



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Electrónica

PROYECTO DE TELEMETRÍA Y TRANSMISIÓN DE DATOS EN EL CANAL DE RELAVES DIVISIÓN EL TENIENTE, CODELCO-CHILE

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Profesor Patrocinante:
Sr. Pedro Rey Clericus.
Ingeniero Electrónico
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería
Diplomado en Ciencias de la Ingeniería.

MAIKEL ALEJANDRO MELLA JARA

VALDIVIA - CHILE

2010

Comisión de Titulación

Sr. Pedro Rey Clericus
Profesor Patrocinante

Sr. Néstor Fierro Morineaud
Profesor Informante

Sr. Franklin Castro Rojas
Profesor Informante

Fecha de Examen de Titulación: _____

Agradecimientos

A mis padres Edith y Carlos, que sacrificaron parte de su vida para formarme y educarme con los valores que me hacen ser la persona de hoy.

A mi hijo, que a su corta edad aún no se da cuenta del apoyo que logra darme con sólo una sonrisa y con un simple “Papá...amo”.

A Pamela, que ha estado conmigo en todo momento siendo un pilar importante en el logro de mis metas entregándome amor, paciencia y apoyo en momentos difíciles.

Agradezco también a cada una de las personas que me han acompañado en este largo y difícil camino, entre ellos mis familiares, amigos, compañeros y profesores que apoyaron mi desarrollo profesional y personal.

Índice general

Agradecimientos	III
Resumen	XIII
Abstract	XIV
Introducción	XV
1. Capítulo 1: División El Teniente Codelco Chile	1
1.1. Braden Copper Company	2
1.2. Nacionalización del Cobre	3
1.3. Proceso general de extracción del yacimiento	3
1.4. Extracción subterránea del mineral	5
1.5. Proceso de Concentración	8
1.5.1. Chancado	8
1.5.2. Molienda	9
1.5.3. Flotación	10
1.6. Canal de Relaves	11
1.7. Especificaciones del Canal de Relaves	13
1.8. Telemetría en el Canal de Relaves	16
2. Capítulo 2: Proyecto de Telemetría	20
2.1. Ubicación de las distintas Estaciones	20
2.1.1. Estación Base CP1 Sewell	22
2.1.2. Imágenes del Sector CP1	23

ÍNDICE GENERAL

2.1.3.	Estación Puente Rebolledo	25
2.1.4.	Estación Arroyo Hondo lado Sewell	26
2.1.5.	Estación Arroyo Hondo lado Colon	26
2.1.6.	Estación Weesapos lado Sewell	27
2.1.7.	Estación Weesapos lado Colon	27
2.2.	Distancia entre Puntos de Enlace	28
2.3.	Vista geográfica de los diferentes Puntos de Enlace	28
2.4.	Problemática	29
3.	Capítulo 3: Sensor Utilizado	30
3.1.	Sensores Ultrasónicos	30
3.1.1.	Sensor Ultrasónico como Sensor de Reflexión	30
3.1.2.	Sensor operando con Supresión del Primer Plano	30
3.1.3.	Sensor Ultrasónico con conexión Bus	31
3.1.4.	Sensor Ultrasónico como Barrera Monodireccional	31
3.1.5.	Sensor Ultrasónico para detección de Doble Hoja	31
3.1.6.	Sensor Ultrasónico para pequeños espacios	31
3.1.7.	Sensor Ultrasónico con salidas Análogas	32
3.2.	Transmisor indicador de Nivel a utilizar	32
3.3.	Características del LIT 25	33
3.4.	Referencias generales a la hora de utilizar el LIT 25	33
3.5.	Alimentación	35
3.6.	Prueba rápida en blanco	36
3.7.	Sistema de Calibración	37
3.8.	Calibración 4mA y Calibración 20 mA	38
3.9.	Montaje del Sensor PZ32T	38
3.10.	Características del Coaxial RG62AU	39
3.11.	Opciones a la hora de montar el Sensor	39
3.12.	Instalación y localización del Sensor	41

ÍNDICE GENERAL

3.13.	Sensor PZ32T en el caso de Sólidos y Polvos	42
3.14.	Errores en la aplicación del sistema	42
3.15.	Ejemplos de mensajes preventivos de Error	43
3.16.	Especificaciones técnicas LIT 25	44
3.17.	Especificaciones técnicas Sensor PZ32T	44
4.	Capítulo 4: Conceptos Importantes	45
4.1.	Medios de transmisión	45
4.2.	Medios Guiados	45
4.3.	Medios No Guiados	47
4.4.	Medios de transmisión según su sentido	49
	4.4.1. Simplex	49
	4.4.2. Half Duplex	50
	4.4.3. Full Duplex	50
4.5.	Fenómenos físicos que influyen	51
	4.5.1. Difracción	51
	4.5.2. Fresnel	52
5.	Capítulo 5: Enlace propuesto con transeptores VHF presentes en la División	54
5.1.	Propiedades equipo Motorola GM 300	55
5.2.	Antenas a utilizar en las distintas Estaciones	56
5.3.	Tabla de Ganancias de antenas comunes	57
5.4.	Cable a utilizar en las Conexiones	58
5.5.	Simulando el Enlace	58
	5.5.1. Inclusión del mapa dentro de nuestra Red	58
	5.5.2. Enlace de radio desde Sewell CP1 a Puente Rebolledo	61
	5.5.3. Enlace de radio desde Sewell CP1 a Arroyo Hondo	62
	5.5.4. Enlace de radio desde Sewell CP1 a Weesapos	63

ÍNDICE GENERAL

5.6.	Cálculos teóricos del Enlace Sewell – Weesapos	64
5.7.	Prueba del sistema realizada en terreno	66
6.	Capítulo 6: Propuestas de solución a Problemática presente en Weesapos	73
6.1.	Solución por Medio Híbrido (Alambrico – RF)	73
6.1.1.	Cableado Exterior	73
6.1.1.1.	Cable UTP categoría 6 Exterior	76
6.1.1.2.	Torcido Autosoportado con un Mensajero	77
6.1.2.	Cableado Interior	78
6.1.3.	Tabla de características de distintos Coaxiales	78
6.1.4.	Cable Coaxial RG213	79
6.1.5.	Conectores	80
6.1.6.	Cable Coaxial Heliax	80
6.1.7.	Transmisión desde Teniente 8	82
6.1.8.	Antena elegida en este Enlace	83
6.1.9.	Simulación	83
6.1.10.	Conclusiones de la Simulación	85
6.1.11.	Medición con Spectrum Master	86
6.1.11.1.	Anritsu MS2711	86
6.1.11.2.	Medición	87
6.1.12.	Cálculos teóricos del Enlace Sewell – Teniente 8	89
6.2.	Solución mediante el envío de los datos de Weesapos por medio de la Red Ethernet	90
6.2.1.	A través de la Red	90
6.2.2.	Cableado	93
6.2.3.	Router	93
6.2.4.	Envío de datos	93
6.2.5.	Concepto de Conexión Unicast	94
6.2.6.	Protocolos de acceso al medio de Redes Locales CSMA/CD	95

ÍNDICE GENERAL

6.2.7. Encaminamiento y control de conexión entre Extremos	96
6.2.8. Direccionamiento y Redes IP	97
6.2.9. Mascaras por defecto	98
6.2.10. Rescate de datos de Weesapos enviados por la Red	100
6.2.11. A nivel de Software	101
6.2.12. A nivel de Hardware	101
6.2.13. Estándar RS- 232	101
6.2.14. Modbus	104
6.2.15. Red Ethernet en Teniente, Codelco-Chile	105
7. Capítulo 7: Propuesta de Modernización de Equipos de Transmisión VHF	107
7.1. Incorporación Nuevo Equipo Central	107
7.2. Características del Transceptor a utilizar	108
7.3. Especificaciones del Repetidor MOTOTRBO DGR 6175	110
7.4. Descripción física del Equipo	111
7.5. Nuevo Equipo de Radio a incorporar en las Estaciones	112
7.6. Características Transceptor de Estaciones	112
7.7. Especificaciones del Radio DGM 6100	114
7.8. Modulación utilizado por los Equipos MOTOTRBO	115
7.8.1. OFDM	115
7.8.2. TDMA	116
7.9. Antenas	117
7.10. Fuente de alimentación de los Equipos	117
7.11. Cableado	118
8. Capítulo 8: Plataforma de Software	119
8.1. Wonderware InTouch HMI	119
8.2. Sistemas Scada	120

