00	No				
13	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:36:00	No				
14	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:39:00	No				
15	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:42:00	No				
16	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:45:00	No				
17	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:48:00	No				
18	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:51:00	No				
19	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:54:00	No				
20	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:57:00	No				
21	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No				
22	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No				
23	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	No				
24	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No				
25	27/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No				

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.14 Valores experimentales del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, en mina Gayco.

Adquisición del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, mina Gayco						
N°			1	2	3	4
Pruebas	Fecha Hora	Ítems	¿Parado y posicionado adecuadamente con la teleoperación del robot móvil; al hacer clic en el icono se envía la solicitud de adquisición y se enciende su indicador?	¿El circuito de la Estación de Monitoreo recibe la solicitud vía el puerto USB de la laptop, la procesa y la transmite al Sistema Móvil a través de su antena?	¿El circuito del Sistema Móvil recepciona la solicitud, la procesa adquiriendo los datos de los sensores y la transmite a la Estación de Monitoreo?	¿El aplicativo de LabView recibe y muestra los valores del nivel de CO y la velocidad del flujo de aire, luego de recibir los datos del circuito de la Estación de Monitoreo vía el puerto USB?
1	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:00:00	No				
2	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:03:00	No				
3	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:06:00	No				
4	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:09:00	No				
5	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:12:00	No				
6	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:15:00	No				
7	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:18:00	No				
8	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:21:00	No				
9	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:24:00	No				
10	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:27:00	No				
11	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:30:00	No				
12	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:33:00	No				
13	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:36:00	No				
14	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:39:00	No				
15	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:42:00	No				
16	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:45:00	No				
17	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:48:00	No				
18	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:51:00	No				
19	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:54:00	No				
20	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	09:57:00	No				
21	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:00:00	No				
22	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:03:00	No				
23	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:06:00	No				
24	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:09:00	No				
25	28/10/13	Si	✓	✓	✓	✓
	10:12:00	No				

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.15 Monitoreo de los valores del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire con robot móvil teleoperado por inspección visual en la mina Esperanza.

Fecha: 26/10/2013		Mina Esperanza	
Ítem	Hora	Monóxido de carbono (ppm)	Velocidad del viento (m/min)
1	08:00 a.m.	12	72
2	08:10 a.m.	12	72
3	08:20 a.m.	13	70
4	08:30 a.m.	13	70
5	08:40 a.m.	12	70
6	08:50 a.m.	12	68
7	09:00 a.m.	14	68
8	09:10 a.m.	14	68
9	09:20 a.m.	16	65
10	09:30 a.m.	16	65
11	09:40 a.m.	15	67
12	09:50 a.m.	17	64
13	10:00 a.m.	17	64
14	10:10 a.m.	18	64
15	10:20 a.m.	18	64
16	10:30 a.m.	17	62
17	10:40 a.m.	18	62
18	10:50 a.m.	19	60
19	11:00 a.m.	19	60
20	11:10 a.m.	20	58
21	11:20 a.m.	19	56
22	11:30 a.m.	22	55
23	11:40 a.m.	24	52
24	11:50 a.m.	24	50
25	12:00 p.m.	25	48
26	12:10 p.m.	24	45
27	12:20 p.m.	28	38
28	12:30 p.m.	29	35
29	12:40 p.m.	30	28
30	12:50 p.m.	30	23

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.16 Monitoreo de los valores del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire con robot móvil teleoperado por inspección visual en la mina Catuva.

Fecha: 27/10/2013		Mina Catuva	
Ítem	Hora	Monóxido de carbono (ppm)	Velocidad del viento (m/min)
1	08:00 a.m.	20	24
2	08:10 a.m.	20	24
3	08:20 a.m.	21	24
4	08:30 a.m.	20	25
5	08:40 a.m.	21	25
6	08:50 a.m.	23	24
7	09:00 a.m.	23	25
8	09:10 a.m.	22	25
9	09:20 a.m.	22	24
10	09:30 a.m.	26	24
11	09:40 a.m.	26	23
12	09:50 a.m.	25	23
13	10:00 a.m.	26	24
14	10:10 a.m.	27	24
15	10:20 a.m.	27	24
16	10:30 a.m.	30	22
17	10:40 a.m.	30	22
18	10:50 a.m.	29	21
19	11:00 a.m.	29	21
20	11:10 a.m.	31	23
21	11:20 a.m.	31	21
22	11:30 a.m.	34	21
23	11:40 a.m.	34	20
24	11:50 a.m.	36	20
25	12:00 p.m.	36	21
26	12:10 p.m.	37	21
27	12:20 p.m.	38	20
28	12:30 p.m.	40	20
29	12:40 p.m.	40	19
30	12:50 p.m.	42	19

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.17 Monitoreo de los valores del nivel de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire con robot móvil teleoperado por inspección visual en la mina Gayco.

Fecha: 28/10/2013		Mina Gayco	
Ítem	Hora	Monóxido de carbono (ppm)	Velocidad del viento (m/min)
1	08:00 a.m.	30	16
2	08:10 a.m.	32	15
3	08:20 a.m.	35	14
4	08:30 a.m.	36	14
5	08:40 a.m.	38	12
6	08:50 a.m.	42	12
7	09:00 a.m.	45	13
8	09:10 a.m.	47	13
9	09:20 a.m.	50	12
10	09:30 a.m.	52	12
11	09:40 a.m.	57	11
12	09:50 a.m.	60	11
13	10:00 a.m.	62	11
14	10:10 a.m.	68	10
15	10:20 a.m.	74	10
16	10:30 a.m.	81	11
17	10:40 a.m.	87	11
18	10:50 a.m.	92	9
19	11:00 a.m.	98	9
20	11:10 a.m.	108	10
21	11:20 a.m.	120	8
22	11:30 a.m.	110	90
23	11:40 a.m.	95	90
24	11:50 a.m.	86	90
25	12:00 p.m.	74	88
26	12:10 p.m.	65	88
27	12:20 p.m.	52	87
28	12:30 p.m.	46	87
29	12:40 p.m.	40	86
30	12:50 p.m.	35	86

Fuente: Elaborado por el investigador.

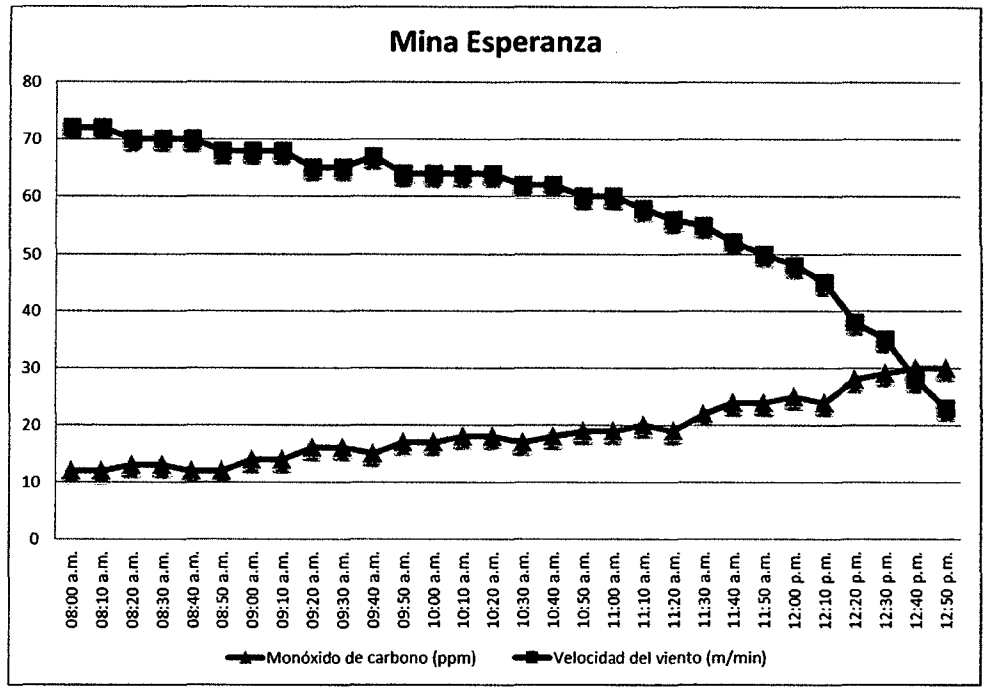


Figura 4.26 Gráfica del monóxido de carbono y velocidad del aire (Esperanza).

Fuente: Elaborado por el investigador.

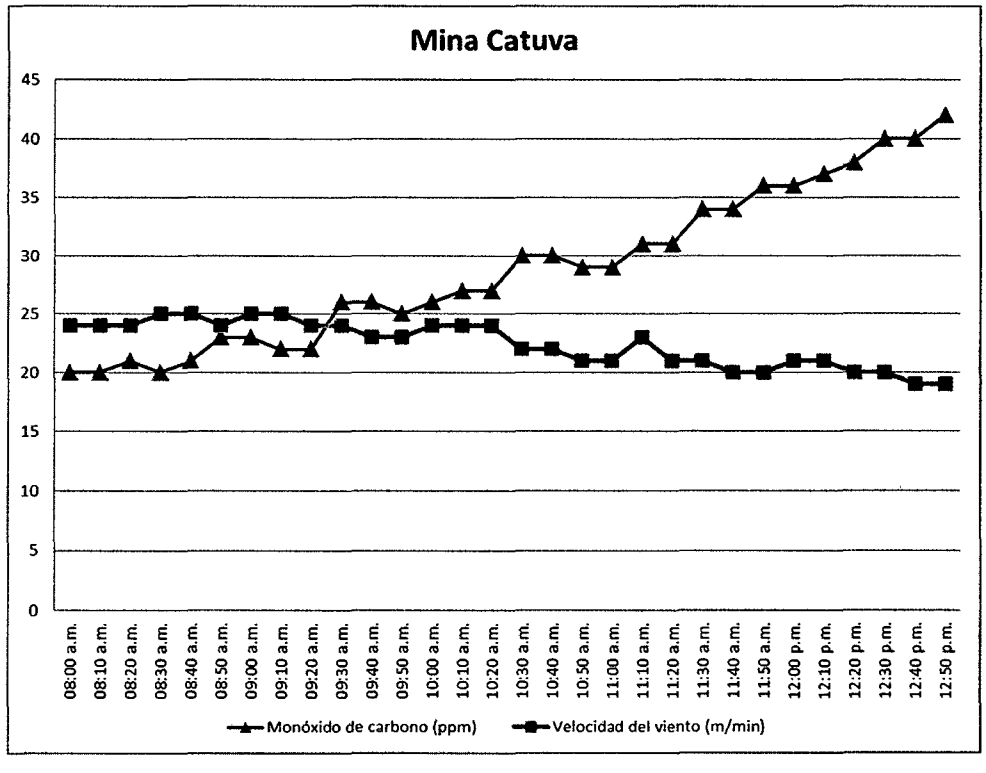


Figura 4.27 Gráfica del monóxido de carbono y velocidad del aire (Catuva).

Fuente: Elaborado por el investigador.

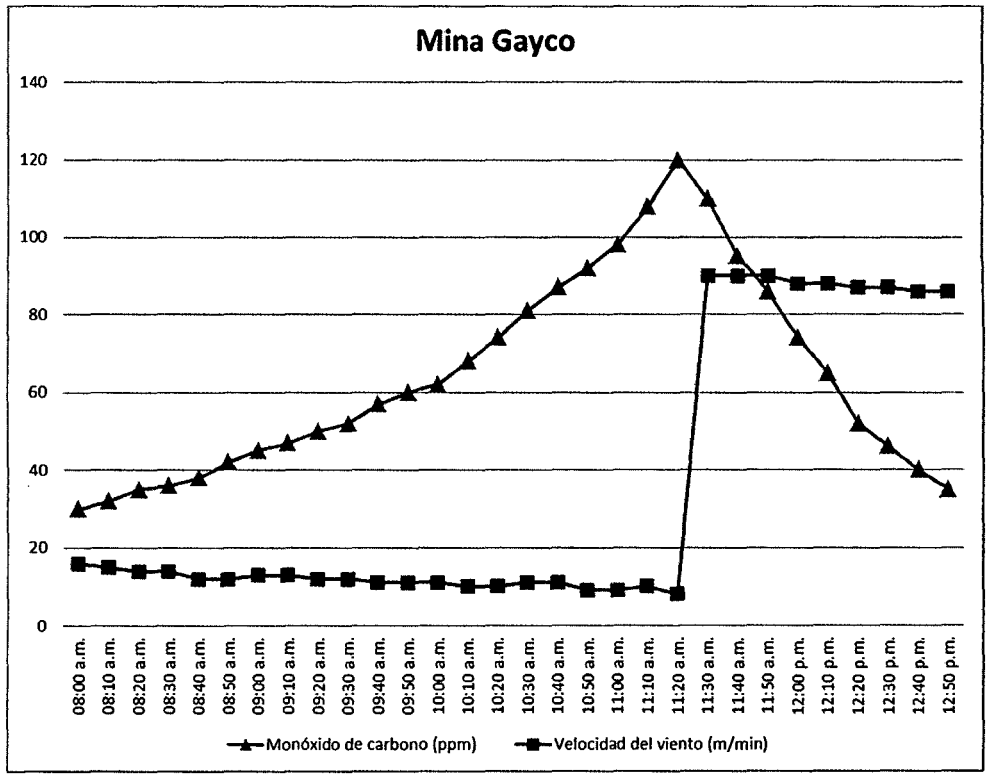


Figura 4.28 Gráfica del monóxido de carbono y velocidad del aire (Gayco).

Fuente: Elaborado por el investigador.

En las tablas 4.18 y 4.19, se muestran el procesamiento de los datos para la variable independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual, estos datos se obtuvieron de manera muy restringida, debido a que las operaciones de explotación minera de la compañía minera Raura, no nos permitió, por situaciones en general de seguridad y por no presentar un seguro de vida. Como se puede observar presenta una efectividad del 99.20 %.

En la tabla 4.20, se muestra el procesamiento de los datos de la variable dependiente: Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, respecto a las pruebas para la obtención de los datos utilizando todo el sistema, realizado en la mina esperanza.

Tabla 4.18 Procesamiento de los datos para la variable independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual.

	Pruebas																								
Ítems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
5	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
7	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
8	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
9	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
10	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
11	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
12	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
13	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
14	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
15	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
16	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
17	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
18	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
19	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
20	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
21	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
22	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
23	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
24	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
25	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.19 Procesamiento obtenido de los datos de la variable Independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual.

Resultados	Pruebas												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Si	23	24	24	25	24	25	25	25	25	25	25	25	25
No	2	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Promredio	0.920	0.960	0.960	1	0.960	1	1	1	1	1	1	1	1
Efectividad	92%	96%	96%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Resultados	Pruebas												Total
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Si	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
No	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Promredio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9920
Efectividad	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99.20%

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.20 Procesamiento de los datos de la variable dependiente: Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire (Mina esperanza).