ÍNDICE GENERAL

8.3.	Aplicación del Software Scada InTouch V 7.0 en CP1	121
8.4.	Mensaje de Alerta	124
9.	Capítulo 9: Costos Asociados	125
9.1.	En Puente Rebolledo	125
9.2.	En Arroyo Hondo	126
9.3.	En Weesapos	127
9.4.	En CP1	128
9.4.	Gastos Varios	129
9.5.	Costos Totales	129
10.	Conclusiones	130
11.	Anexos	132
12.	Bibliografía	154

Índice de figuras

1.1.	Logo corporativo Codelco – Chile	3
1.2.	Canal de Relaves División El Teniente	11
1.3.	Vista del lago que forma el Relave	12
1.4.	Muro de contención del Embalse Carén	12
1.5.	Sistema de conducción de Relaves desde Colon a Embalse Carén	14
1.6.	Sala de Control de Telemetría en Rancagua	17
1.7.	Vista del monitoreo de cámaras en el Canal de Relaves	18
2.1.	Vista de CP1 mediante Google Earth	22
2.2.	Ubicación de la antena en CP1	22
2.3.	Vista desde Sewell CP1 hacia Rancagua	23
2.4.	Vista de Sewell	23
2.5.	Vista de Sewell y del sector mediante Google Earth	24
2.6.	Revisando en terreno fiabilidad de establecer CP1 como central	24
2.7.	Vista mediante Google Earth de estación en Puente Rebolledo	25
2.8.	Ubicación de la antena en estación Puente Rebolledo	25
2.9.	Vista mediante Google Earth de estación Arroyo Hondo	26
2.10.	Vista mediante Google Earth de estación Weesapos	27
2.11.	Vista del conjunto de estaciones	28
2.12.	Perspectiva desde lugar donde se instalará el sensor en Weesapos al costado Colon	29
3.1.	LIT 25	32
3.2.	Fuente de Poder Astron	35
3.3.	Prueba rápida en Blanco	36
3.4.	Calibración del LIT25	37
3.5.	Modalidad Normal de Calibración	37
3.6.	Lecturas de Nivel	38
3.7.	Tipos de Montaje del Sensor	40
3.8.	Montaje con Flanche	40

ÍNDICE DE FIGURAS

3.9.	Formas correctas e incorrectas de instalación del sensor PZ32T	41
3.10.	Montaje del sensor en caso de Polvos	42
4.1.	Esquema del Fenómeno de Difracción	51
4.2.	Zona de Fresnel cuando existe algún obstáculo	53
5.1.	MaxTrac 300 y su sucesor GM300 de Motorola	54
5.2.	Master GM 300 de Motorola	55
5.3.	Yagi de 3 elementos	56
5.4.	Ventana de configuración de Radio Mobile	59
5.5.	Ventanas de configuración de Radio Mobile	60
5.6.	Vista por medio del programa del enlace entre las distintas estaciones	60
5.7.	Enlace CP1 – Puente Rebolledo	61
5.8.	Enlace CP1 – Arroyo Hondo	62
5.9.	Enlace CP1 – Weesapos	63
5.10.	Longitud de la Ruta de Enlace	64
5.11.	d1 y d2 a utilizar en la formula	65
5.12.	Acceso a Weesapos	69
5.13.	Instalación del Sensor de Prueba	70
5.14.	Trazado del cableado en la Prueba	70
5.15.	Instalación LIT25	71
5.16.	Posición establecida para la Antena	72
6.1.	Tramo recorrido por el Par Telefónico	74
6.2.	Tramo proyectado como solución	75
6.3.	Tendido eléctrico que servirá como soporte al cableado	75
6.4.	Línea del ferrocarril por donde irá el cableado de la segunda etapa hasta TTE 8	76
6.5.	Categorías cable UTP	77
6.6.	Torcido auto soportado con mensajero	77
6.7.	Gráfica que muestra la atenuación del cable RG213	79
6.8.	Cable Heliax	80
6.9.	Distancia entre Sewell y TTE 8	82
6.10.	Yagi 6 elementos	83

ÍNDICE DE FIGURAS

6.11.	Simulación Sewell – Maestranza	84
6.12.	Simulación Sewell – Teniente 8	85
6.13.	Midiendo con el Anritsu MS2711	87
6.14.	Pantalla del Analizador de Espectro	88
6.15.	d1 y d2 a utilizar en la formula	89
6.16.	Tramo desde la caseta a Maestranza	91
6.17.	Tramo Proyectado como solución	92
6.18.	Par Telefónico en el suelo	92
6.19.	Router	93
6.20.	Transmisión de datos	94
6.21.	Conexión Unicast	95
6.22.	Encaminamiento Protocolo IP	97
6.23.	Direccionamiento IP	97
6.24.	Modo correcto e incorrecto de comunicación	98
7.1.	Imagen comercial del Repetidor DGR™ 6175 MOTOTRBO	107
7.2.	Repetidor DGR™ 6175 MOTOTRBO	111
7.3.	Radio Móvil DGM™ 6100 MOTOTRBO	112
7.4.	Esquema de Modulación OFDM	115
7.5.	TDMA	116
7.6.	Grafico Potencia de la señal v/s Calidad de audio referente a MOTOTRBO	117
7.7.	Propuesta comercial MOTOTRBO; Cambie de Digital	118
8.1.	Pantalla principal desplegada por Software de Visualización	122
8.2.	Representación Canal de Relaves en software	123
8.3.	Ejemplo de señal de nivel que llega a CP1 desde Arroyo Hondo	123
8.4.	Mensaje de Alarma que entrega el software al no recibir señal	124

Resumen

El presente proyecto tiene por finalidad entregar una solución eficiente al problema que proyecta la incertidumbre de no conocer el nivel exacto del caudal de la canoa de residuos líquidos de la producción de cobre de la División El Teniente en su sección inicial. Para esto se proyecta la elección e instalación de sensores en 3 estaciones ubicadas en lugares estratégicos del canal, lo que nos permitirá medir el nivel exacto del caudal. Asimismo se plantea una transmisión inalámbrica de los datos mediante enlaces VHF con una central que será la encargada mediante un software de agrupar los datos para su posterior visualización.

La propuesta se realiza sobre una base de simulaciones, análisis de los fenómenos físicos imperantes y pruebas en terreno, lo que permite superar distintas problemáticas en el transcurso del estudio generadas principalmente por la difícil geografía del sector donde se centra el proyecto. Gracias a todo esto se evita la existencia de problemas en épocas del año donde las nevazones o lluvias hacen que el nivel del caudal suba peligrosamente poniendo en peligro tanto las operaciones de la División como también al personal que trabaja en ella.

Abstract

The following Plan have as finality to give an efficient solution to the problem that project the uncertainty of do not know the accurate level of the canoe's flow of liquid wastes of the copper production in "El Teniente" division in its initial section. For that, its projected the choice and collocation of sensors in 3 stations located in three strategic places of the channel, which allow us to measure de level of the flow, also its wireless transmission arises of the information through the links VHF with a central, that will be charged to group the information through a software for its later display.

The proposal is performed on the basis of simulations, analysis of physical phenomena prevailing and field tests, foregoing allows overcome various problems during the study generated mainly by the difficult geography of the sector where the project is centered. Thanks to all of this the problems are avoided in times of the year where the heavy snow or rain make the flow's level arises dangerously, endangering both the operations of the Division and also the staff working there.