	Pruebas												
Items	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
4	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Si	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
No	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Promredio	0.50	0.75	0.75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Efectividad	50%	75%	75%	85.71%	100%	100%	100%	100%	85.71%	100%	100%	100%	100%

	Pruebas												
Items	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
2	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
3	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
4	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	
Si	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Total
No	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Promredio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.960
Efectividad	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	96.0%

Fuente: Elaborado por el investigador.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para iniciar la etapa experimental se tomó como referencia los valores de monóxido de carbono, el cual fue obtenido por un personal de la misma compañía minera que ingresaba a los distintos lugares de explotación, portando un medidor EXTECH CO10, realizando las medidas de manera manual los cuales se muestra en la tabla E.1 a la tabla E.10 del anexo E (Monitoreo del nivel de monóxido de carbono en interior de mina, realizado por la minera Raura S.A. durante los meses de enero a octubre del año 2013).

Implementado completamente el prototipo; a las variables independiente (Robot móvil teleoperado por inspección visual) y variable dependiente (Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire) se le aplico varias pruebas en momentos diferentes.

Las evaluaciones de dichas variables se realizaron en simultáneo, observándose de acuerdo a los resultados que en la prueba N° 4 y la prueba N° 9 del ítem 28, no se

pudo realizar la comunicación entre el módulo transmisor RF y el módulo receptor de RF debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil, falla que no depende de sistema de comunicación inalámbrica pero igualmente fue considerado, tomándose en cuenta los 49 ítems de pruebas. Concluyéndose de acuerdo a la tabla 4.24 que el sistema de comunicación inalámbrica tiene un promedio de rendimiento del 99,83%, con una desviación estándar de 0.56 que significa que los valores son muy homogéneos.

En la evaluación del control eficaz, se puedo observar en la en la prueba N° 4 y la prueba N° 9 del ítems 6; no se pudo ejecutar las ordenes debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil, pudiéndose concluir de acuerdo a la tabla 4.24 que el promedio del control eficaz del robot móvil es del 98,85 % con una desviación estándar de 3.95 lo que indica que los valores son relativamente homogéneos.

Validando la Hipótesis

Para validar la hipótesis, se ha utilizado la prueba estadística del coeficiente de correlación "r" de Pearson; teniendo como hipótesis de trabajo lo siguiente:

H_0: No existe correlación entre el robot móvil teleoperado por inspección visual, y el monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire (H_0=0)

H_1: Existe una fuerte correlación positiva lineal, entre el robot móvil teleoperado por inspección visual, y el monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire.

Esta evaluación se realizó con un nivel de confianza del 95%, que fue el valor utilizado para realizar el cálculo de la muestra, que se muestra en la página 66.

Los resultados de la post prueba de la variable independiente y dependiente se muestra en la tabla 4.21, el cual se utiliza para obtener la ecuación y la gráfica correspondiente de la recta de regresión.

Tabla 4.21 Procesamiento de las pruebas realizadas a las variables.

Prueba	Movimiento del robot teleoperado por inspección visual	Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire	x^2	y^2	xy
	x	y			
1	92	50	8464	2500	4600
2	96	75	9216	5625	7200
3	96	75	9216	5625	7200
4	100	100	10000	10000	10000
5	96	100	9216	10000	9600
6	100	100	10000	10000	10000
7	100	100	10000	10000	10000
8	100	100	10000	10000	10000
9	100	100	10000	10000	10000
10	100	100	10000	10000	10000
11	100	100	10000	10000	10000
12	100	100	10000	10000	10000
13	100	100	10000	10000	10000
14	100	100	10000	10000	10000
15	100	100	10000	10000	10000
16	100	100	10000	10000	10000
17	100	100	10000	10000	10000
18	100	100	10000	10000	10000
19	100	100	10000	10000	10000
20	100	100	10000	10000	10000
21	100	100	10000	10000	10000
22	100	100	10000	10000	10000
23	100	100	10000	10000	10000
24	100	100	10000	10000	10000
25	100	100	10000	10000	10000
Σ	2480	2400	246112	233750	238600
Promedio	99.20	96		**b**	**a**
Varianza	4.0000	139.5833		-3078.173	31.998
Desviacion Estandar	2.0000	11.8145		**Pearson**	0.92

Fuente: Elaborado por el investigador.

$$r = \frac{N(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\left[N\left(\sum x^2\right) - (\sum x)^2\right]\left[N\left(\sum y^2\right) - (\sum y)^2\right]}}$$

$$r = \frac{25(246790.589) - (2495.9)(2471.42)}{\sqrt{\left[25(249188.405) - (2495.9)^2\right]\left[25(244692.408\,2) - (2471.42)^2\right]}}$$

r = 1.00

Sabiendo que la ecuación de la recta es: y = a x + b.

Hallando los parámetros "a" y "b" de la recta de regresión, según la ecuación.

$$y_R = \bar{y} + r\left(\frac{S_Y}{S_X}\right)x - r\left(\frac{S_Y}{S_X}\right)\bar{x}$$

$$y_R = 98.8568 + 1.00\left(\frac{15.6556}{0.3222}\right)x - 1.00\left(\frac{15.6556}{0.3222}\right)99.8360$$

$$y_R = -4752.284 + 48.591x$$

De donde a = 48.591 y b = -4752.284

Por lo que la ecuación de la recta es: $y_R = 48.591x - 4752.284$

La representación se muestra en la figura 4.26. A partir de esta ecuación se puede predecir los valores de "y" a partir de los valores de "x", siempre teniendo en cuenta el error.

De acuerdo a la dirección y sentido de la recta, se puede afirmar que existe una fuerte correlación directa y positiva entre ambas variables.

Este resultado concuerda con el nivel de automatización centralizado empleado en la investigación, conforme afirma GARCÍA MORENO, Emilio citado en el capítulo II, por ocuparse de un proceso de control completo de carácter secuencial incluido en nuestro caso de control de movimiento del robot.

De acuerdo al cálculo del coeficiente de correlación "r" de Pearson, que fue obtenido con el valor de r =0.92 > 0, este resultado nos demuestra que la relación entre la variable independiente y dependiente además de ser lineal, es una relación positiva muy fuerte, con lo que queda demostrado la hipótesis alterna H_1 que "si existe una relación lineal positiva entre el sistema de control inalámbrico y el control eficaz del robot móvil.

Finalmente este resultado nos confirma la evidencia que el control eficaz del robot móvil respecto su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, etc.; está fuertemente relacionado con el sistema de comunicación inalámbrica; de tal manera que con el diseño, programación e implementación sólida del sistema de comunicación inalámbrica, se asegura un control eficaz. En nuestro caso la hipótesis queda demostrada.

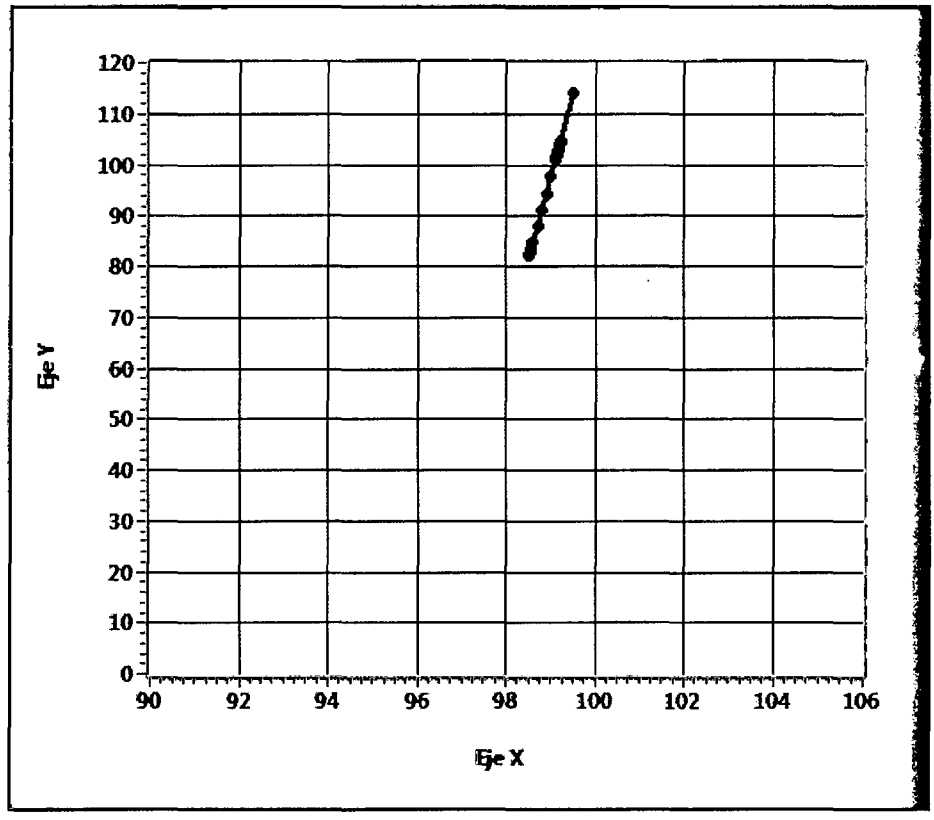


Figura 4.11 Recta obtenida por regresión, que demuestra la correlación creciente positiva entre la variable independiente y dependiente.

Fuente: Elaborado por el investigador.

4.2. Discusión

Se ha demostrado que el sistema implementado para el monitoreo de los valores de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire mediante robot móvil teleoperado por inspección visual, a través de una cámara IP inalámbrica, utilizando módulos de transmisión y recepción de RF, con modulación y demodulación ASK respectivamente, cumpliéndose así el objetivo planteado en la presente tesis y que están justificados por el aspecto social, tecnológico y económico.

Como toda investigación siempre es un precedente para desarrollar otro mejor, en nuestro caso el proyecto implementado tiene ventajas limitadas, claro, con posibilidades de mejorar y hacer más eficiente su funcionamiento. La información recibida consta solo de datos para el control de los motores y video, que son importantes pero no suficientes para un buen enrutamiento del robot móvil.

Lo ideal sería compartir una información completa basada en datos numéricos y video confiable en tiempo real, sobre el medio por donde se moverá el robot, para hacer esto posible el sistema debe contar con una cámara. Nuestro sistema tiene la posibilidad de dotarse de una cámara gracias a la herramienta Publishing Tools de LabView, pero no tenemos la posibilidad de publicar el contenido en un servidor, por no contar con una dirección IP pública en vista de que las operadoras de telefonía móvil no tienen habilitados este sistema en su plataforma de red.

En nuestro medio no hay muchas investigaciones sobre el uso de la telefonía móvil, como medio telemétrico, a pesar de contar con la tecnología; sin embargo se pueden desarrollarse innumerables aplicaciones en distintas áreas tales como agricultura, minería, seguridad y otros.

La motivación fundamental para el desarrollo de esta tesis es incentivar a muchos estudiantes e investigadores a desarrollar más aplicaciones utilizando esta tecnología por muchas razones entre ellas que no necesitamos implementar un sistema muy costoso y mucho más mantenerla, también por sus características de propagación y cobertura que facilita el acceso desde amplios espacios para diversas aplicaciones que solucionarían diversos problemas en la vida diaria de las personas.

CONCLUSIONES

1. Se conoció sobre la numeración VIP&PID que tiene el microcontrolador PIC18F2550 para la comunicación USB, proporcionado por la compañía Microchip, que pueden ser: VID_04D8&PID_000B, VID_04D8&PID_000C, VID_04D8&PID_01F0, VID_04D8&PID_01F1, VID_04D8&PID_01F2, VID_04D8&PID_01F3, VID_04D8&PID_01F4, VID_04D8&PID_01F5, VID_04D8&PID_0010, el cual permite la conexión y comunicación entre el módulo PC y el circuito de la Estación de Monitoreo, utilizando el método de transferencia Bulk.
2. La cámara IP con Wi-Fi de Modelo F-M136, conjuntamente con un modem ADLS inalámbrico, permiten adquirir remotamente las imágenes para la teleoperación del robot móvil (control de movimiento), observando su recorrido y posicionamiento adecuado, para la adquisición de datos.
3. Se ha obtenido conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas RF (radio frecuencia) con modulación/demodulación ASK, y cada una de las partes que interactúan en estos. Se utilizó el módulo transmisor de RF ST-TX01-ASK de SUMMITEK que tiene una potencia de salida de 8mW (de 4 a 16dBm) a 434 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps y el módulo receptor de RF ST-RX04-ASK de SUMMITEK que tiene una sensibilidad de 3 uV, a la frecuencia de 434 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps.
4. El circuito implementado de la Estación de Monitoreo a cargo del microcontrolador PIC18F2550, realiza la comunicación alámbrica USB con la laptop, la comunicación inalámbrica vía RF con modulación y demodulación ASK; con lo cual se transmite: La teleoperación del robot móvil, enviando el carácter "@" seguido de un byte que corresponde a la orden de movimiento y la solicitud de adquisición, enviando el carácter "@" seguido del carácter "d"; recibe: el carácter "s" seguido de 2 bytes que corresponde a los valores de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire.
5. El circuito del Sistema Móvil implementado, a cargo del microcontrolador PIC18F2550, recibe la solicitud de adquisición con el carácter "@" seguido del carácter "d"; realiza la conversión ADC de las señales de los sensores de monóxido

de carbono y la velocidad del flujo de aire con una resolución de 10 bits y los transmite a la Estación de Monitoreo en dos bytes.

6. Se aplicó 25 pruebas de 5 ítems cada una a la variable independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual y 50 pruebas de 4 ítems a la variable dependiente: Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire. En las evaluaciones a las variables, se observa de acuerdo a los resultados que en la prueba 1 ítem 2 del movimiento avanza el robot móvil y la prueba 1 del ítem 5 del movimiento retrocede el robot móvil, no se pudo realizar la comunicación entre los circuitos de la Estación de Monitoreo y el circuito del Sistema Móvil, debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil; falla que no depende del sistema de comunicación inalámbrica, pero igualmente fue considerado en el análisis. En la evaluación del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, se pudo observar que en la prueba 1 de los ítems 1 y 4; no se pudo enviar la solicitud de adquisición y mostrar los valore de las variables en el aplicativo, debido a una baja en la tensión de alimentación en el Sistema Móvil; falla que no depende del sistema de control, pero igualmente fue considerado en el análisis. Por lo que se debe realizar adecuadamente las conexiones y medir los niveles de voltaje de las fuentes de alimentación, y para este caso se añadió vía software la detección de los mismos.