Introducción

División El Teniente perteneciente a la Corporación Nacional del Cobre define su estrategia basada en una visión de futuro que implica consolidar su liderazgo en la extracción de cobre en el mundo. Para desarrollar esta labor es imprescindible contar con un nivel de producción superlativo que combine la eficiencia y tecnología a la hora de planificar su desarrollo; desarrollo que muchas veces se encuentra truncado por falencias que son imprescindibles subsanar echando mano a la ingeniería y a la audacia como lo es en el caso del Canal de Relaves.

El Canal de Relaves de la división fue construido con el fin de llevar en su interior los desechos líquidos de la producción de cobre y molibdeno a través de la difícil geografía de nuestra cordillera y valle por medio de una canoa de concreto. La ubicación de la mina El Teniente en la cordillera de los Andes que es donde nace esta canoa hace que las condiciones climáticas a las que es sometida sean variadas, ya que por una parte en estaciones estivales las altas temperaturas producen una leve sedimentación del caudal, en otras, como la invernal, la nieve y la lluvia producen un crecimiento del nivel de líquidos del caudal, por lo que puede producir inconvenientes en la producción y en la seguridad de los trabajadores.

En función de lo anterior es que se han ido implementando a través de los años sistemas de monitoreo del caudal a través de sensores y cámaras instaladas en diferentes puntos a lo largo de su estructura. Sin embargo, por motivos de ubicación geográfica y difícil acceso estas medidas no se han implementado en el canal en su trayecto inicial desde su salida al exterior de la mina en Sewell, hasta Colón, donde se encuentran las principales plantas de tratamiento del material. Este tramo en El Canal de Relaves es de suma importancia porque está ubicado en la parte más alta de la División el teniente a unos 2.200 mts de altura sobre el nivel del mar.

Mediante un estudio acabado de la problemática y de la geografía del sector se desea proponer mediante este proyecto de tesis una solución eficiente basada en el estudio de la ciencia llamada Telemetría para monitorear a distancia la variable “nivel de caudal” en el sector.

Objetivo General

- Elaborar una solución mediante Telemetría para monitorear el nivel del caudal del Canal de Relaves de la División el Teniente de Codelco Chile en su parte más alta, es decir, desde Sewell a Colón.

Objetivos Específicos

- Proyectar un sistema que sea capaz de sensar el nivel del Canal de Relaves en tres puntos estratégicos ubicados a lo largo de la parte alta de este mismo, todos ellos de difícil acceso.
- Diseñar un sistema de transmisión de los datos medidos por los sensores hacia una central.
- Establecer la base de una plataforma de software capaz de visualizar los datos en la central de monitoreo
- Determinar los costos involucrados en el desarrollo del proyecto, el cual será proyectado tomando en consideración la problemática económica de la empresa y del país.

Capítulo 1

División El Teniente Codelco Chile

La División El Teniente perteneciente a la Corporación Nacional del Cobre se encuentra a 120 kilómetros al sur de Santiago, a 50 kilómetros al este de la ciudad de Rancagua y a 2300 metros sobre el nivel del mar. Posee además, instalaciones administrativas en calle Millán en la misma ciudad de Rancagua. Sus operaciones se centran en la explotación de la mina subterránea de cobre que es considerada la más grande del mundo, ya que posee 2400 kilómetros de galerías subterráneas.

La mina El Teniente es una mina de cobre ubicada bajo el cerro del mismo nombre en la comuna de Machalí, IV región del Libertador Bernardo O'Higgins. Es posible acceder a este yacimiento cuprífero mediante la carretera Presidente Eduardo Frei Montalva, comúnmente llamada Carretera del Cobre.

La mina ha sido trabajada desde el periodo Pre-hispánico por los indígenas de la región. Luego, en el periodo de la conquista, fue explotada por los españoles, quienes enviaban cobre al Virreinato del Perú para la fabricación de cañones y diferentes utensilios domésticos de la época.

En 1822, la aristócrata Nicolasa de Toro y Dumont, nieta de Mateo de Toro Zambrano y en ese entonces la heredera más rica del país, aportó a los bienes comunes del matrimonio que adquirió con don Juan de Dios Correa de Saa y Martínez, el yacimiento "La Conquista", ubicado en la Hacienda La Compañía, lo que hoy abarca desde Graneros al límite con Argentina. Juan de Dios Correa asumió el dominio de la mina, y fue en ese período donde adquirió su nombre actual, debido a que su propietario fue teniente del ejército patriota y estuvo bajo las órdenes de Bernardo O'Higgins en la Batalla de Maipú.

En 1897 la mina El Teniente es comprada por Enrique Concha y Toro, quién vendería la mina al norteamericano William Braden en 1903. Así se iniciaría la industrialización del complejo minero.

1.1. Braden Copper Company

En 1903 se inicia la explotación por parte de la empresa Braden Copper Co. En 1904 William Braden adquirió los derechos del mineral, fundando la compañía Rancagua Mines con sede en Estados Unidos. Braden se asoció con Barton Sewell para dirigir la mina de cobre El Teniente, sin embargo, Sewell nunca puso un pie en Chile, limitándose a participar del negocio como alto ejecutivo de la empresa. En 1905 la compañía cambió su nombre a Braden Copper Company (Compañía Cuprífera Braden), con oficinas centrales en Nueva York, la que fue autorizada para operar en Chile el 29 de abril de 1905.

Tras la muerte de Barton Sewell, y aprovechando el creciente desinterés de William Braden, entonces embarcado en la apertura de nuevos yacimientos de cobre en el norte de Chile, los hermanos Guggenheim tomaron el control de la compañía de cobre Braden, en 1909. Más tarde, en 1916, el 95% de las acciones de Braden Copper Co. pasaron a manos de Kennecott Corporation, convirtiéndose en filial de esta última.

El 19 de junio de 1945 ocurre una de las mayores tragedias mineras de la historia: 355 trabajadores de El Teniente fallecen tras asfixiarse con monóxido de carbono en el suceso recordado como “La Tragedia del Humo”. Hasta el día de hoy este hecho es utilizado como ejemplo en exposiciones de seguridad a los mineros del yacimiento y recordado cada año con la celebración de una eucaristía.

La Kennecott Corporation fue históricamente sindicada como la "Gran minería del cobre", debido a al gran volumen de sus operaciones de extracción y tratamiento. Sólo en 1955 esa denominación fue reglamentada por la Ley n° 11.828, para la producción de 25.000 toneladas métricas anuales de cobre, lo que más tarde, en 1965 aumentó a 75.000 toneladas métricas.

1.2. Nacionalización del Cobre

El Estado de Chile, a través de la Corporación del Cobre, adquirió en 1967 el 51% de las acciones de la Braden Copper Co. en el marco de la Chilenización del cobre iniciada por el gobierno de Eduardo Frei Montalva. Al mismo tiempo, el mineral pasó a manos de la Sociedad Minera El Teniente S.A. El proceso concluyó en 1971, con la Nacionalización del cobre en el gobierno de Salvador Allende, donde el Estado expropia la totalidad de las acciones de la Sociedad Minera.

En 1976, el mineral pasa a manos de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), lo que se mantiene hasta hoy.



Figura 1.1: Logo corporativo Codelco - Chile

1.3. Proceso general de extracción del yacimiento

El objetivo de este proceso es extraer la porción mineralizada con cobre y otros elementos desde el macizo rocoso de la mina y enviarla a la planta en forma eficiente y segura para ser sometida al proceso de obtención del cobre y otros elementos. Para ello, se debe lograr la

fragmentación de la roca, de manera que pueda ser removida de su posición original, cargar y transportar para ser procesada o depositada fuera de la mina como material suelto.

En la operación de una mina, intervienen varios equipos, cuyas acciones deben ser coordinadas para lograr una alta eficiencia y seguridad en la faena:

- Geología: Entrega la información de las características físicas, químicas y mineralógicas del material a extraer.
- Planificación: Elabora el “Plan Minero”, considerando todas las variables (operación, mantenimiento, costos, plazos, etc.) que intervienen en el proceso de producción.
- Operaciones: Realiza el movimiento de material en la mina (perforación, tronadura, carga y transporte).
- Mantenimiento: Se debe velar por la disponibilidad electromecánica de todos los equipos utilizados en la faena (perforadoras, palas, camiones, etc).
- Administración: Proporciona el apoyo en manejo de recursos humanos, adquisiciones, contratos, etc.

Además, participan estamentos asesores en materias de seguridad, medio ambiente y calidad, para lograr el cumplimiento de las normas correspondientes a un trabajo seguro, limpio y de calidad.

De acuerdo con la capacidad de operación establecida se ha determinado la mejor secuencia para extraer el mineral, compatibilizando las características de la operación con los resultados económicos proyectados para un largo período de tiempo. Esta secuencia se conoce como “Plan Minero” y el período en el cual se alcanza el agotamiento total de los recursos, es la vida útil de la mina. La extracción de la mina El Teniente está proyectada para los próximos 80 años.

El material existente bajo la ley de corte es considerado estéril si no contiene cobre, o mineral de baja ley si tiene algo de cobre que podría ser recuperado con otro procedimiento. Este material de baja ley en general es enviado a través de residuos líquidos por el Canal de Relaves para la posterior recuperación del poco cobre existente mediante una empresa externa.

1.4. Extracción subterránea del mineral

La extracción del material se realiza siguiendo una secuencia de las siguientes fases:

- Perforación.
- Tronadura.
- Carga.
- Transporte.

Un yacimiento se explota en forma subterránea cuando presenta una cubierta de material estéril de espesor tal, que su extracción desde la superficie resulta poco sustentable económicamente.

Los túneles y piques subterráneos se construyen mediante explosivos que se colocan en perforaciones efectuadas en la roca. Estas perforaciones están distribuidas siguiendo la forma que se le quiere dar a la mina subterránea y la tronadura se realiza en una secuencia, partiendo desde un punto central hacia los bordes.

Después de la tronadura, se extrae el material fragmentado y se estabilizan las paredes y techo del túnel. Para esto, se utiliza una fortificación adecuada para que cada tipo de terreno, que depende de sus características y del uso que se le va a dar al túnel, pique o rampa. Para evitar los derrumbes, las diferentes labores subterráneas deben ser sostenidas en el tiempo para permitir el tránsito, el trabajo del personal y el uso de los equipos subterráneos con seguridad.

A diferencia de la explotación a tajo abierto, una mina subterránea extrae el mineral desde abajo hacia arriba, utilizando lo más posible la fuerza de gravedad para producir la fragmentación y el desplazamiento del mineral hacia los puntos de carga. La otra diferencia importante es que en la mina subterránea no se extrae roca estéril, sino que debido a los altos costos que implica la construcción de túneles, la explotación se concentra preferentemente en las zonas de mineral. Es por lo anterior que la mina El Teniente se compone de muchas minas pequeñas en su interior para la mejor explotación del yacimiento.

Existe una variedad de métodos de explotación subterránea, pero el utilizado en la extracción de este yacimiento es el conocido como hundimiento por bloques. Éste consiste en provocar el desprendimiento de una porción del macizo rocoso del resto de la masa que lo rodea. Para ello y mediante el uso de explosivos, se socava la base de una columna de roca mineralizada, de manera que el resto de la columna se fragmente paulatinamente hacia arriba y se desplome hacia los puntos de extracción especialmente ubicados para captar la casi totalidad del material quebrado de la columna.

En general, los bloques tienen dimensiones entre 100 y 200 mts de altura y un área de base de 60 mts por 90 mts, lo cual implica entre 1.000.000 y 2.500.000 de toneladas por cada bloque. Cuando el hundimiento se produce en forma secuencial, por tajadas menores del bloque, se habla de método de hundimiento por paneles.

Los bloques de producción están agrupados de acuerdo a su ubicación dentro de la mina, constituyendo áreas de producción. Cada una de estas áreas cuenta con una red de túneles y piques que se distribuyen en diferentes niveles:

- Nivel de hundimiento: Corresponde al nivel en que se produce la socavación de la columna de mineral, que se logra haciendo una red de perforaciones hacia arriba que se disponen formando un abanico. En estas perforaciones se introducen explosivos, cuya tronadura produce la fragmentación total de la base del bloque hasta una cierta altura. Una vez retirado el material quebrado, el resto del macizo queda colgando hasta que se comienza a disgregarse por efecto gravitacional y produce el hundimiento paulatino del total de la columna.

- Nivel de producción: Corresponde al nivel de galerías desde las cuales es captado el mineral quebrado y traspasado hacia el siguiente nivel. Se sitúa entre 8 y 18 mts por debajo del anterior, con el cual está comunicado mediante piques que captan, en forma de embudos, el mineral desde el nivel de hundimiento. En el nivel de producción, el mineral es traspasado hacia el nivel de transporte situado más abajo mediante cargadores especiales llamados LHD. Éstos cargan el material, lo transportan y lo vierten en los piques de traspaso centralizados que lo conducen a las etapas siguientes.
- Subnivel de ventilación: Corresponde a una red de galerías que se ubican por debajo del nivel de producción. Éstas tienen por objeto conducir aire fresco, captado desde la superficie por grandes extractores, hacia los lugares donde se está trabajando y retirar el aire viciado para expulsarlo a la superficie.
- Niveles de traspaso: Corresponde a una serie de galerías y piques que permiten controlar el paso del mineral desde el nivel de producción hasta el nivel de transporte. En el caso de mineral grueso, este mineral es enviado al chancador primario, ubicado dentro de la mina, donde se reduce su tamaño para permitir su transporte final.
- Nivel de transporte: En este nivel circula el ferrocarril, en cuyos carros se carga el mineral para ser transportado hacia la planta ubicada en la superficie. Este es el túnel de mayor tamaño en la mina. Sus dimensiones son de 5 mts. de ancho por 6 mts. de alto. Durante la extracción, el mineral se mantiene en los piques de traspaso, los cuales se mantienen llenos. El mineral es vaciado a los carros mediante un sistema de cierre hidráulico, ubicado en la parte inferior de dichos piques, conocido como buzón. El ferrocarril es cargado en movimiento, de manera que la operación se realiza en forma continua. Cada carro transporta aproximadamente 80 toneladas y el tren completo es capaz de transportar unas 1.300 toneladas en cada viaje. Teniendo en cuenta que son 9 ferrocarriles y que cada uno de ellos realiza un viaje por cada turno (8 horas) se puede estimar la gran producción de cobre del yacimiento.

1.5. Proceso de Concentración

Este proceso se realiza en grandes instalaciones ubicadas en la superficie, formando lo que se conoce como planta, y que se ubica cerca de la mina en el parque industrial llamado Colón Alto y Colón Bajo, además de la conocida Fundición de Caletones. El proceso de concentración se divide en las siguientes fases:

1.5.1. Chancado

El mineral proveniente de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos mayores de 1 mt de diámetro, por lo que el objetivo del chancado es reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme máximo de ½ pulgada (1,27 cms). Para lograr este tamaño, en el proceso de chancado se utiliza la combinación de tres equipos en línea que van reduciendo el tamaño de los fragmentos en etapas, las que se conocen como etapa primaria, etapa secundaria y terciaria.

- *En la etapa primaria*, el chancador primario reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 8 pulgadas de diámetro.
- *En la etapa secundaria*, el tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.
- *En la etapa terciaria*, el material mineralizado logra llegar finalmente a ½ pulgada.

Los chancadores son equipos eléctricos de grandes dimensiones. En estos equipos, los elementos que trituran la roca mediante movimientos vibratorios están contruidos de una aleación especial de acero de alta resistencia. Los chancadores son alimentados por la parte superior y descargan el mineral chancado por su parte inferior a través de una abertura graduada de acuerdo al diámetro requerido. Todo el manejo del mineral en la planta se realiza mediante correas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina hasta la entrega del mineral

chancado a la etapa siguiente. El chancador primario es el de mayor tamaño considerando unos 16,5 mts de ancho por 22,5 mts de alto.