RECOMENDACIONES

1. Se debe utilizar la numeración VIP&PID del puerto USB, proporcionado por el fabricante, para una correcta conexión del prototipo y la PC.
2. Para una buena comunicación inalámbrica, usar módems de mayor alcance para no tener dificultad en la recepción de las imágenes y transmisión de órdenes.
3. Se debe trabajar con módulos de RF (radio frecuencia), de mejores prestaciones, los cuales pueden ser configurados y probados con su propio software, como la tecnología Zigbee de los fabricantes Xbee, Microchip, Texas Instruments, entre otros.
4. Se puede utilizar otro microcontrolador de Microchip u otro microcontrolador de otros fabricantes como Intel, Atmel, Freescale, Zilog, etc.; que tengan implementado en silicio la comunicación USB y RS232 mínimamente; además cuenten con el entorno de desarrollo integrado de fácil acceso al usuario y que sea de bajo costo.
5. Se debe tener presente para la adquisición de datos sobre la resolución requerida del ADC, pudiéndose utilizar un conversor externo de más de10 bits de resolución.
6. Realizar las pruebas de campo, respecto al conexionado eléctrico, acoplo magnético u otro. Medir los voltajes en los puntos de prueba del circuito, para validar el correcto funcionamiento de todo el sistema.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Jara Palomino Pedro. CONTROL AMBIENTAL Y CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA. España: Editorial Limusa, S.A. de CV. Grupo Noriega Editores. Primera edición; 2010.

[2] Ollero Baturone Aníbal. ROBÓTICA MANIPULADORES Y ROBOTS MÓVILES. México: Alfaomega grupo editor S.A.; 2009.

[3] García Breijo Eduardo. COMPILADOR C CCS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC. México: Alfaomega grupo editor S.A. de C.V.; 2008.

[4] Axelson Jan. USB COMPLETE THE DEVELOPER'S GUIDE. Madison-USA: Lakeview Research LI. C. Fourth Edition; 2009.

[5] Smith Carlos A. y. Corripio Armando B. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS. México: Limusa S.A., Primera Edición; 1991.

[6] Kuo Benjamín C. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO. México: Prentice Hall Hispanoamérica S.A., Séptima Edición; 1996.

[7] García Moreno, Emilio. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES. México: Alfaomega; 2000.

[8] Briceño Márquez, José E. PRINCIPIOS DE LAS COMUNICACIONES. Mérida, Venezuela: ULA Ingeniería, Tercera Edición; 2005.

[9] Wayne Tomasi, SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS. México: Pearson Educación, Segunda Edición; 1996.

[10] Ogata Katsuhiko. INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA. México: Editorial Prentice Hall, Tercera Edición; 1998.

[11] Pérez García Miguel A., Álvarez Antón Juan C., Campo Rodríguez Juan C. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA. España: Thomson editores Spain Paraninfo S.A.; 2004.

[12] Rashid Muhammad H. ELECTRÓNICA DE POTENCIA. España: Editorial Prentice Hall, Segunda Edición; 2000.

[URL1] http://definicion.de/control/, visitado el 18 de febrero de 2013.

[URL2] http://www.mitecnologico.com/main/principiosdelcontrol, visitado el 18 de febrero de 2013.

[URL3] http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?tipo_bus=3&lema=eficiencia, visitado el 18 de febrero de 2013.

[URL4] http://www.monografias.com/trabajos16/telecomunicaciones/tele.shtml., visitado el 18 de febrero de 2013.

[URL5] http://es.wikipedia.org/wiki/Telecomunicaci%C3%Bn., visitado el 10 de marzo de 2013.

[URL6] http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica, visitado el 10 de marzo de 2013.

[URL7] http://es.kioskea.net/contents/wireless/wpan.php3, visitado el 10 de marzo de 2013.

[URL8] http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3n). Visi tado el 10 de mayo de 2013

[URL9] http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/570/1/IOC-DT-P-2004-05.pdfl, visitado el 16 de enero de 2013.

[URL10] http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=50, visitado el 16 de enero de 2013.

[URL11] http://www.bkprecision.com/downloads/manuals/es/627.pdf, visitado el 15 de noviembre de 2013.

[URL12] http://www.armotec.pe/vmchk/Anemometros/Anemometros-Multifuncion-TM-403. html ?flypage=, visitado el 15 de noviembre de 2013.

"SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA"

"SYSTEM WITH MOBILE ROBOT TELEOPERATE FOR VISUAL INSPECTION, FOR THE MONITORING OF THE MONOXIDE OF CARBON AND THE SPEED OF THE FLOW OF AIR OF YOU MINES UNDERGROUND IN THE MINING COMPANY RAURA"

Jerson Jesús, PATILLA CERRÓN
Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Huancavelica

Resumen—El presente trabajo de investigación titulado "SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA"; surge, debido a sobre la muerte de mineros por inhalación de gases tóxicos, que está directamente relacionada con la calidad del aire en el interior de mina subterránea y que las muertes ocurridas se debió; a que los mineros ingresaron a zonas de explotación abandonadas o a zonas en explotación en las que se realizaron diversas actividades mineras; planteándose el siguiente problema: ¿Cómo realizar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para el monitoreo del monóxido de carbono y flujo del aire de mina subterránea en la compañía minera Raura?. El propósito del proyecto es implementar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual para el monitoreo remoto de las variables del aire de mina subterránea. Para la adquisición de los valores del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire; se utilizan sensores que estarán conectados a un robot móvil que seguirá una trayectoria guiada remotamente desde el monitor de una laptop en el aplicativo de LabView a través de una cámara IP Wi-Fi.
El prototipo implementado consta de dos partes: La Estación de Control y el Sistema Móvil. La Estación de Control está constituida por el módulo PC, el módulo transmisor y su fuente de alimentación. El Sistema Móvil está constituido por la Estación de Monitoreo. Se implementó el sistema de teleoperación del robot móvil para una frecuencia de 434 MHz e identificación propia, controlando su movimiento: Avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado; mediante un puente H para el control del motor D.C. de dirección y tracción; realizándose las siguientes fases de diseño: Determinar la tecnología para el control de las variables, así como la tecnología de comunicación inalámbrica para el enlace entre el robot móvil y la computadora. Se determinó que para el control de las variables, la tecnología de lógica programada utiliza el microcontrolador PIC18F2550 y que la tecnología de RF-ASK a 434MHz y 2400 baudios, permite el enlace entre el robot móvil y la computadora. Además se realizó el programa del microcontrolador utilizando el Compiler PCWHD CCS 4.128. Además se realizó el programa del microcontrolador utilizando el Compiler PCWHD CCS 4.128 y se programó con el grabador PicKit 2 para su implementación y comprobación respectiva.
El tipo de investigación es tecnológica, utiliza el método lógico inductivo-deductivo, y la técnica de experimentación, en la muestra tomadas remotamente en 12 principales áreas de la mina Raura con un robot móvil tipo Ackerman (mini auto eléctrico) teleoperado, en espacios interiores de la mina. Utilizando el estadístico "r" de Pearson se comprobó la hipótesis.

Palabras clave: Tele operación, cámara IP, Wi-Fi, comunicación inalámbrica, sistema de control, modulación-demodulación ASK, robot móvil, puerto USB, módulo transmisor/receptor de RF, sensor ultrasónico de distancia PING, microcontrolador PIC16F2550, PicKit 2, LabView, batería recargable de Ni-Ca, puente H, motor D.C., compiler PCWHD CCS.

ABSTRACT
The present titled investigation work " SISTEMA CON ROBOT MÓVIL TELEOPERADO POR INSPECCIÓN VISUAL, PARA EL MONITOREO DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE AIRE DE MINA SUBTERRÁNEA EN LA COMPAÑÍA MINERA RAURA "; you arises, because in the movements: Ahead, behind, right, left and stopped; that the mobile robots carry out to remote control, inclination of a control type joystick, all to a frequency of 27 MHz without distinction some; you doesn't care the control of the motive, but rather this you simply carries out your movement; thinking about the following problem: How to carry out the effective control at a mobile robot's distance, regarding your movement, using wireless

communication?. is The purpose to control at distance the mobile robot's movement through a program developed in LabView, using the computer.
The implemented prototype consists of two parts: The Station of Control and the Mobile System. The Station of Control is constituted by the module PC, the module transmitter and your feeding source. The Mobile System is constituted by the receiving module and your feeding source that you consists of a rechargeable battery of Ni-Ca of 4.8 V/500 mAH and another battery of 6 V/1.3 AH. The control system was implemented at the mobile robot's distance for a frequency of 315 MHz and own identification, controlling your movement: You advances, you goes back, right, left, turn to the right, turn to the left and stopped, by means of a bridge H for the control of the motor D.C. of address and of the motor D.C. of traction; being carried out the following design phases: To determine the technology, as well as the technology of wireless communication for the connection between the mobile robot and the computer. You was determined that for the control of the variables, the technology of programmed logic uses the microcontroller PIC18F2550 and that the technology of RF with modulation-demodulation ASK to 315MHz and 2400 bauds, allows the connection between the mobile robot and the computer. You was also carried out the program of the microcontroller using the Compiler PCWHD CCS 4.128 and you was programmed with the recording PicKit 2 for your implementation and respective confirmation.
The investigation type is technological, you use the inductive-deductive logical method, and the experimentation technique, in the sample that is the robot mobile type Ackerman (car-toy), in external spaces and interiors of my home and of the university city of the School Professional Academic of Electronic. Using the statistical one "r" of Pearson he/she was proven the hypothesis.

Key words: Wireless communication, control system, modulation-demodulation ASK, mobile robot, port USB, module transceiver of RF, ultrasonic sensor of distance PING, microcontroller PIC16F2550, PicKit 2, LabView, rechargeable battery of Ni-Ca, bridge H, motor D.C., compiler PCWHD CCS.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene el propósito de poner al alcance de los estudiantes, información amplia sobre los microcontroladores de Microchip de la gama alta (PIC18F2550); así como sus herramientas de hardware y software que permitan la comprensión y el desarrollo de aplicaciones con estos microcontroladores, que sirven como punto de partida para continuar con familias superiores.
Fue desarrollado en varias etapas. La primera, fue la recopilación de información, una labor ardua; obteniéndose información de los libros comprados y principalmente de Internet. En la segunda etapa, se procedió al estudio y análisis de la información recopilada. La mayor parte de esta información está contenida en los capítulos 1, 2, y 3; así como también en los anexos de la presente tesis. La tercera etapa consistió en el diseño, rediseño y simulación a nivel hardware de los esquemas electrónicos del circuito de transmisión y del circuito de recepción, con el CAD electrónico Proteus Design Suite 8.0; los diseños de los circuitos que funcionaron adecuadamente, se utilizaron en el diseño de las tarjetas de circuito impreso. La cuarta etapa, bastante laboriosa por cierto, consistió en el desarrollo del software: Para los programas del microcotrolador PIC18F2550 del circuito de la Estación de Monitoreo y del circuito Sistema Móvil; en la edición, depuración y compilación se utilizó el Compiler PCWHD CCS 4.128 y se programó los microcontroladores con el grabador PicKit 2; y para el desarrollo del programa aplicativo de la laptop se utilizó LabView 2012.
Finalmente como última etapa podemos señalar la toma de datos cuando se realizaron las pruebas a la variable independiente y dependiente; y la conclusión de la elaboración de la tesis.

Entre los antecedentes tenemos:
Tesis: "CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL USANDO COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA". Presentado por Erinson Romero. Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela; noviembre de 2008.
"En el presente proyecto se describe el control de un robot móvil a través del computador usando comunicación por radio frecuencia (RF). Esto con el fin de controlar un vehículo móvil que sirve como medio educativo para la enseñanza y aprendizaje en el área de la robótica. Además de incentivo para aquellas personas que quieran incursionar en esta rama de la tecnología.
El desarrollo del proyecto está basado en utilizar un carro juguete perteneciente a una casa comercial. Está enfocado en dos partes; una referente al sistema móvil y otra a la estación de

control. El sistema móvil está constituido por el chasis, un sensor óptico, dos motores de corriente continua y la tarjeta de control del vehículo, además del módulo de comunicación. La estación de control está comprendida por un sistema de supervisión y monitoreo, conformado por la PC y la tarjeta de comunicación.
La comunicación del vehículo es realizada por RF la cual permite trabajar tanto en espacios cerrados como en espacios limitados, a corta distancia, dependiendo del alcance de los módulos de RF".

Problema: Teniendo en cuenta el problema de estudio, sobre la muerte de mineros por inhalación de gases tóxicos, que está directamente relacionada con la calidad del aire en el interior de mina subterránea y que las muertes ocurridas se debió; a que los mineros ingresaron a zonas de explotación abandonadas o a zonas en explotación en las que se realizaron diversas actividades mineras, antes que se realice el monitoreo de la calidad del aire y que sus variables se encuentren dentro de valores límites permisibles (no se puede ingresar sin que se sepa los valores de CO, CO_2, NO_x y la velocidad del flujo de aire; de ingresar a estos lugares se exponen de sufrir intoxicación por los gases y morir), no se puede exponer el ser humano, por eso el monitoreo de las variables del aire de mina se debe realizar remotamente a través de un robot teleoperado por inspección visual. El control a distancia (teleoperado) del robot móvil, respecto a su movimiento es comandado por la acción del mouse a través de un programa aplicativo desarrollado en LabView 2011, utilizando comunicación inalámbrica de RF a 315 MHz con identificación propia, con una interfaz USB para la computadora; teniendo como objetivo principal el control de su movimiento: Avanza, retrocede, derecha, izquierda, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado, evitando cualquier obstáculo.

Hipótesis Específicas

- La tecnología de lógica programada es la adecuada para implementar un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para realizar el monitoreo del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire de mina subterránea en la compañía minera Raura.
- La tecnología RF-ASK y Wi-Fi permiten el enlace inalámbrico entre el robot móvil teleoperado por inspección visual y una laptop.

Objetivos Específicos

- Realizar un prototipo del sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual, para el monitoreo del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire de mina subterránea, en la compañía minera Raura; con la tecnología adecuada.
- Implementar la tecnología de comunicación inalámbrica, que permite el enlace entre el robot móvil teleoperado por inspección visual y una laptop.

Resultados: Se desarrolló el proyecto que consta de dos partes: la Estación de Monitoreo y el Sistema Móvil. Se implementó un sistema con robot móvil teleoperado por inspección visual para el monitoreo remoto de las variables del aire de mina subterránea. Para la adquisición de los valores del monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire; se utilizan sensores que estarán conectados a un robot móvil que seguirá una trayectoria guiada remotamente desde el monitor de una laptop en el aplicativo de LabView a través de una cámara IP Wi-Fi.
El monitoreo de los valores de las variables monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire, son mostrados en el aplicativo desarrollado en LabView 2012. Se utilizaron módulos de comunicación inalámbrica RF con modulación y demodulación ASK trabajando a la frecuencia de 434 MHz a 2400 bps, que permite el enlace entre la Estación de Monitoreo con interface USB para la laptop, basado en el microcontrolador PIC18F2550 y el Sistema Móvil encargado de la adquisición de datos del aire de mina subterránea y el movimiento del robot móvil con los motores D.C. La parte experimental se realizó en zonas abandonadas y de explotación minera de la compañía minera Raura S.A.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es de tipo tecnológico, el método de investigación específico cuasi-experimental porque es el proceso de investigación que genera las condiciones necesarias y suficientes para medir y revelar las relaciones de los fenómenos que interesan a la investigación y el método particular es Telecomunicaciones. En la investigación se utiliza el diseño cuasi-experimental, para proporcionar la máxima cantidad de información pertinente al problema bajo investigación.
Para la recolección de datos usaremos como instrumento de control el sistema electrónico

implementado, se realizara la prueba de funcionamiento del sistema de control remoto de a distancia, en campo y se hace el registro manual de datos de interés en una ficha de observación y registro automático con el aplicativo del Labview utilizando la herramienta Excel.
Finalmente los datos recolectados serán agrupados y estructurados con el único propósito de validar la hipótesis, utilizando el análisis cuantitativo se podrá analizar los datos estadísticos con la ayuda del software informático Excel, según los objetivos e hipótesis de la investigación realizada. Para la prueba de hipótesis se utiliza el estadístico "r" de Pearson y se obtiene la recta de regresión de la correlación entre la variable independiente y dependiente con los datos obtenidos en las pruebas experimentales.

RESULTADOS

Se implementó el proyecto que consta de dos partes: la Estación de Monitoreo y el Sistema Móvil, como se muestra en la figura 1.

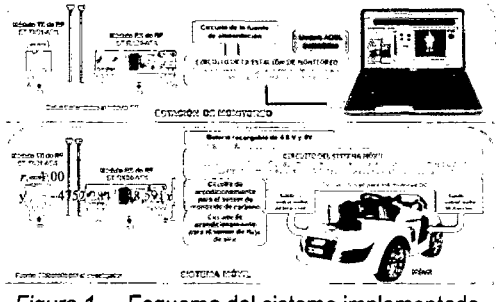


Figura 1. Esquema del sistema implementado.

Estación de Monitoreo: Encargada de solicitar los datos que corresponde al nivel de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire al Sistema Móvil, recepcionarlos y procesarlos, a través de un programa desarrollado en LabView 2012; con interface USB.

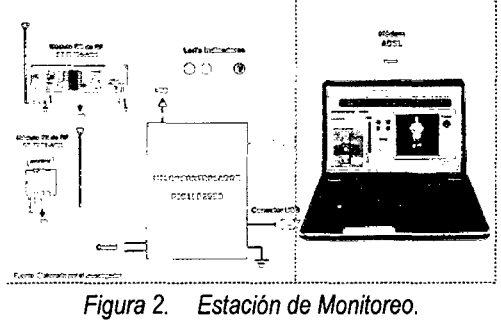


Figura 2. Estación de Monitoreo.

Para la Estación de Monitoreo se desarrolló un programa (aplicativo) teniendo como tarea adquirir los datos de los sensores y teleoperar vía la cámara IP con tecnología Wi-Fi, el movimiento (avanza, retrocede, giro a la derecha, giro a la izquierda y parado) del robot móvil por medio de la emisión de las acciones que llegan al microcontrolador PIC18F2550 y de los módulos de transmisión y recepción de RF, bajo la plataforma de Windows, usando como lenguaje de programación LabView 2012, el cual ofrece un entorno de desarrollo gráfico, amigable y de fácil programación. Esta aplicación presenta tres paneles para el manejo del aplicativo, como son: **Selección de puerto, Control de movimiento del robot y dirección URL**. Ver la figura 3.

Figura 3. Panel frontal desarrollado en Labview.

Sistema móvil:
Es el encargado de cumplir las órdenes enviadas desde la Estación de Monitoreo respecto al movimiento del robot y adquisición de datos; para ello, utiliza el microcontrolador PIC18F2550 como procesador.
Está constituido por el circuito del Sistema Móvil (Conformado por: Sensor de monóxido de carbono con su circuito de adaptación de señal, sensor de la velocidad de flujo del aire con su respectivo circuito de adaptación de señal, módulo transmisor y receptor de RF-ASK, circuito driver del motor de tracción, circuito driver del motor de dirección del robot, microcontrolador PI18F2550 y componentes, y sus respectivas fuente de alimentación); el mismo móvil (Mini auto eléctrico con locomoción Ackerman), la cámara IP con tecnología Wi-Fi y sus respectivas baterías de alimentación. En la figura 4 se muestra el diagrama de bloques del Sistema Móvil donde destacan, el esquema del circuito electrónico del Sistema Móvil, los sub circuitos para los sensores y la cámara IP Wi-Fi.
Se desarrolló también el software: Para los programas de los microcotroladores PIC18F2550 del circuito de la Estacion de Monitoreo (ver figura 5) y del circuito del Sistema Movil (ver figura 6); en

la edición, depuración y compilación de se utilizó el Compiler PCWHD CCS 4.128 de CCS y se programó los microcontroladores con el grabador PicKit 2; y para el desarrollo del programa aplicativo de la Laptop se utilizó LabView 2011.

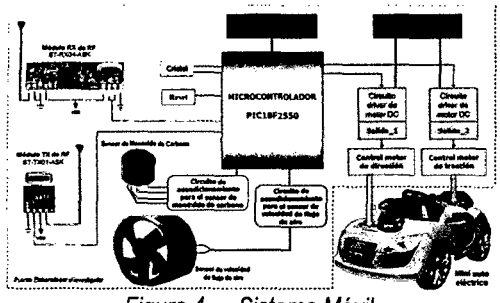


Figura 4. Sistema Móvil.

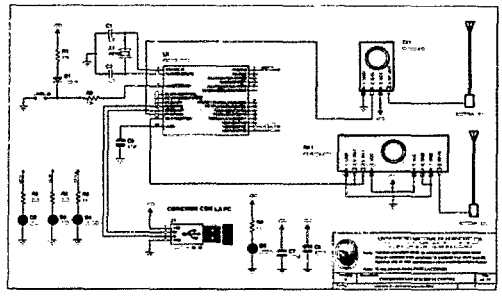


Figura 5. Esquema electrónico del circuito de la Estación de Monitoreo.

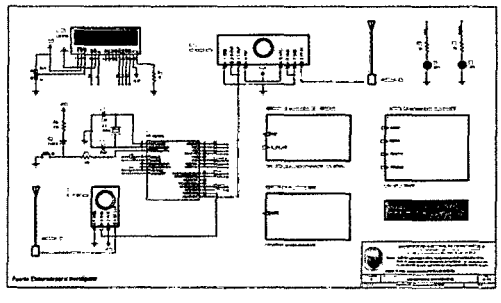


Figura 6. Esquema electrónico del circuito receptor.

DISCUSIÓN

Se ha demostrado que el sistema implementado para el monitoreo de los valores de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire mediante Robot móvil teleoperado por inspección visual, a través de una cámara IP inalámbrica, utilizando módulos de transmisión y recepción de RF, con modulación y demodulación ASK respectivamente, cumpliéndose así el objetivo planteado en la presente tesis y que están justificados por el aspecto social, tecnológico y económico.

Como toda investigación siempre es un precedente para desarrollar otro mejor, en nuestro caso el proyecto implementado tiene ventajas limitadas, claro, con posibilidades de mejorar y hacer más eficiente el funcionamiento. La información recibida consta solo de datos para el control de los motores y video, que son importantes pero no suficientes para un buen enrutamiento del robot móvil.

Lo ideal sería compartir una información completa basada en datos numéricos y video confiable en tiempo real, sobre medio por donde se moverá el robot, para hacer esto posible el sistema debe contar con una cámara. Nuestro sistema tiene la posibilidad de dotarse de una cámara gracias a la herramienta Publishing Tools de LabView, pero no tenemos la posibilidad de publicar el contenido en un servidor, por no contar con una dirección IP pública en vista de que las operadoras de telefonía móvil no tienen habilitados este sistema en su plataforma de red.

En nuestro medio no hay muchas investigaciones sobre el uso de la telefonía móvil, como medio telemétrico, a pesar de contar con la tecnología; sin embargo se pueden desarrollarse innumerables aplicaciones en distintas áreas tales como agricultura, minería, seguridad y otros.

La motivación fundamental para el desarrollo de esta tesis es incentivar a muchos estudiantes e investigadores a desarrollar más aplicaciones utilizando esta tecnología por muchas razones entre ellas que no necesitamos implementar un sistema muy costoso y mucho más mantenerla, también por sus características de propagación y cobertura que facilita el acceso desde amplios espacios para diversas aplicaciones que solucionarían diversos problemas en la vida diaria de las personas.

Conclusiones

1. Se conoció sobre la numeración VIP&PID que tiene el microcontrolador PIC18F2550 para la comunicación USB, proporcionado por la compañía Microchip, que pueden ser: VID_04D8&PID_000B, VID_04D8&PID_000C, VID_04D8&PID_01F0, VID_04D8&PID_01F1, VID_04D8&PID_01F2, VID_04D8&PID_01F3, VID_04D8&PID_01F4, VID_04D8&PID_01F5, VID_04D8&PID_0010, el cual permite la conexión y comunicación entre el módulo PC y el circuito de la Estación de Monitoreo, utilizando el método de transferencia Bulk.

2. La cámara IP con Wi-Fi de Modelo F-M136, conjuntamente con un modem ADLS inalámbrico, permiten adquirir remotamente las imágenes para la teleoperación del robot móvil (control de movimiento), observando su recorrido y posicionamiento adecuado, para la adquisición de datos.
3. Se ha obtenido conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas RF (radio frecuencia) con modulación/demodulación ASK, y cada una de las partes que interactúan en estos. Se utilizó el módulo transmisor de RF ST-TX01-ASK de SUMMITEK que tiene una potencia de salida de 8mW (de 4 a 16dBm) a 434 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps y el módulo receptor de RF ST-RX04-ASK de SUMMITEK que tiene una sensibilidad de 3 uV, a la frecuencia de 434 MHz, para una velocidad de transmisión de 2400 bps.
4. El circuito implementado de la Estación de Monitoreo a cargo del microcontrolador PIC18F2550, realiza la comunicación alámbrica USB con la laptop, la comunicación inalámbrica vía RF con modulación y demodulación ASK; con lo cual se transmite: La teleoperación del robot móvil, enviando el carácter "@" seguido de un byte que corresponde a la orden de movimiento y la solicitud de adquisición, enviando el carácter "@" seguido del carácter "d"; recibe: el carácter "s" seguido de 2 bytes que corresponde a los valores de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire.
5. El circuito del Sistema Móvil implementado, a cargo del microcontrolador PIC18F2550, recibe la solicitud de adquisición con el carácter "@" seguido del carácter "d"; realiza la conversión ADC de las señales de los sensores de monóxido de carbono y la velocidad del flujo de aire con una resolución de 10 bits y los transmite a la Estación de Monitoreo en dos bytes.
6. Se aplicó 25 pruebas de 5 ítems cada una a la variable independiente: Robot móvil teleoperado por inspección visual y 50 pruebas de 4 ítems a la variable dependiente: Monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire. En las evaluaciones a las variables, se observa de acuerdo a los resultados que en la prueba N° 1 ítem 2 del movimiento avanza el robot móvil y la prueba N° 1 del ítem 5 del movimiento retrocede el robot móvil, no se pudo realizar la comunicación entre los circuitos de la Estación de Monitoreo y el circuito del Sistema Móvil, debido a una baja en la tensión de alimentación en el sistema móvil; falla que no depende del sistema de comunicación inalámbrica, pero igualmente fue considerado en el análisis. En la evaluación del monitoreo de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire, se pudo observar que en la prueba N° 1 de los ítems 1 y 4; no se pudo enviar la solicitud de adquisición y mostrar los valore de las variables en el aplicativo, debido a una baja en la tensión de alimentación en el Sistema Móvil; falla que no depende del sistema de control, pero igualmente fue considerado en el análisis. Por lo que se debe realizar adecuadamente las conexiones y medir los niveles de voltaje de las fuentes de alimentación, y para este caso se añadió vía software la detección de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo de personas; las cuales paso a mencionar. A mis padres Nelly y Jesús, que dieron todo de sí en provecho mío. A mi abuela Rustica, por el ejemplo de valor, de constancia, perseverancia y de lucha que me ha demostrado a lo largo de la vida. A los docentes de la Universidad Nacional de Huancavelica, por haberme instruido en esta fascinante especialidad.
Así mismo mi agradecimiento a todas aquellas personas, que de una u otra forma, hicieron posible se realice este proyecto.
Finalmente mi agradecimiento a los que dirigen a mi Alma Mater, que me cobijo muchos años con equidad y tolerancia.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Jara Palomino Pedro. CONTROL AMBIENTAL Y CALIDAD DE AIRE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA. España: Editorial Limusa, S.A. de CV. Grupo Noriega Editores. Primera edición; 2010.
[2] Ollero Baturone Aníbal. ROBÓTICA MANIPULADORES Y ROBOTS MÓVILES. México: Alfaomega grupo editor S.A.; 2009.
[3] García Breijo Eduardo. COMPILADOR C CCS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC. México: Alfaomega grupo editor S.A. de C.V.; 2008.
[4] Axelson Jan. USB COMPLETE THE DEVELOPER'S GUIDE. Madison-USA:

Lakeview Research LI. C. Fourth Edition; 2009.
[5] Smith Carlos A. y. Corripio Armando B. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS. México: Limusa S.A., Primera Edición; 1991.
[6] Kuo Benjamín C. SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO. México: Prentice Hall Hispanoamérica S.A., Séptima Edición; 1996.
[7] García Moreno, Emilio. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES. México: Alfaomega; 2000.
[8] Briceño Márquez, José E. PRINCIPIOS DE LAS COMUNICACIONES. Mérida, Venezuela: ULA Ingeniería, Tercera Edición; 2005.
[9] Wayne Tomasi, SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS. México: Pearson Educación, Segunda Edición; 1996.
[10] Ogata Katsuhiko. INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA. México: Editorial Prentice Hall, Tercera Edición; 1998.
[11] Pérez García Miguel A., Álvarez Antón Juan C., Campo Rodríguez Juan C. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA. España: Thomson editores Spain Paraninfo S.A.; 2004.
[12] Rashid Muhammad H. ELECTRÓNICA DE POTENCIA. España: Editorial Prentice Hall, Segunda Edición; 2000.