1.5.2. Molienda

Mediante la molienda, se continúa reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm), la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales de cobre en forma de partículas individuales.

El proceso de la molienda se realiza utilizando grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica, en dos formas diferentes: molienda convencional o molienda SAG. En esta etapa, al material mineralizado se le agregan agua en cantidades suficientes para formar un fluido lechoso y los reactivos necesarios para realizar el proceso siguiente que es la flotación.

- Molienda convencional: La molienda convencional se realiza en dos etapas, utilizando molino de barras y molino de bolas, respectivamente. En ambos molinos el mineral se mezcla con agua para lograr una molienda homogénea y eficiente.

Molienda de Barras: Este equipo tiene en su interior barras de acero de 3,5 pulgadas de diámetro que son los elementos de molienda. El molino gira con el material proveniente del chancador terciario, que llega continuamente por una correa transportadora. El material se va moliendo por la acción del movimiento de las barras que se encuentran libres y que caen sobre el mineral. El mineral molido continúa el proceso, pasando en línea al molino de bolas.

Molienda de Bolas: Este molino está ocupado en un 35% de su capacidad por bolas de acero de 3,5 pulgadas de diámetro, las cuales son los elementos de molienda. En un proceso de aproximadamente 20 minutos, el 80% del mineral es reducido a un tamaño máximo de 180 micrones.

- Molienda SAG: La instalación de un molino SAG constituye una innovación reciente en El Teniente. Los molinos SAG (Semiautógeno) son equipos de mayores dimensiones (11 mts de diámetro por 4,6 mts de ancho) y más eficientes que los anteriores. Gracias a su gran capacidad y eficiencia, acortan el proceso de chancado y molienda. El mineral se recibe directamente desde el chancador primario con un tamaño cercano a 8 pulgadas y se mezcla con agua y cal. Este material es reducido por la acción de numerosas bolas de acero, de 5 pulgadas de diámetro, que ocupan el 12% de su capacidad. Dado el tamaño y la forma del molino, estas bolas son lanzadas en caída libre cuando el molino gira, logrando un efecto conjunto de chancado y molienda más efectivo y con menor consumo de energía por lo que, al utilizar este equipo, no se requieren las etapas de chancado secundario ni terciario.

1.5.3. Flotación

La Flotación es un proceso físico-químico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original.

La pulpa proveniente de la molienda, que tiene ya incorporados los reactivos necesarios para la flotación, se introduce en unos receptáculos como piscinas, llamados celdas de flotación. Desde el fondo de las celdas, se hace burbujear aire y se mantiene la mezcla en constante agitación para que el proceso sea intensivo.

Luego de varios ciclos en que las burbujas rebasan el borde de las celdas, se obtiene el concentrado, en el cual el contenido de cobre ha sido aumentado desde valores del orden del 1% (originales en la roca) a un valor de hasta 31% de cobre total. El concentrado final es secado mediante filtros y llevado al proceso de Fundición.

1.6. Canal de Relaves

El Canal de Relaves lleva en su interior las descargas de residuos líquidos de División El Teniente. Esta obra civil que está destinada almacenar los relaves mineros, tiene unos 80 Kms de largo y cuenta con depósitos de relave operativos tales como el Tranque Barahona n° 2, Embalses Colihue y el más importante, el Embalse Carén, lago artificial ubicado en la sexta región formado por el tranque del mismo nombre que se ha formado sólo con la acumulación de relave.



Figura 1.2: Canal de Relaves División El Teniente

Podemos ver en la siguiente fotografía que el lago es claro como arena porque es relave que se va sedimentando en el fondo. Lo más interesante es que a las cercanías del muro de este tranque el agua se va clara y transparente, lo que pude comprobar personalmente; sin embargo, esto no quiere decir que se encuentre limpio. Antiguamente en el lugar donde hoy se encuentra el lago existían casas. Da cuenta de ello el poste de luz que asoma por la superficie.



Figura 1.3: Vista del lago que forma el relave

Aquí es donde el relave llega finalmente, después de un viaje de casi 80 Kms., desde la cordillera hasta este sector llamado Hacienda Loncha. Antes de desembocar en el lago, el Canal de Relaves pasa por un túnel de aproximadamente 9 Kms. de largo, demorándose en este trayecto 30 minutos. Todo lo que se ve en las fotografías es relave que se va juntando y se deposita por decantación. Este relave no se puede verter a ningún río, ya que es un contaminante que aún contiene material comercializable, es por esto que en la salida del lago se encuentra en construcción una planta de molibdeno para extraer este elemento de las aguas.

El muro del tranque que forma el lago, está planificado para tener 8 ó 10 etapas. Sin embargo, el relave aún no llega a esa capacidad. Sobre él existe un sistema de regadío que mantiene el pasto y que sirve para darle firmeza. Para tener una referencia de la altitud del muro basta con observar la sala de bombas que impulsa las aguas del sistema de regadío y que se encuentra a los pies de este, en la caseta blanca.



Figura 1.4: Muro de contención del Embalse Carén

1.7. Especificaciones del Canal de Relaves

El sistema de conducción de relaves está constituido por una canoa de hormigón armado y otras obras principales de sección rectangular de 1.4 mts de ancho por 1.2 mts de alto con una capacidad máxima de 3.5 metros³ / seg.

La unidad de conducción de relaves debe su existencia a la necesidad divisional de encausar los residuos líquidos generados por los procesos convencionales, molienda y flotación. Estos procesos utilizan una cantidad de agua alta, con lo cual se crea un gran volumen de residuos llamados RILES los que poseen una concentración de sólidos del orden de 28% a 30%. Este canal está construido en una gran extensión sobre una plataforma y en algunos tramos con caminos de servicio.

En su trayecto avanza, principalmente por cerros, valles y túneles, y sus obras más importantes son:

- Canoa (hormigón armado).
- Canaletas (acero revestido).
- Cascadas (hormigón armado).
- Túneles (excavación en Roca Viva).
- Cajas Disipadoras (hormigón armado).
- Puentes de Estructuras Metálicas y Cepas (hormigón armado).

No existe mapa ni plano alguno del Canal de Relaves desde su inicio en la mina El Teniente hasta la planta de Colón, tramo en el cual se centra este proyecto.

Este sistema de conducción de relaves también cuenta con varias cascadas o bajadas rápidas, que cumplen la misión de bajar la cota de altura, además de adecuar la conducción a las dificultades propias del terreno en que se encuentra emplazada.

Desde la Planta de Colón el sistema de conducción de relaves sigue el tramo que se observa a continuación:

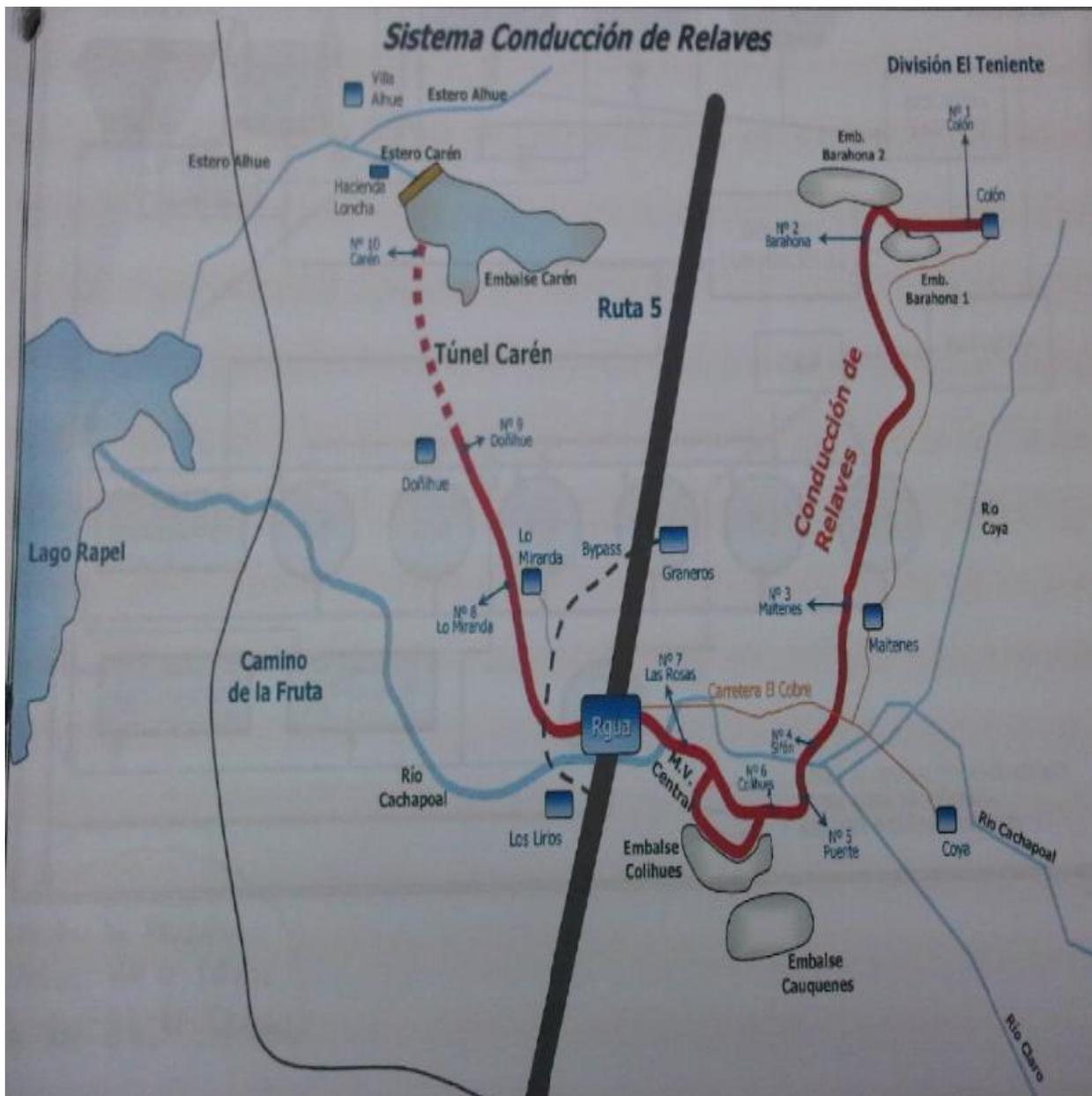


Figura 1.5: Sistema de conducción de relaves desde Colón a Embalse Carén

Algunas características de las cascadas las encontramos en la siguiente tabla:

Cascada N °	Largo (mts)	Pendiente Promedio	Elevación Superior	Elevación Inferior	Ubicación (Kms)
<i>1</i>	<i>631</i>	<i>20.85 %</i>	<i>1735.17</i>	<i>1614.87</i>	<i>4.5</i>
<i>2</i>	<i>700</i>	<i>39.09 %</i>	<i>1505.31</i>	<i>1252.65</i>	<i>12.5</i>
<i>3</i>	<i>39</i>	<i>37.62 %</i>	<i>1235.58</i>	<i>1222.25</i>	<i>14.2</i>
<i>4</i>	<i>230</i>	<i>37.94 %</i>	<i>1203.30</i>	<i>1118.83</i>	<i>16.0</i>
<i>5</i>	<i>129</i>	<i>23.85 %</i>	<i>1013.01</i>	<i>978.34</i>	<i>25.6</i>
<i>6</i>	<i>106</i>	<i>46.39 %</i>	<i>930.42</i>	<i>872.55</i>	<i>31.3</i>
<i>7</i>	<i>44</i>	<i>50.37 %</i>	<i>865.20</i>	<i>846.28</i>	<i>31.6</i>
<i>8</i>	<i>178</i>	<i>31.86 %</i>	<i>707.30</i>	<i>664.64</i>	<i>38.2</i>

Los túneles con los que cuenta el canal en su trayecto desde la Planta de Colón hasta su embalse, están realizados sobre roca viva, y son los siguientes:

Nombre	Largo (mts)	Ubicación (Kms)
<i>La Paula</i>	<i>444</i>	<i>17.2</i>
<i>Las Garzas</i>	<i>432</i>	<i>18.4</i>
<i>Lingue</i>	<i>500</i>	<i>29.3</i>
<i>Sauzal</i>	<i>463</i>	<i>29.8</i>
<i>Ballico</i>	<i>320</i>	<i>60.8</i>
<i>Puntilla</i>	<i>266</i>	<i>67.2</i>
<i>Tren – Tren</i>	<i>429</i>	<i>68.1</i>
<i>Rinconino</i>	<i>328</i>	<i>69.0</i>
<i>Doñihue</i>	<i>1940</i>	<i>73.6</i>
<i>Carén</i>	<i>9292</i>	<i>86.0</i>

Los puentes con que cuenta en toda su trayectoria el canal, son en su mayor parte de hormigón armado, salvo cuatro puentes que son de estructura metálica y que en su confección se emplearon módulos de acero revestidos en poliuretano y goma antiabrasiva. En definitiva tenemos:

- 10 túneles que suman aprox. 15 Kms.
- 4 puentes que suman aprox. 1.73 Kms.
- 10 cascadas que suman 2.44 Kms.

Por otro lado, se concluye que el largo del canal se divide en:

- 31 Kms. en la zona alta
- 49 Kms. en la zona baja

1.8. Telemetría en el Canal de Relaves

La Telemetría es una de las áreas de la ingeniería que está orientada a la medición de cualquier cantidad física, utilizando interfaces electrónicas que conectadas a través de alguna línea de transmisión ya sea un medio guiado o no guiado permiten enviar la información a un centro de gestión. Gracias a la Telemetría, la telegestión es posible en los procesos industriales porque a partir de estos datos transmitidos se puede realizar un procesamiento adecuado para obtener modelos estadísticos de comportamiento del sistema. En nuestro caso particular mediante el análisis del Canal de Relaves a través de su información, podemos mejorar cada vez más los procesos y esto conlleva un mejoramiento continuo dentro del desarrollo divisional productivo y tecnológico.

Por otro lado, la instrumentación es un campo de la ingeniería desarrollado para que todos los procesos, automatizados o no, funcionen de acuerdo con parametrizaciones, las cuales se basan en máquinas diseñadas por el hombre. Para entender la variación de los distintos fenómenos físicos dentro de un proceso y de acuerdo con ello tomar la posición preventiva dentro de un modelo de gestión. Codelco no es la excepción. Cuando se nombra la palabra instrumentación se relaciona con instrumentos de medida y se piensa en un aparato que tiene indicadores para

gestionar algo, pero gracias a los avances en programación se crea la instrumentación virtual, que permite al usuario visualizar ese panel del instrumento de medida mediante un modelo de simulación. Una máxima que me pareció sumamente interesante y que refleja claramente lo definido anteriormente: “Lo que no se puede medir no se puede controlar”.

En parte de este canal ya se han dispuesto sensores ultrasónicos, los cuales permiten el estudio de mediciones a distancia de distintas variables, entre ellas la más importante que es medir el nivel de material que transporta. Esta información es enviada de forma remota a una central ubicada en la ciudad de Rancagua. Por medio de un PLC 984 y la transmisión a través de un sistema de radio, el computador de la estación central con el software Scada Intouch se encarga de recopilar los datos de cada estación. Existe además un software nDVR a cargo de la visualización del grupo de cámaras dispuesta a lo largo del recorrido de la canal. Las mantenciones y revisiones a los sensores se deben realizar trimestralmente, cosa que no se hace siempre por el buen funcionamiento del sistema. Los sensores que entregan la información al sistema inalámbrico de transmisión al que está dirigido este proyecto están ubicados en la parte inicial del canal de relaves cerca de Sewell, ya que en ese tramo no existía hasta hoy un sistema capaz de medir debido a la complicada ubicación geográfica. Podemos ver en la siguiente imagen la sala de control de telemetría ubicada en Rancagua.



Figura 1.6: Sala de control de telemetría en Rancagua

Visualización de cámaras dispuestas a lo largo del canal:

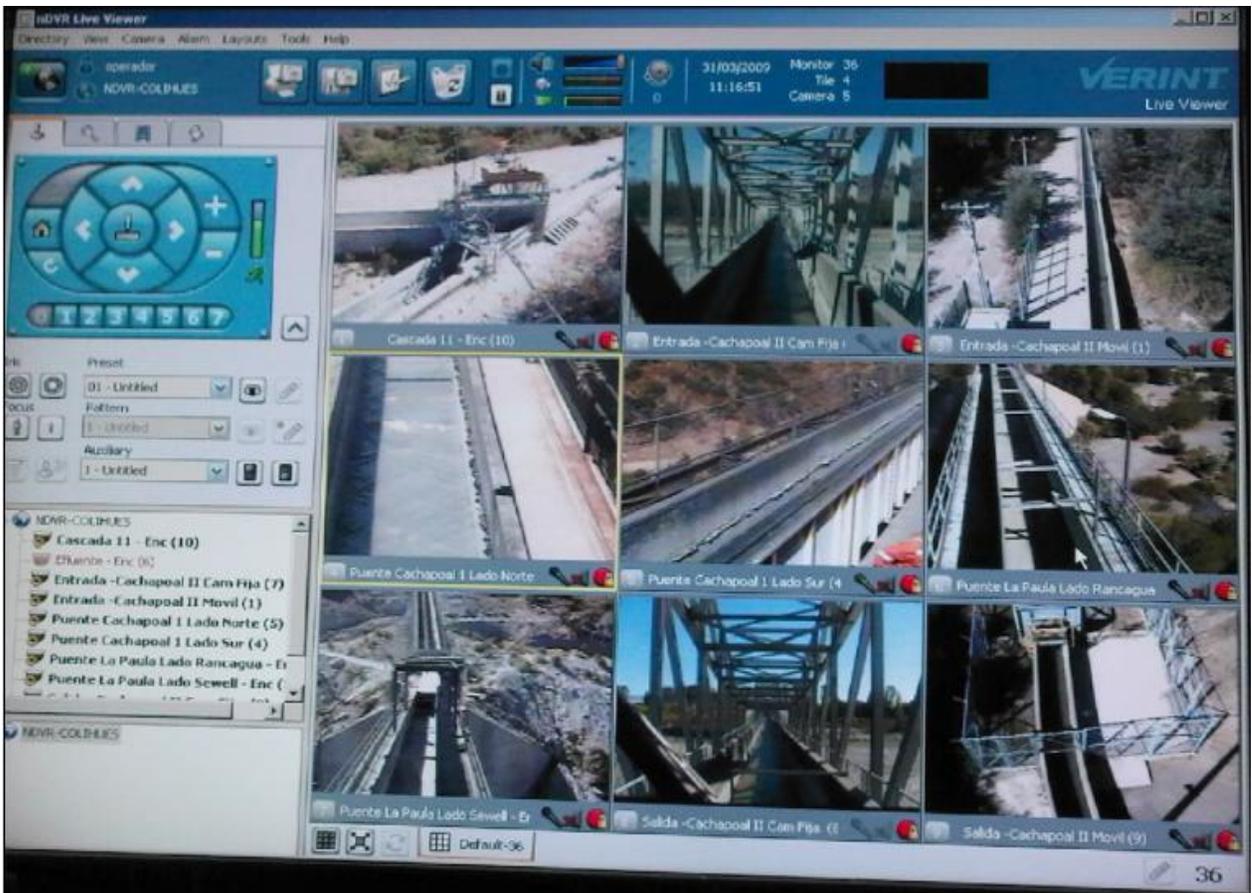


Figura 1.7: Vista del monitoreo de cámaras en el Canal de Relaves

- Al costado inferior izquierdo de la pantalla desplegada por el software podemos ver una lista de la cual escogemos la cámara a visualizar y la manera de hacerlo, ya sea como lo muestra la fotografía con 9 cámaras en un mismo momento o bien, ver una cantidad menor de cámaras lo que permite agrandar la imagen.
- Al costado izquierdo se encuentra desplegado un recuadro que contiene las distintas direcciones a las cuales puede ser apuntada la cámara que hemos elegido visualizar, además de la opción de aplicar zoom a la misma.

La etapa donde se centra este proyecto se encuentra al inicio de la canal, desde el kilómetro 0 hasta aproximadamente el kilómetro 8, trayecto en el cual circula el material proveniente de los procesos al interior de la mina hasta llegar a la Planta de Colón. Por los problemas geográficos no se ha llevado a cabo una inversión en lo que respecta al control del Canal de Relaves en este tramo, causando preocupación sobre todo en épocas de invierno donde el caudal sube por razones de nevazones y lluvia. El presente proyecto pretende ser una solución sustantiva y eficiente a la problemática presentada.

Capítulo 2

Proyecto de Telemetría

Este proyecto busca encontrar solución a la incertidumbre del nivel del material circulante por un sector comprendido entre la salida del canal desde la mina hasta el parque industrial de Colón Alto. Este tramo es de aproximadamente 8 Kms, donde no existen sistemas de medición debido a las condiciones del terreno que hacen dificultoso el acceso.

Por su parte, la Telemetría es una de las áreas de la ingeniería que está orientada a la medición de cualquier cantidad física, utilizando interfaces electrónicas que conectadas a través de alguna línea de transmisión ya sea por un medio guiado o no guiado permiten enviar la información a un centro de gestión. Es por lo anterior que se desea implementar un sistema de telemetría en base a sensores los cuales serán ubicados en puntos estratégicos del canal. Junto con esto se deberá proyectar una solución referente a la transferencia de estos datos hasta una central de monitoreo.

2.1. Ubicación de las distintas Estaciones

La central de monitoreo será ubicada en el sector CP1 Sewell, específicamente en Chancado, a una altura de 2253 mts sobre el nivel del mar, ya que es la ubicación que presenta mayor altitud; factor importante a la hora de proyectar la recepción de la señal enviada por las estaciones de monitoreo si pensamos en LOS. El acceso a CP1 y a las estaciones de monitoreo es muy dificultoso debido a la complejidad del terreno, sin embargo, se realizará mediante caminos de tierra en vehículos adaptados para el terreno.

Las estaciones de monitoreo serán ubicadas en los siguientes puntos definidos estratégicamente en el sector alto del Canal de Relaves de la División El teniente:

- Puente Rebolledo.
- Arroyo Hondo (lado Colón y lado Sewell).
- Weesapos (lado Colón y lado Sewell).

Las ubicaciones mencionadas han sido proyectadas tomando en cuenta razones de tipo geográficas y de curso del canal, esto en conjunto con la jefatura de TICA Sur (Gerencia corporativa de tecnologías de la información, comunicación y automatización).

El Departamento de Telecomunicación perteneciente a la División El Teniente, consta de tres dependencias las que están organizadas de la siguiente manera: Departamento de Telecomunicaciones sección Rancagua, la sección de Telecomunicaciones del Área Alta y por ultimo la sección de Telecomunicaciones de la Mina.



En la sección de Telecomunicaciones de Rancagua están ubicadas las dependencias centrales del área de Telecomunicaciones y es donde se tomaron las decisiones que a continuación se plantean en lo que respecta a ubicación de estaciones.

Dos de las estaciones contendrán dos sensores, esto debido a la existencia de puentes, por lo que es indispensable conocer el nivel del canal en ambas secciones, a la entrada y a la salida de trayecto. En este caso, la transmisión de datos de estos dos sensores se realizará mediante un solo nodo formado una sola estación de medida. En definitiva son tres las estaciones para el desarrollo del sistema de medición en la canal de relave además de la estación base quien es la que recibe los datos y los procesa. A continuación se especifica la ubicación de cada estación.