[URL1] http://definicion.de/control/, visitado el 18 de febrero de 2013.
[URL2] http://www.mitecnologico.com/main /principiosdelcontrol, visitado el 18 de febrero de 2013.
[URL3] http://buscon.rae.es/drael/SrvltCons ulta?tipo_bus=3&lema=eficiencia, visitado el 18 de febrero de 2013.
[URL4] http://www.monografias.com/tra bajos16/telecomunicaciones/tele.shtml., visitado el 18 de febrero de 2013.
[URL5] http://es.wikipedia.org/wiki /Telecomunicaci%C3%Bn., visitado el 10 de marzo de 2013.
[URL6] http://es.wikipedia.org/wiki /Red_inal%C3%A1mbrica, visitado el 10 de marzo de 2013.
[URL7] http://es.kioskea.net/contents /wireless/wpan.php3, visitado el 10 de marzo de 2013.
[URL8] http://es.wikipedia.org/wiki/Modu laci%C3%B3n_(telecomunicaci%C3%B3 n). Visi tado el 10 de mayo de 2013
[URL9] http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/570/1/IOC-DT-P-2004-05.pdfl, visitado el 16 de enero de 2013.
[URL10] http://www.isotec.com.co/porta l2/index.php?id=50, visitado el 16 de enero de 2013.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rashid Muhammad H. ELECTRÓNICA DE POTENCIA. España: Editorial Prentice Hall. Segunda Edición; 2000.
2. Angulo Martínez, Ignacio y Angulo Usategui, José María. MICRO CONTROLADORES PIC–DISEÑO PRÁCTICO DE APLICACIONES, Segunda Parte. México: Editorial Mc Graw Hill; 2000.
3. Campos Cerda, Manuel Fernando. IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DESARROLLO UTILIZANDO LOS MICRO CONTROLADORES PIC. México: Editorial Mc Graw Hill; 2000.
4. Lathi B. P. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA Y SISTEMAS DE COMUNICACIÓN. México: Limusa S.A.; 2001.
5. Briceño Márquez, José E. Principios de las Comunicaciones. Mérida, Venezuela: ULA Ingeniería, Tercera Edición; 2005.
6. Lajara Vizcaino, José Rafael y Pelegri Sebastián, José. LABVIEW ENTORNO GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN. España: Alfaomega, Primera Edición; 2007.
7. Pérez Legoas, Luis Alberto. ESTADÍSTICA BÁSICA. Lima, Perú: San Marcos; 2001.
8. Bejarano Benites Leopoldo, Mormontoy Laurel Wilfredo, Tipacti Alvarado César. MUESTREO E INFERENCIA ESTADÍSTICA en Ciencias de la Salud. Lima, Perú: Editorial Imprenta Unión, Primera Edición; 2006.
9. Pérez García Miguel A., Álvarez Antón Juan C., Campo Rodríguez Juan. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA. España: Thomson Editores Spain; 2004.
10. Dorado Víctor. MANUAL DE USUARIO DEL COMPILADOR PCW DE CCS. [en línea] España: 2010. [fecha de acceso 18 de marzo de 2012]. URL disponible en: http://www.migsantiago.com/index.php/Com pilador_CCS_PICC.pdf.

28

ANEXO A

FOTOS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN

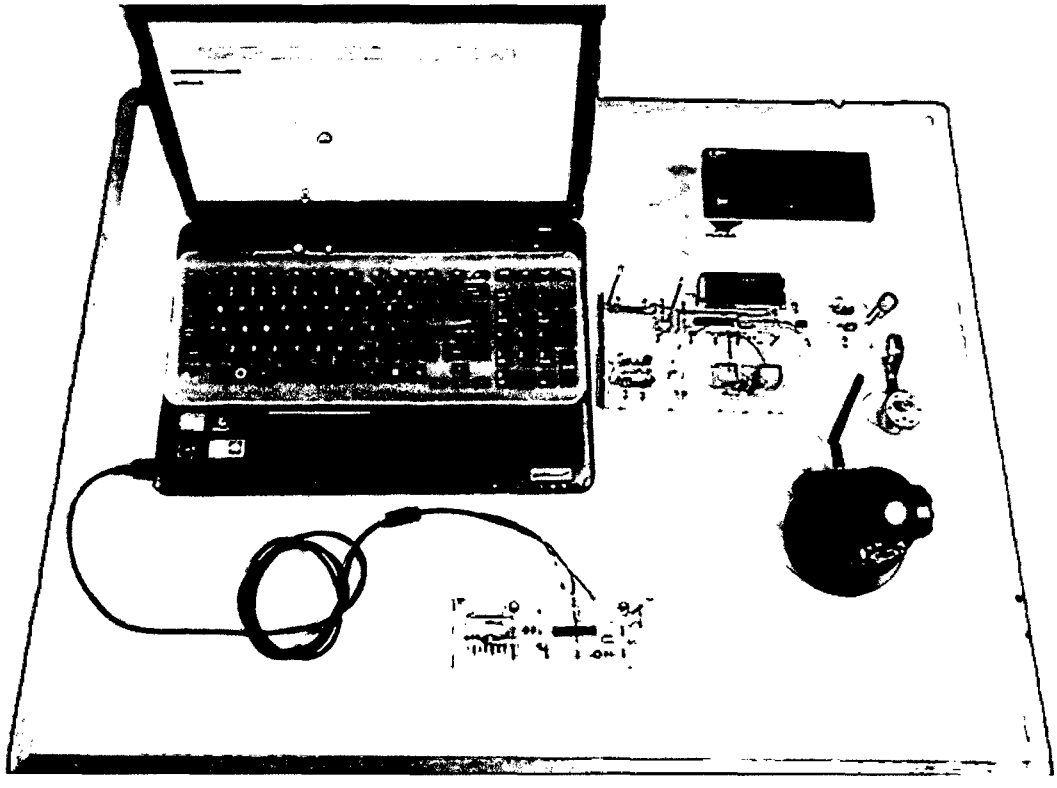


Foto 1 Componentes principales de la estación de monitoreo y sistema móvil.

Foto 2 Muestra los principales componentes de la estación de monitoreo.

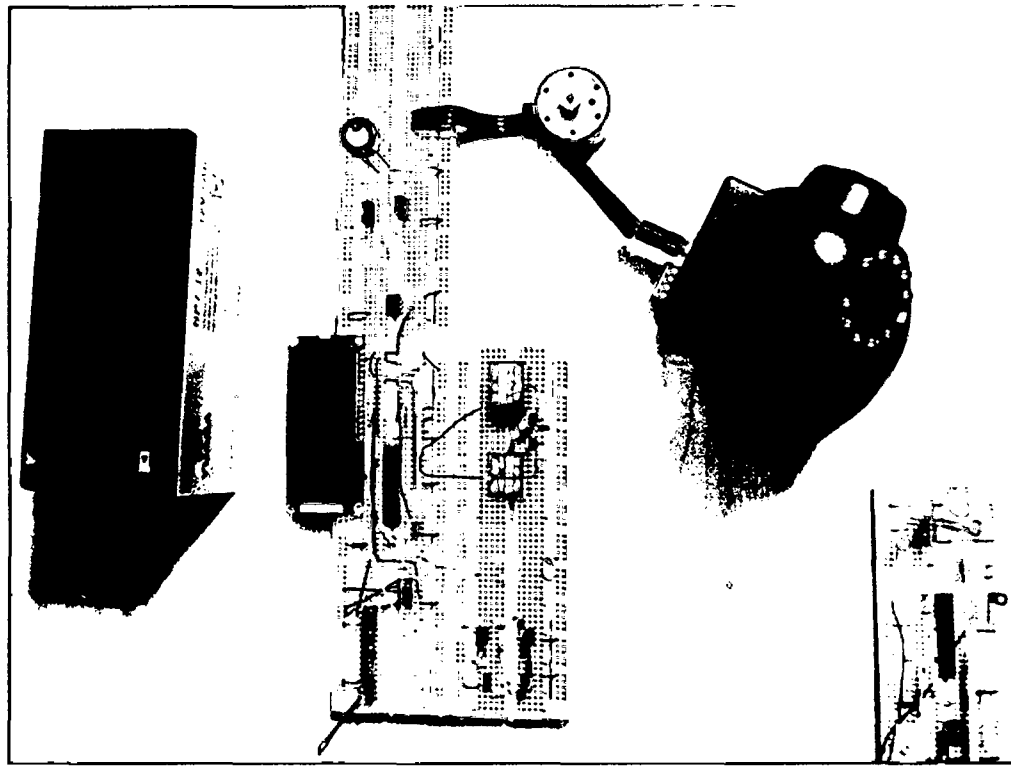


Foto 3 Muestra los componentes que corresponde al sistema móvil.

Foto 4 Investigador realizando las pruebas de funcionamiento en el sistema móvil.

Foto 5 Robot móvil teleoperado (mini auto) en el interior de la mina, en una las pruebas que se realizaron para el control de su movimiento avanza, retrocede, etc.

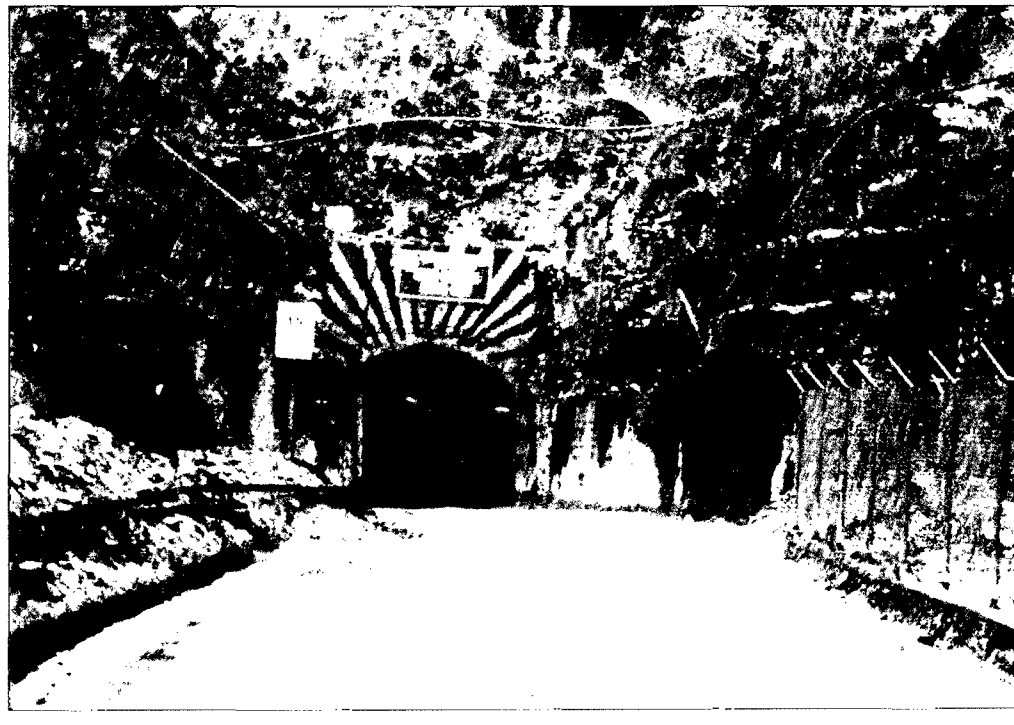


Foto 6 Robot móvil teleoperado avanzando a la entrada de la mina Catuva nivel 630. Se realizan las pruebas de control de su movimiento a la derecha, ala izquierda, etc.

Foto 7 Investigador en el interior de mina Catuva nivel 630; el robot móvil avanza.

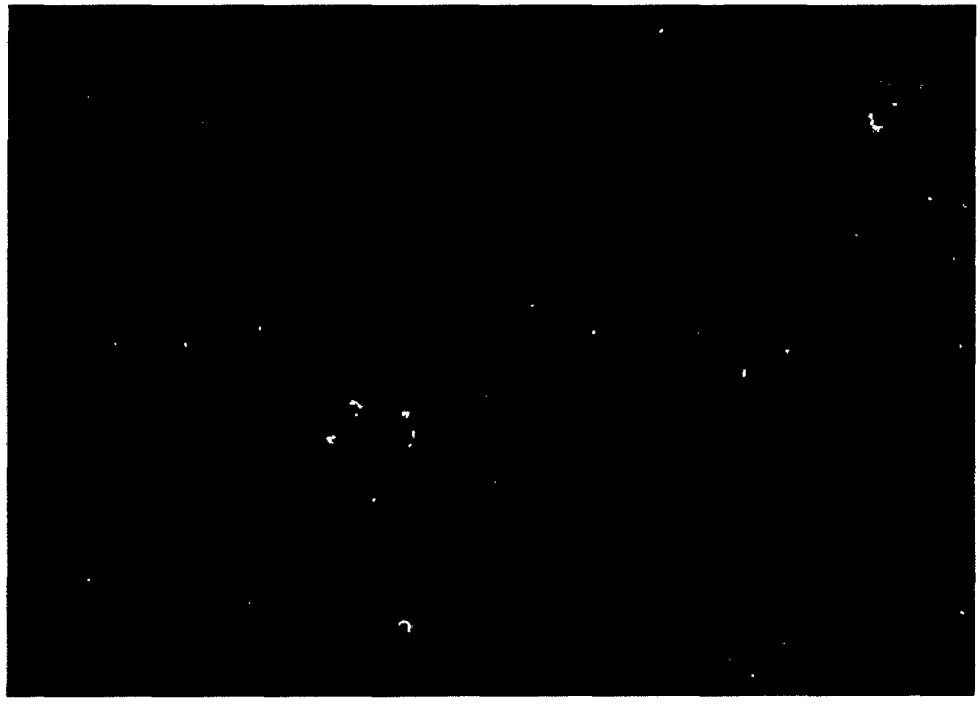


Foto 8 Robot móvil teleoperado en el interior de la mina Catuva nivel 630, realizando la toma de datos de monóxido de carbono y velocidad del flujo de aire.

23

ANEXO B

MÓDULO TRANSMISOR DE RF

SUMMITEK Technology Co., Ltd.

ASK Transmitter Module

ST-TX01-ASK(Saw Type)

General Description:

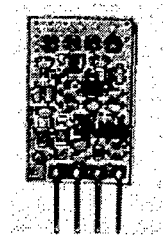
The ST-TX01-ASK is an ASK Hybrid transmitter module. ST-TX01-ASK is designed by the Saw Resonator, with an effective low cost, small size, and simple-to-use for designing.

Frequency Range:315 / 433.92 MHZ.

Supply Voltage: 3~12V.

Output Power : 4~16dBm

Circuit Shape: Saw



315/434 MHz ASK TRANSMITTER

Applications

*Wireless security systems

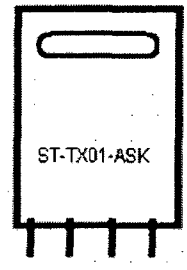
*Car Alarm systems

*Remote controls.

*Sensor reporting

*Automation systems

PIN Description:

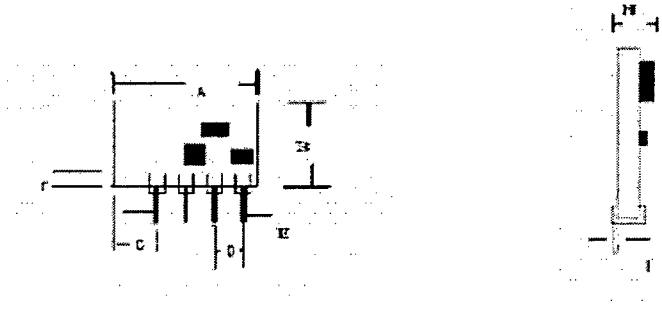


ANT VCC DATA GND

Absolute Maximum Ratings

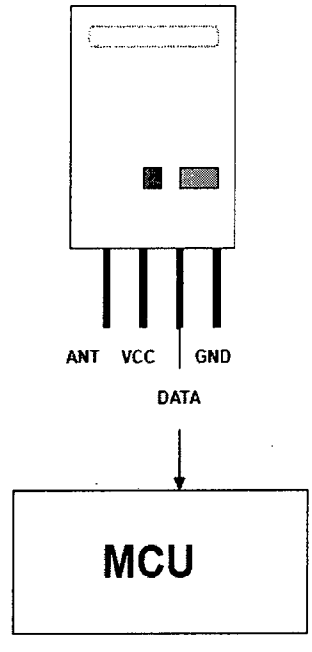
Parameter	Symbol	Condition		Specification					Unit
				Min.	Typical			Max.	
Operation Voltage					3V	5V	12V		V
Output power	Psens	DATA 5V 1Kbps Data Rate	315MHz		4	10	16		dBm
			Supply current		11	20	57		mA
			434MHz		4	10	16		dBm
			Supply current		11	22	59		mA
Tune on Time	Ton	Data start out by Vcc turn on		10	20				ms
Data Rate				200	1k			3k	bps
Input duty		Vcc=5V; 1kbps data rate		40				60	%
Temperature				-20				+80	℃

Pin Dimension



Dimensions	Millimeters	Dimensions	Millimeters
A	14+0.25mm	F	2.50+0.15mm
B	21+0.25mm	G	3.50+0.15mm
C	4.1+0.30mm	H	5.5mm
D	2.54+0.05mm	I	0.32+0.05mm
E	0.65+0.05mm		

Typical Application:



20

ANEXO C

MÓDULO RECEPTOR DE RF

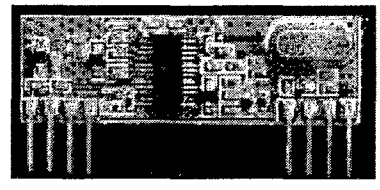
ASK Superheterodyne Receiver Module

ST-RX04-ASK Receiver

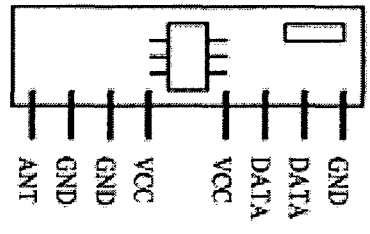
315/434 MHz ASK RECEIVER

General Description:

The ST- RX04-ASK is an ASK superhet receiver module with PLL synthesizer and crystal oscillator.
The circuit shape is PLL.
Receiver Frequency: 315 / 433.92 MHZ
Operation Voltage: 5V
IF Frequency: 500k
Typical sensitivity: -105dBm
Supply Current: 2.3mA



Pin Description:



Features

- Low power consumption.
- Easy for application.
- On-Chip VCO with integrated PLL using crystal oscillator reference.
- Integrated IF and data filters.
- Operation temperature range : − 40℃ ~ +80℃
- Operation voltage : 5 Volts.
- Available frequency at : 315/434 MHz

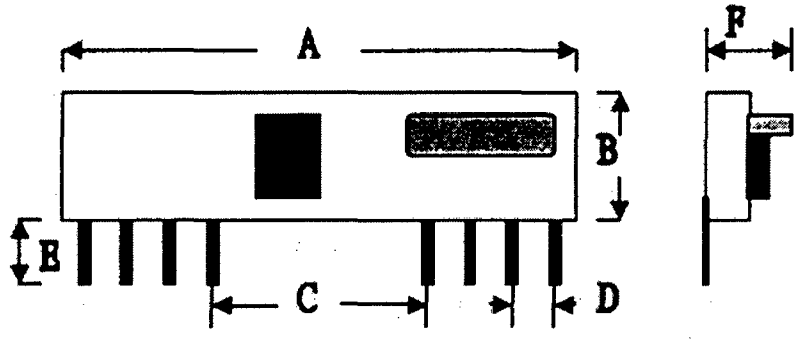
Applications:

- Car security system
- Wireless security systems
- Sensor reporting
- Automation system
- Remote Keyless entry

Electrical Characteristics :

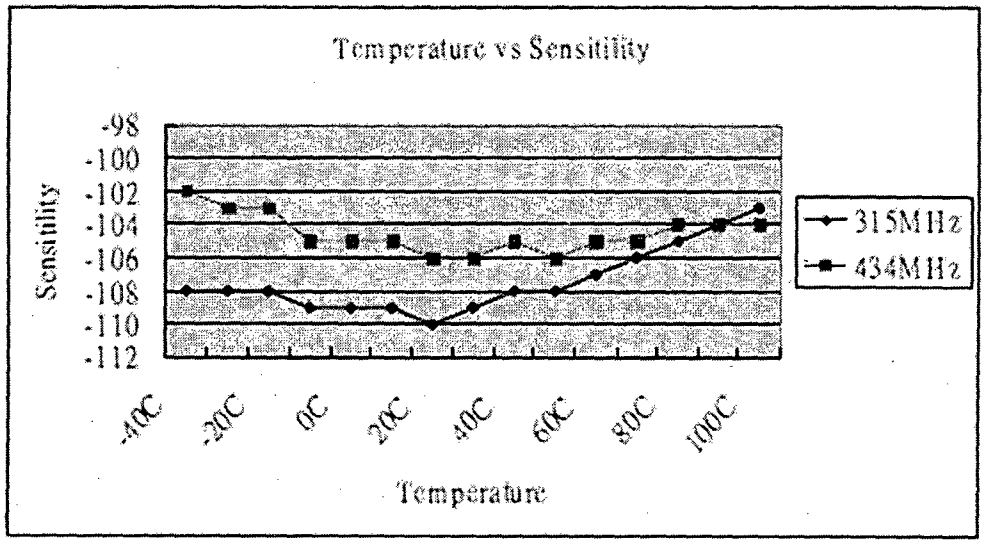
Vcc	Supply Voltage		5		VDC
Is	Supply Current		2.3	3	mA
FR	Receiver Frequency		315/434		MHz
RF Sensitivity(Vcc=5V 1Kbps Data Rate)			-105		dBm
	Max Data Rate	0.3	1	3	Kbit/s
VOH	High Level Output (I=30uA)	0.7Vcc			VDC
VOL	Low Level Output (I=30uA)			0.3Vcc	VDC
	Turn On Time(Vcc off-Turn on)	25	30		ms
TOP	Operating Temperature Range	-40		80	℃
	Output Duty	40		60	%

Mechanical Dimension:

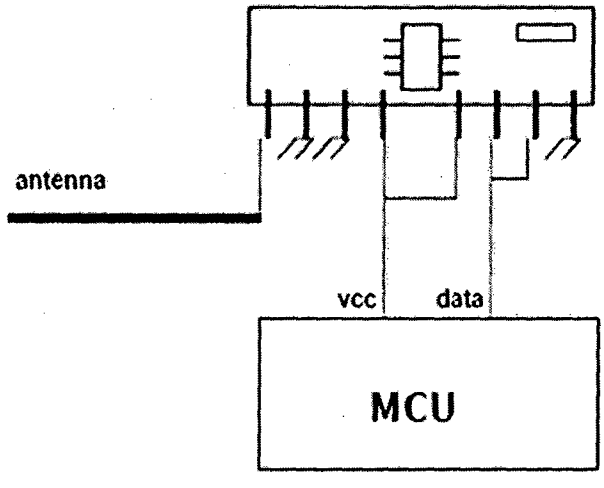


Name	Dimension	Name	Dimension
A	43mm+-0.5mm	D	2.54mm+-0.3mm
B	12.4mm+-0.5mm	E	5mm+-0.5mm
C	25.4mm+-0.3mm	F	6mm (Max)

Typical Characteristics



Typical Application:



Remark:

1. Antenna length about :23cm for 315 MHz
   17cm for 434 MHz

LG

ANEXO D

CÁMARA IP

CÁMARA IP (MODELO F-M136)

Tiene control de movimiento remoto, puedes girarla 360°, y moverla hacia arriba y hacia abajo 180°, además de que tiene función de giro automático. También puedes encender y apagar la cámara remotamente Puedes usar hasta 4 cámaras a la vez con el mismo programa de administración. Además puedes asignar hasta 8 usuarios con contraseña y distintos permisos de acceso Instálala en tu negocio, tienda, casa, banco, joyería u oficina; fácilmente podrás vigilar desde cualquier ordenador con Internet, incluso desde el móvil (móvil con servicio de Internet 3g y explorador compatible) La cámara tiene base de instalación, y ajuste de ángulo, por si quieres fijarla al techo, la pared, o cualquier superficie. Incluye todo lo necesario, solo necesitas contar con una toma de corriente y una conexión a internet de banda ancha (cable o inalámbrica).

Características:

- Visión nocturna.
- Indicar Quad.
- Encriptación WEP.
- En todo el mundo el acceso.
- Conecte hasta 4 cámaras IP.
- Detección de movimiento con alarma de correo electrónico.
- Conectar con Wi-Fi o con el cable LAN Especificaciones del fabricante.
- Función principal: Cámara de seguridad IP con detección de movimiento de grabación.
- Sensor: CMOS de 1 / 4 pulgada.
- Interfaz de red: Base T RJ-45/10-100 802.11b/g.
- Protocolo de red: TCP / IP, DHCP, SMTP, TP, DDNS, UPnP.
- Detección de movimiento de la ayuda: Sí.
- Modo de Monitoreo: IE navegar.
- Protección de contraseña de seguridad: Sí.
- Iluminación Mínima: 0 Lux.
- Balance de blancos: Auto.
- Condiciones de trabajo: 0 - 50°C.
- Fuente de alimentación: Adaptador de corriente AC 100V-240V.
- Consumo de energía 3W.
- Pantalla principal de Software Controls & Displays.

- Visualización y Grabación (Visitante): - Pantalla única - Multi Pantalla - Añadir marca de tiempo en el registro - Visualización en pantalla de color - Audio de búfer - Play, Stop, de instantáneas, - Expediente - Audio, Video, MIC Record.
- Operador: - 360 Grado panorámica de control - Visualización de Opciones - Inversión del Espejo - Resolución - 320 x 240, 640 x 480 - Modo - 50 Hz/60Hz, al aire libre - Brillo y contraste Ajustes.
- Administrador: - Configuración de usuario - Set de hasta 8 usuarios de - Establecer hora y fecha - Sincroniza con tu PC y seleccionar de una lista de servidores NTP - Multi-Opciones de dispositivo - Esta característica le permite configurar 4 cámaras IP para vigilar de manera simultánea. - Configuración de red básica - Utilizar la configuración de la red de base para asignar direcciones IP a cada cámara IP individuales.
- Wireless LAN - Viene con opciones de seguridad de encriptación WEP de - Configuración de ADSL - Configuración de UPnP - Configuración del servicio de DDNS - Servicio de correo de Configuración - Configuración de correo electrónico de alerta - Configuración del servicio FTP - Alarma de Configuración del servicio - Detección de movimiento, alarma de entrada, enviar correo en alarma, de subida de imágenes de alarma.
- Especificaciones de grabación: - MJEPG (AVI) - 100 FPS - Resoluciones: 320 x 240, 640 x 480 - Audio: PCM Codec / 8000Hz 128 kb / s (1 CHNL).
- Certificación: CE, FCC.
- Dimensiones: Diámetro: 100 x H: 120 (mm) Notas del producto.
- De día o de noche, ver quién está allí.
- Instalación de 4 cámaras y controlar diferentes salas.
- Ver todo, lo sabe todo, y captura a todos, la vigilancia en todo el mundo a un clic de su ratón.
- Registros de audio y vídeo, así que escuchar lo que dice el refrán, incluso si se esconde de la cámara.
- Contenido del Paquete:* Cámara IP * Cable Ethernet * Placa de montaje * Wall Tornillos x 2 * Adaptador de corriente 100 - 240V * CD de software - Manual de usuario en Inglés.

Model: F-M136		
Features	System security	Supports three-level account, password, user multi-level authoritymanagement
	DDNS (free)	Built in free DDNS system, like http://demo.easyn.hk,'demo' is serial code
	IEmulti-channel view client(free)	No need to install software, support multi-channel monitor &management & check alarm picture via IE
	Super client	1, 4, 9, 16, 25, 36, 64-channel , no user limited , centralized monitor
	Superiority	Support multi-channel monitor via cellphone or computer, certified by Microsoft activeX, support most of intelligent phone(such as Iphone, Antroid, Symbian)
CPU	Operation system	Embedded Linux OS
	Microcomputer processor	32Bit RSIC Embedded Processor
Video	Compression format	Motion-JPEG-N
	Signal system	CMOS 300,000 pixel
	Frame rate	25fps
	Shutter speed	1/50s-1/100,000s
	Resolution	VGA(640*480),QVGA(320*240)
	Image adjustment	Brightness, contrast, saturation.
	WB, BLC	Auto
	Lens	Standard: 3. 6mm
Nightvision	Nightvision	10Φ5 LED lights IR distance: 10m
Audio	Compression format	ADPCM
	Input	Built-in Mircophone
	Output	one channel linear output
	Audio gain	AGC
P/T	Motor	Built-in motor control
	Rotation angle	Horizontal: 270° vertical: 90°
	Rotation speed	11 level pan/tilt rotation speed optional, speed range 15-70° / second
Network	Network interface	RJ-45 10/100Mb self-adaptable Ethernet slot
	Protocol	Support TCP/IP、HTTP、ICMP、DHCP、FTP、SMTP、PPPoE etc.
	Wireless	WIFI, 802.11 b/g
	Online visitor	Support 4 visitors at the same time
	IP mode	Dynamic IP address, static IP address, PPPOE
Others	Shape	Cartoon robot
	Use environment	Indoor use
	Power	DC5V 2A
	Temperature	-10~50 ° C
	Humidity	95% RH
	Size	Item size:111*100*127mm (L*W*H)
		Package size:200*150*120mm (L*W*H)
	Weight	G.W.: 895g (Note:for real products)
	Attachment	Power adapter ,CD, manual , screws, warranty card
System	System requirement	Microsoft Win98 SE/ME/2000/XP、Vista、Win 7, Internet Explorer 8.0, FireFox, Google Browser
Certification	Certificate	FCC CE SASO RoHS

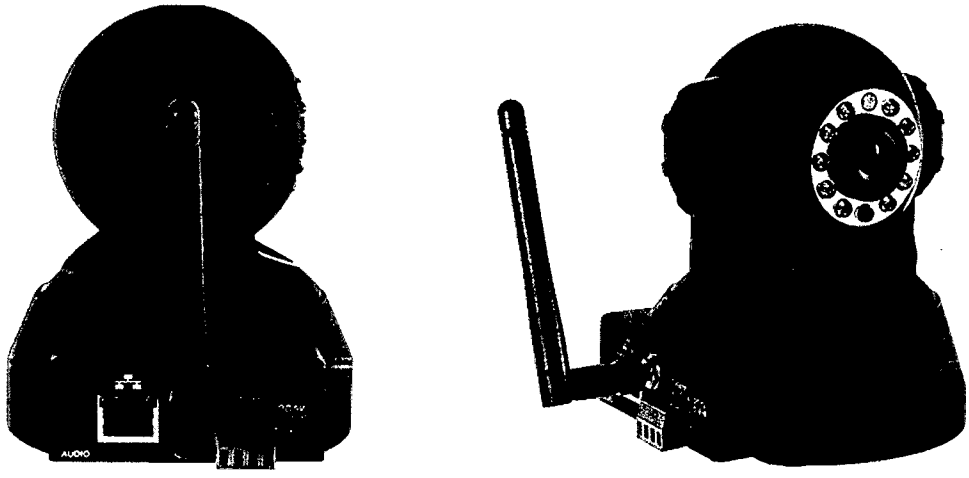


Figura 1. Cámara IP en diversas vistas

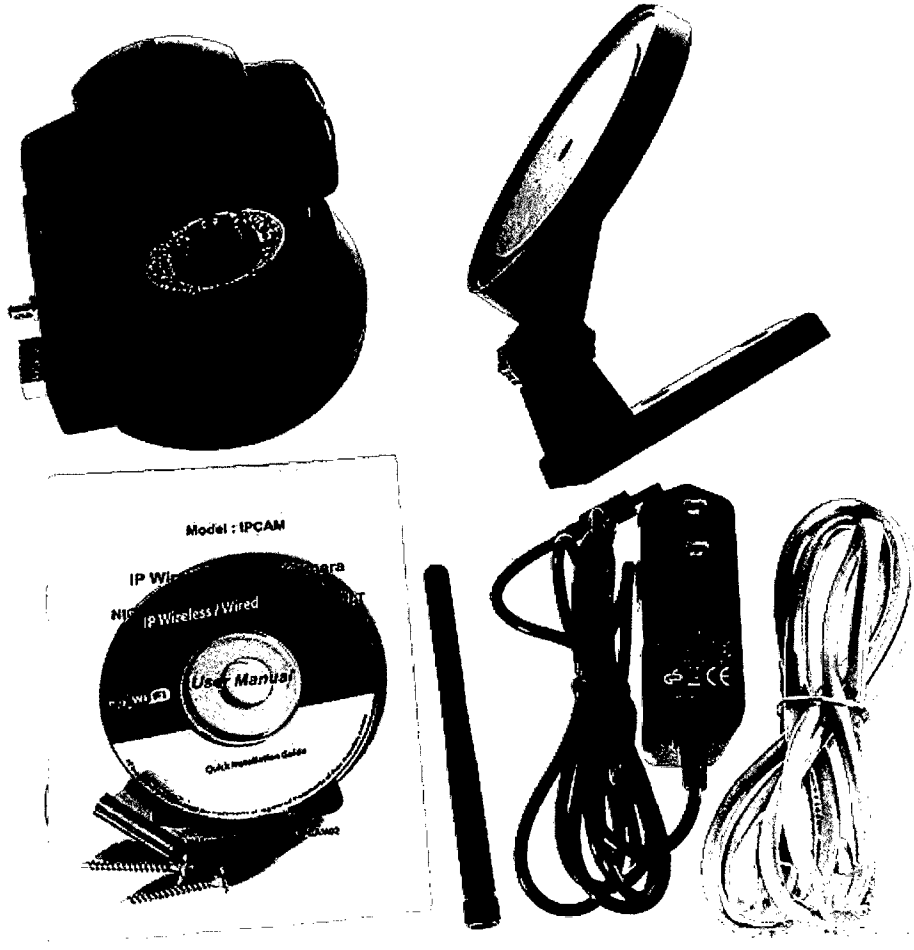


Figura 2. Kit completo: Cámara IP, software, conector RJ45, antena, base de instalación y fuente.

ANEXO E

MONITOREO DEL NIVEL DE MONÓXIDO DE CARBONO EN INTERIOR DE MINA, REALIZADO POR LA MINERA RAURA S.A. (ENERO A OCTUBRE 2013)

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA Enero 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV / LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
ene-13	01/01/2012	NV. 300 GL608EE	23	Ninguno	
	02/01/2012	NV. 300 CR489SE	16	Ninguno	
	03/01/2012	NV. 300 GL156NN	5	Ninguno	
	04/01/2012	NV. 525 GL285WW	11	Ninguno	
	05/01/2012	NV. 525 GL286WW	15	Ninguno	
	06/01/2012	520 RP(+) 280	4	Ninguno	
	07/01/2012	NV. 520 GL280	12	Ninguno	
	08/01/2012	NV. 300 TJ797EW	7	Ninguno	
	09/01/2012	NV. 300 TJ739EW	3	Ninguno	
	10/01/2012	NV. 300 TJ720EW	15	Ninguno	
	11/01/2012	NV. 300 TJ620NA	12	Ninguno	
	12/01/2012	NV. 300 TJ625NA	20	Ninguno	
	13/01/2012	NV. 300 TJ938EW	22	Ninguno	
	14/01/2012	NV. 300 TJ821EW	11	Ninguno	
	15/01/2012	NV. 300 TJ878EW	13	Ninguno	
	16/01/2012	NV. 300 TJ792EW	12	Ninguno	
	17/01/2012	NV. 490 TJ650NA	8	Ninguno	
	18/01/2012	NV. 490 TJ650EW	5	Ninguno	
	19/01/2012	NV. 490 TJ680EW	9	Ninguno	
	20/01/2012	NV. 440 TJ884EW	2	Ninguno	
	21/01/2012	NV. 440 TJ900EW	8	Ninguno	
	22/01/2012	NV. 200 TJ840SS	4	Ninguno	
	23/01/2012	NV. 440 GL632WW	13	Ninguno	
	24/01/2012	NV. 300 GL612SE	11	Ninguno	
	25/01/2012	NV. 200 CR120SE	15	Ninguno	
	26/01/2012	NV. 300 GL001NS	8	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS	FIRMA:

Tabla E.1 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de enero 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA Febrero - 2013 **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV / LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
feb-13	01/02/2013	NV. 250 GL908	0	Ninguno	
	01/02/2013	NV. 200 TJ.880	5	Ninguno	
	01/02/2013	NV. 200 TJ. 885	8	Ninguno	
	02/02/2013	NV. 200 TJ.814	0	Ninguno	
	03/02/2013	NV. 200 TJ.887	5	Ninguno	
	04/02/2013	NV. 200 CX.120	0	Ninguno	
	05/02/2013	NV. 200 CX. 830	0	Ninguno	
	06/02/2013	520 RP(+) 280	15	Ninguno	
	07/02/2013	NV. 520 GL280	0	Ninguno	
	08/02/2013	NV. 300 CX 489	0	Ninguno	
	09/02/2013	NV. 300 GAL.730	0	Ninguno	
	10/02/2013	NV. 300 GAL.970	5	Ninguno	
	11/02/2013	NV. 380 TJ.860	0	Ninguno	
	12/02/2013	NV. 380 TJ.652	0	Ninguno	
	13/02/2013	NV. 380 TJ.520	2	Ninguno	
	14/02/2013	NV. 440 TJ.075	0	Ninguno	
	15/02/2013	NV. 440 CX.085	11	Ninguno	
	16/02/2013	NV. 440 TJ.900	12	Ninguno	
	17/02/2013	NV. 380 CX.943	0	Ninguno	
	18/02/2013	NV. 380 TJ. 943	0	Ninguno	
	19/02/2013	NV. 300 GAL.310	0	Ninguno	
	20/02/2013	NV. 300 TJ792EW	15	Ninguno	
	21/02/2013	NV. 490 TJ650NA	0	Ninguno	
	22/02/2013	NV. 490 TJ680W	0	Ninguno	
	23/02/2013	NV. 300 GL730NE	11	Ninguno	
	24/02/2013	NV. 300 GL805NN	0	Ninguno	
	25/02/2013	NV. 300 GL 830NW	10	Ninguno	
	26/02/2013	NV. 250 GL907NS	0	Ninguno	
	27/02/2013	NV. 300 TJ620NA	13	Ninguno	
	27/02/2013	NV. 300 TJ625NA	8	Ninguno	
	27/02/2013	NV. 300 TJ878EW	0	Ninguno	
	27/02/2013	NV. 300 TJ821EW	0	Ninguno	
NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO			**TEC. Damian huahuala de la cruz**		**FIRMA:**

Tabla E.2 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de febrero 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA MARZO - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
mar-13	01/03/2013	200	TJ840	0	Ninguno	
	02/03/2013	490	TJ 070	5	Ninguno	
	03/03/2013	520	TJ280NS	8	Ninguno	
	04/03/2013	520	TJ.336NE	0	Ninguno	
	05/03/2013	520	Rp(-)520	0	Ninguno	
	06/03/2013	300	CX.489	0	Ninguno	
	07/03/2013	300	Cx.792	0	Ninguno	
	08/03/2013	200	CX.830	15	Ninguno	
	09/03/2013	200	TJ 012	0	Ninguno	
	10/03/2013	300	TJ 470	0	Ninguno	
	11/03/2013	300	RP. 230	0	Ninguno	
	12/03/2013	300	CX.800	0	Ninguno	
	13/03/2013	300	CX 360	0	Ninguno	
	14/03/2013	300	TJ 805	0	Ninguno	
	15/03/2013	380	TJ 652	0	Ninguno	
	16/03/2013	300	TJ 310	0	Ninguno	
	17/03/2013	300	TJ 625	11	Ninguno	
	18/03/2013	380	TJ 546	12	Ninguno	
	19/03/2013	380	GI.288	0	Ninguno	
	20/03/2013	250	TJ 954	0	Ninguno	
	21/03/2013	380	TJ860EW	0	Ninguno	
	22/03/2013	380	TJ652EW	15	Ninguno	
	23/03/2013	250	TJ 970	0	Ninguno	
	24/03/2013	200	RP(-)035	0	Ninguno	
	25/03/2013	250	Tj.650	11	Ninguno	
	26/03/2013	250	BP 978	0	Ninguno	
	27/03/2013	250	TJ 978	10	Ninguno	
	28/03/2013	300	TJ 821	0	Ninguno	
	29/03/2013	300	BP 730	13	Ninguno	
	31/03/2013	590	TJ710EW	8	Ninguno	
	31/03/2013	590	TJ738EW	0	Ninguno	
	31/03/2013	380	CX.545TM	0	Ninguno	
	31/03/2013	380	GL.545	0	Ninguno	
	31/03/2013	380	S/N 546	5	Ninguno	
	31/03/2013	380	Cx.943	8	Ninguno	
	31/03/2013	380	Rp.943	0	Ninguno	
	31/03/2013	300	TJ620NA	0	Ninguno	
	31/03/2013	300	TJ625NA	0	Ninguno	
	31/03/2013	300	TJ792	0	Ninguno	
	31/03/2013	300	TJ821EW	15	Ninguno	
	31/03/2013	250	TJ885NS	0	Ninguno	
	31/03/2013	200	TJ887NS	0	Ninguno	
	31/03/2013	200	TJ880NS	7	Ninguno	
	31/03/2013	340	TJ820NS	0	Ninguno	
	31/03/2013	250	TJ816NA	0	Ninguno	
	31/03/2013	200	TJ814NA	6	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS	FIRMA:

Tabla E.3 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de marzo 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.6.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA ABRIL - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
abr-13	01/04/2013	200	TJ840	9	Ninguno	
	01/04/2013	490	TJ 070	0	Ninguno	
	01/04/2013	520	TJ280NS	0	Ninguno	
	01/04/2013	520	TJ.336NE	0	Ninguno	
	01/04/2013	520	Rp(-)520	12	Ninguno	
	01/04/2013	300	CX.489	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	Cx.792	0	Ninguno	
	01/04/2013	200	CX.830	0	Ninguno	
	01/04/2013	200	TJ 012	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	TJ 470	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	RP. 230	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	CX.800	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	CX 360	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	TJ 805	11	Ninguno	
	01/04/2013	380	TJ 652	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	TJ 310	0	Ninguno	
	01/04/2013	300	TJ 625	0	Ninguno	
	01/04/2013	380	TJ 546	5	Ninguno	
	02/04/2013	380	GI.288	0	Ninguno	
	03/04/2013	250	TJ 954	0	Ninguno	
	04/04/2013	380	TJ860EW	0	Ninguno	
	05/04/2013	380	TJ652EW	6	Ninguno	
	06/04/2013	250	TJ 970	0	Ninguno	
	07/04/2013	200	RP(-)035	0	Ninguno	
	08/04/2013	250	Tj.650	0	Ninguno	
	09/04/2013	250	BP 978	0	Ninguno	
	10/04/2013	250	TJ 978	5	Ninguno	
	11/04/2013	300	TJ 821	0	Ninguno	
	12/04/2013	300	BP 730	0	Ninguno	
	13/04/2013	590	TJ710EW	4	Ninguno	
	14/04/2013	590	TJ738EW	5	Ninguno	
	15/04/2013	380	CX.545TM	0	Ninguno	
	16/04/2013	380	GL.545	0	Ninguno	
	17/04/2013	380	S/N 546	9	Ninguno	
	18/04/2013	380	Cx.943	14	Ninguno	
	19/04/2013	380	Rp.943	0	Ninguno	
	20/04/2013	300	TJ620NA	0	Ninguno	
	21/04/2013	300	TJ625NA	14	Ninguno	
	22/04/2013	300	TJ792	0	Ninguno	
	23/04/2013	300	TJ821EW	0	Ninguno	
	24/04/2013	250	TJ885NS	0	Ninguno	
	25/04/2013	200	TJ887NS	0	Ninguno	
	26/04/2013	200	TJ880NS	0	Ninguno	
	27/04/2013	340	TJ820NS	0	Ninguno	
	28/04/2013	250	TJ816NA	0	Ninguno	
	29/04/2013	200	TJ814NA	8	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS	FIRMA:

Tabla E.4 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de abril 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA MAYO - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
may-13	02/05/2013	200	TJ840	0	Ninguno	
	02/05/2013	490	TJ 070	13	Ninguno	
	02/05/2013	520	TJ280NS	0	Ninguno	
	02/05/2013	520	TJ.336NE	0	Ninguno	
	02/05/2013	520	Rp(-)520	0	Ninguno	
	02/05/2013	300	CX.489	6	Ninguno	
	02/05/2013	300	Cx.792	0	Ninguno	
	02/05/2013	200	CX.830	0	Ninguno	
	02/05/2013	200	TJ 012	0	Ninguno	
	02/05/2013	300	TJ 470	4	Ninguno	
	03/05/2013	300	RP. 230	8	Ninguno	
	04/05/2013	300	CX.800	0	Ninguno	
	05/05/2013	300	CX 360	0	Ninguno	
	06/05/2013	300	TJ 805	0	Ninguno	
	07/05/2013	380	TJ 652	7	Ninguno	
	08/05/2013	300	TJ 310	0	Ninguno	
	09/05/2013	300	TJ 625	0	Ninguno	
	10/05/2013	380	TJ 546	0	Ninguno	
	11/05/2013	380	GI.288	9	Ninguno	
	12/05/2013	250	TJ 954	0	Ninguno	
	13/05/2013	380	TJ860EW	0	Ninguno	
	14/05/2013	380	TJ652EW	10	Ninguno	
	15/05/2013	250	TJ 970	0	Ninguno	
	16/05/2013	200	RP(-)035	0	Ninguno	
	17/05/2013	250	Tj.650	0	Ninguno	
	18/05/2013	250	BP 978	11	Ninguno	
	19/05/2013	250	TJ 978	0	Ninguno	
	20/05/2013	300	TJ 821	0	Ninguno	
	20/05/2013	300	BP 730	16	Ninguno	
	20/05/2013	590	TJ710EW	0	Ninguno	
	20/05/2013	590	TJ738EW	0	Ninguno	
	20/05/2013	380	CX.545TM	19	Ninguno	
	20/05/2013	380	GL.545	0	Ninguno	
	20/05/2013	380	S/N 546	0	Ninguno	
	20/05/2013	380	Cx.943	0	Ninguno	
	20/05/2013	380	Rp.943	19	Ninguno	
	20/05/2013	300	TJ620NA	0	Ninguno	
	20/05/2013	300	TJ625NA	8	Ninguno	
	20/05/2013	300	TJ792	0	Ninguno	
	20/05/2013	300	TJ821EW	0	Ninguno	
	20/05/2013	250	TJ885NS	0	Ninguno	
	20/05/2013	200	TJ887NS	0	Ninguno	
	20/05/2013	200	TJ880NS	0	Ninguno	
	20/05/2013	340	TJ820NS	11	Ninguno	
	20/05/2013	250	TJ816NA	9	Ninguno	
	20/05/2013	200	TJ814NA	7	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS	FIRMA:

Tabla E.5 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de mayo 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA JUNIO - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
Jun-13	01/06/2013	380	TJ860EW	0	Ninguno	
	01/06/2013	380	TJ652EW	0	Ninguno	
	01/06/2013	250	TJ 970	1	Ninguno	
	01/06/2013	200	RP(-)035	0	Ninguno	
	01/06/2013	250	Tj.650	0	Ninguno	
	01/06/2013	250	BP 978	0	Ninguno	
	01/06/2013	250	TJ 978	2	Ninguno	
	01/06/2013	300	TJ 821	10	Ninguno	
	02/06/2013	300	BP 730	0	Ninguno	
	02/06/2013	590	TJ710EW	4	Ninguno	
	02/06/2013	590	TJ738EW	8	Ninguno	
	02/06/2013	380	CX.545TM	9	Ninguno	
	02/06/2013	380	GL.545	0	Ninguno	
	02/06/2013	380	S/N 546	0	Ninguno	
	02/06/2013	380	Cx.943	7	Ninguno	
	03/06/2013	380	Rp.943	0	Ninguno	
	03/06/2013	300	TJ620NA	0	Ninguno	
	03/06/2013	300	TJ625NA	0	Ninguno	
	03/06/2013	300	TJ792	0	Ninguno	
	04/06/2013	300	TJ821EW	9	Ninguno	
	05/06/2013	250	TJ885NS	0	Ninguno	
	06/06/2013	200	TJ887NS	0	Ninguno	
	07/06/2013	200	TJ880NS	11	Ninguno	
	08/06/2013	340	TJ820NS	0	Ninguno	
	09/06/2013	250	TJ816NA	0	Ninguno	
	10/06/2013	200	TJ814NA	0	Ninguno	
	11/06/2013	200	TJ840	12	Ninguno	
	12/06/2013	490	TJ 070	0	Ninguno	
	13/06/2013	520	TJ280NS	16	Ninguno	
	14/06/2013	520	TJ.336NE	0	Ninguno	
	15/06/2013	520	Rp(-)520	0	Ninguno	
	16/06/2013	300	CX.489	0	Ninguno	
	17/06/2013	300	Cx.792	6	Ninguno	
	18/06/2013	200	CX.830	0	Ninguno	
	19/06/2013	200	TJ 012	0	Ninguno	
	20/06/2013	300	TJ 470	2	Ninguno	
	21/06/2013	300	RP. 230	0	Ninguno	
	22/06/2013	300	CX.800	7	Ninguno	
	23/06/2013	300	CX 360	0	Ninguno	
	24/06/2013	300	TJ 805	0	Ninguno	
	25/06/2013	380	TJ 652	0	Ninguno	
	26/06/2013	300	TJ 310	0	Ninguno	
	27/06/2013	300	TJ 625	0	Ninguno	
	28/06/2013	380	TJ 546	4	Ninguno	
	29/06/2013	380	GI.288	0	Ninguno	
	30/06/2013	250	TJ 954	0	Ninguno	
NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO				TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS		FIRMA:

Tabla E.6 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de junio 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA JULIO - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
jul-13	01/07/2013	380	TJ652EW	9	Ninguno	
	01/07/2013	250	TJ 970	8	Ninguno	
	01/07/2013	200	BP.780	10	Ninguno	
	01/07/2013	250	Tj.650	4	Ninguno	
	01/07/2013	200	CAMARA DDH 035	0	Ninguno	
	01/07/2013	200	RP.780	5	Ninguno	
	01/07/2013	250	TJ 978	2	Ninguno	
	01/07/2013	300	TJ 821	10	Ninguno	
	01/07/2013	590	TJ710EW	4	Ninguno	
	01/07/2013	590	TJ738EW	8	Ninguno	
	01/07/2013	380	CX.545TM	11	Ninguno	
	01/07/2013	380	RP.545	0	Ninguno	
	01/07/2013	380	TJ.792	0	Ninguno	
	01/07/2013	380	Cx.943	11	Ninguno	
	01/07/2013	380	Rp.943	9	Ninguno	
	01/07/2013	300	TJ620NA	4	Ninguno	
	02/07/2013	300	TJ625NA	2	Ninguno	
	02/07/2013	300	TJ792	0	Ninguno	
	02/07/2013	300	TJ821EW	8	Ninguno	
	02/07/2013	200	TJ880NS	12	Ninguno	
	02/07/2013	340	TJ820NS	12	Ninguno	
	02/07/2013	250	TJ816NA	12	Ninguno	
	02/07/2013	200	TJ814NA	14	Ninguno	
	02/07/2013	200	TJ840	13	Ninguno	
	03/07/2013	490	TJ 070	14	Ninguno	
	04/07/2013	520	TJ.336NE	4	Ninguno	
	05/07/2013	300	CX.489	2	Ninguno	
	06/07/2013	300	Cx.792	1	Ninguno	
	07/07/2013	200	CX.830	11	Ninguno	
	08/07/2013	200	TJ 012	12	Ninguno	
	09/07/2013	300	TJ 470	0	Ninguno	
	10/07/2013	300	RP. 230	9	Ninguno	
	11/07/2013	300	CX 360	2	Ninguno	
	12/07/2013	380	TJ 652	0	Ninguno	
	13/07/2013	300	TJ 310	2	Ninguno	
	14/07/2013	300	TJ 625	0	Ninguno	
	15/07/2013	380	GI.288	5	Ninguno	
	16/07/2013	250	TJ 954	3	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS	FIRMA:

Tabla E.7 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de julio 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA AGOSTO - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
ago-13	01/08/2013	340	TJ820NS	10	Ninguno	
	01/08/2013	250	TJ816NA	8	Ninguno	
	01/08/2013	200	TJ814NA	10	Ninguno	
	01/08/2013	200	TJ840	9	Ninguno	
	01/08/2013	490	TJ 070	11	Ninguno	
	01/08/2013	520	TJ.336NE	9	Ninguno	
	01/08/2013	300	CX.489	3	Ninguno	
	02/08/2013	300	Cx.792	0	Ninguno	
	02/08/2013	200	CX.830	0	Ninguno	
	02/08/2013	200	TJ 012	0	Ninguno	
	02/08/2013	300	TJ 470	0	Ninguno	
	02/08/2013	300	RP. 230	0	Ninguno	
	02/08/2013	300	CX 360	1	Ninguno	
	02/08/2013	380	TJ 652	0	Ninguno	
	03/08/2013	300	TJ 310	0	Ninguno	
	03/08/2013	300	TJ 625	0	Ninguno	
	03/08/2013	380	GI.288	1	Ninguno	
	03/08/2013	250	TJ 954	7	Ninguno	
	04/08/2013	380	TJ652EW	0	Ninguno	
	05/08/2013	250	TJ 970	2	Ninguno	
	06/08/2013	200	BP.780	6	Ninguno	
	07/08/2013	250	Tj.650	3	Ninguno	
	08/08/2013	200	CAMARA DDH 035	0	Ninguno	
	09/08/2013	200	RP.780	10	Ninguno	
	10/08/2013	250	TJ 978	6	Ninguno	
	11/08/2013	300	TJ 821	0	Ninguno	
	12/08/2013	590	TJ710EW	0	Ninguno	
	13/08/2013	590	TJ738EW	0	Ninguno	
	14/08/2013	380	CX.545TM	0	Ninguno	
	15/08/2013	380	RP.545	0	Ninguno	
	16/08/2013	380	TJ.792	0	Ninguno	
	17/08/2013	380	Cx.943	0	Ninguno	
	18/08/2013	380	Rp.943	0	Ninguno	
	19/08/2013	300	TJ620NA	0	Ninguno	
	20/08/2013	300	TJ625NA	0	Ninguno	
	21/08/2013	300	TJ792	0	Ninguno	
	22/08/2013	300	TJ821EW	0	Ninguno	
	23/08/2013	200	TJ880NS	3	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS	FIRMA:

Tabla E.8 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de agosto 2013.

2

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA SETIEMBRE - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	Co / PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
Set-13	01/09/2013	380	TJ. 652EW	0	Ninguno	
	01/09/2013	250	TJ 970	3	Ninguno	
	01/09/2013	200	BP.780	4	Ninguno	
	01/09/2013	250	Tj.650	0	Ninguno	
	02/09/2013	200	RP.780	6	Ninguno	
	02/09/2013	250	TJ 978	0	Ninguno	
	02/09/2013	300	TJ 821	0	Ninguno	
	02/09/2013	590	TJ710EW	0	Ninguno	
	02/09/2013	590	TJ738EW	0	Ninguno	
	03/09/2013	380	CX.545TM	0	Ninguno	
	03/09/2013	380	RP.545	0	Ninguno	
	03/09/2013	380	TJ.792	0	Ninguno	
	03/09/2013	380	Cx.943	4	Ninguno	
	04/09/2013	380	Rp.943	0	Ninguno	
	04/09/2013	300	TJ620NA	0	Ninguno	
	04/09/2013	200	TJ880NS	3	Ninguno	
	05/09/2013	340	TJ820NS	1	Ninguno	
	06/09/2013	250	TJ816NA	6	Ninguno	
	07/09/2013	200	TJ814NA	7	Ninguno	
	08/09/2013	200	TJ840	8	Ninguno	
	09/09/2013	520	TJ.336NE	2	Ninguno	
	10/09/2013	300	CX.489	5	Ninguno	
	11/09/2013	300	Cx.792	0	Ninguno	
	12/09/2013	200	CX.830	2	Ninguno	
	13/09/2013	200	TJ 012	0	Ninguno	
	14/09/2013	300	TJ 470	0	Ninguno	
	15/09/2013	300	CX. 450	0	Ninguno	
	16/09/2013	300	CX 360	1	Ninguno	
	17/09/2013	380	GI.288	1	Ninguno	
	18/09/2013	250	TJ 954	2	Ninguno	
	19/09/2013	300	GL.658	6	Ninguno	
	20/09/2013	300	CM.647	11	Ninguno	
	21/09/2013	300	TJ. 891	0	Ninguno	
	22/09/2013	380	TJ. 272	12	Ninguno	
	23/09/2013	200	CX. 660	0	Ninguno	
	24/09/2013	200	CX. 560	1	Ninguno	
	25/09/2013	200	CX. 120	0	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	TEC. AMADEO JANAMPA CHANCAS	FIRMA:

Tabla E.9 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de setiembre 2013.

01/01/2013	Sistema de Gestion de Riesgos	CODIGO: SGR/R/MCO ISO 14001 / OHSAS 18001 CLAUSULA 4.4.6 - 4.5.1 VERSION :01 PAGINA 1/1	SGR-RAURA

MONITOREO DE CO

AREA : INTERIOR MINA OCTUBRE - 2013 — **LPM : 25 PPM**

MES	FECHA	NV.	LABOR	PPM	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
oct-13	02/10/2013	Nv. 470	Cx. 479 E	21	Ninguno	
	02/10/2013	Nv. 470	Gl. 281	22	Ninguno	
	02/10/2013	Nv. 470	Cx. 280	20	Ninguno	
	10/10/2013	Nv. 520	Tj. 336	22	Ninguno	
	10/10/2013	Nv. 250	Rp (+) 015	10	Ninguno	
	16/10/2013	Nv. 250	Tj. 816	23	Ninguno	
	16/10/2013	Nv. 300	Cx. 643	18	Ninguno	
	18/10/2013	Nv. 300	Cx. 489	31	Evaluacion por Departamento de Ventilacion	Ventilacion
	18/10/2013	Nv. 300	Gl. 658	25	Ninguno	
	18/10/2013	Nv. 200	Tj. 840 S	23	Ninguno	
	18/10/2013	Nv. 200	Rp (-) 960	30	Evaluacion por Departamento de Ventilacion	Ventilacion
	19/10/2013	Nv. 440	S/N 085	27	Labor ciego	E.C.M. Miocong
	19/10/2013	Nv. 440	Tj-346	21	Ninguno	
	19/10/2013	Nv. 300	Rp+818	11	Ninguno	
	19/10/2013	Nv. 250	Tj-816	5	Ninguno	
	19/10/2013	Nv. 200	Tj-012	27	Ninguno	
	29/10/2013	Nv. 300	RP(+)818	25	Ninguno	
	29/10/2013	Nv. 250	Rp+015	24	Ninguno	
	29/10/2013	Nv. 200	Tj-814	15	Ninguno	
	29/10/2013	Nv. 365	Tj-820	17	Ninguno	
	29/10/2013	Nv. 440	Tj-085	8	Ninguno	
	29/10/2013	Nv. 400	Tj-346	22	Ninguno	
	30/10/2013	Nv. 470	Gl. 470	17	Ninguno	
	30/10/2013	Nv. 520	Tj-336	24	Ninguno	
	30/10/2013	Nv. 520	Tj-336	22	Ninguno	
	30/10/2013	Nv. 200	Cx-660	25	Ninguno	
	30/10/2013	Nv. 200	Cx-120	18	Ninguno	

NOMBRE DEL RESPONSABLE DE MONITOREO	Tec. Amadeo Janampa, Insp. Demetrio Mamani	FIRMA:

Tabla E.10 Valores monitoreados del nivel de CO en el mes de octubre 2013.