2.1.1. Estación Base CP1 Sewell

- Latitud : 34° 4' 59" S
- Longitud : 70° 22' 42" O
- Altura (snm) : 2253 Mts

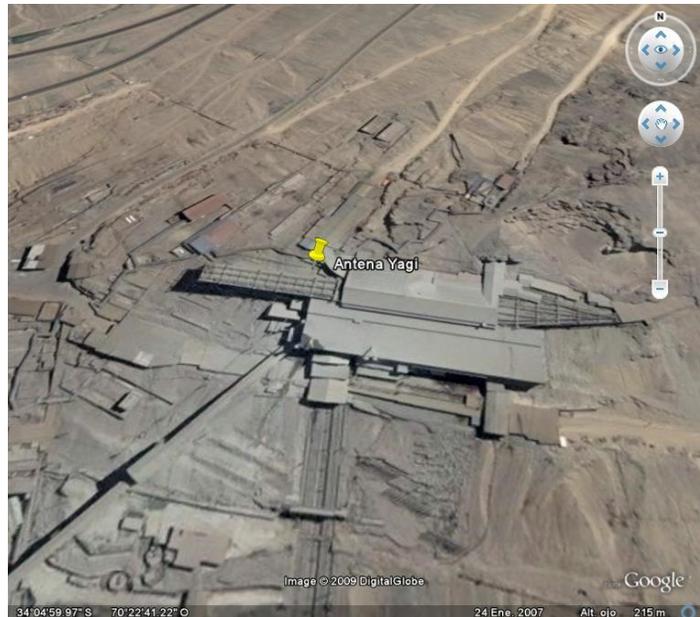


Figura 2.1: Vista mediante Google de CP1

CP1 será la estación base, estará enclavada específicamente en la parte superior de Sewell en chancado y la antena se ubicará donde está marcado el círculo, al costado del departamento Chancado Sewell.



Figura 2.2: Ubicación de la antena en CP1

2.1.2. Imágenes de Sector CP1



Figura 2.3: Vista desde Sewell CP1 hacia Rancagua

Se puede ver en la imagen que no existe línea vista entre Weesapos y Sewell, por otro lado, Arroyo Hondo se pierde en el cerro solo por unos metros por lo que no es problema si tenemos en cuenta el fenómeno de difracción que será detallado más adelante.



Figura 2.4: Vista de Sewell; en la parte superior se indica la localización de Chancado CP1 y de la antena.



Figura 2.5: Vista de Sewell y del sector mediante Google Earth; se puede ver en la parte superior el cerro que dificulta la línea vista con Weesapos que se encuentra marcada.



Figura 2.6: Revisando en terreno fiabilidad de establecer CP1 como central

2.1.3. Estación Puente Rebolledo:

- Latitud : 34° 4' 59.2" S
- Longitud : 70° 23' 5" O
- Altura (snm) : 2121 Mts

Figura 2.7: Vista mediante Google Earth de Estación en Puente Rebolledo



El sensor estará ubicado en un extremo del puente que lleva el Canal de Relaves. En la imagen inferior se puede ver la posición donde será instalada la antena de transmisión, esto, al costado de equipamiento de radiocomunicación trunking.



Figura 2.8: Ubicación de la antena en estación Puente Rebolledo

2.1.4. Estación Arroyo Hondo lado Sewell:

- Latitud : 34° 5' 19" S
- Longitud : 70° 24' 9" O
- Altura (snm) : 2066 Mts

2.1.5. Estación Arroyo Hondo lado Colón:

- Latitud : 34° 5' 18" S
- Longitud : 70° 24' 12.5" O
- Altura (snm) : 2066 Mts

Como se aprecia en la fotografía el acceso es más complicado ya que se encuentra entre cerros. Aquí se instalarán dos sensores: Uno (lado Sewell) a la entrada del caudal del Canal de Relaves y otro a la salida (lado Colón).

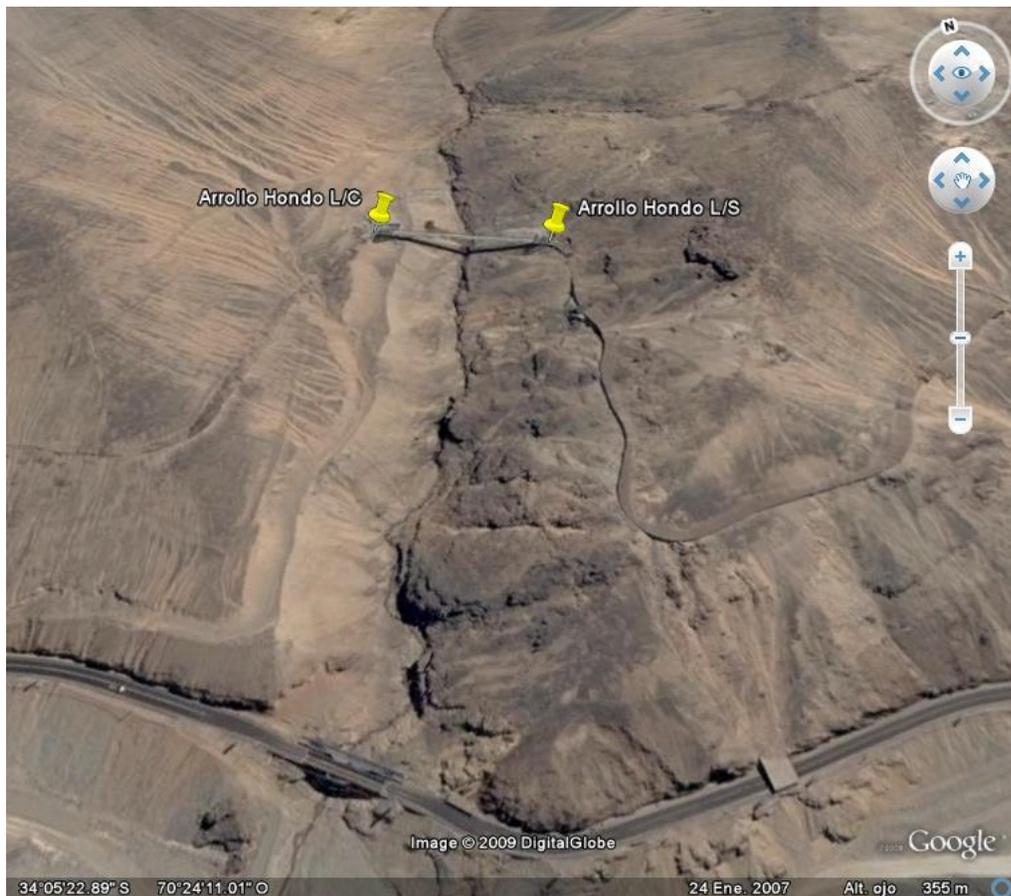


Figura 2.9: Vista mediante Google Earth de estación Arroyo Hondo

2.1.6. Estación Weesapos lado

Sewell:

- Latitud : 34° 5' 13,8" S
- Longitud : 70° 26' 23,27" O
- Altura (snm) : 1904 Mts

2.1.7. Estación Weesapos lado

Colón:

- Latitud : 34° 5' 12" S
- Longitud : 70° 26' 26" O
- Altura (snm) : 1902 Mts

Es la ubicación más complicada por estar entre cerros y no tener línea vista (LOS) con ninguna de los otros puntos de transmisión. Se instalarán, al igual que en Arroyo Hondo, dos sensores, uno (lado Sewell) a la entrada del caudal del Canal de Relaves y otro a la salida (lado Colón). Abajo vemos la fotografía del sector.



Figura 2.10: Vista mediante Google Earth de estación Weesapos

2.2. Distancia entre Puntos de Enlace

Las distancias a las que se encuentran las distintas estaciones las resumimos en la siguiente tabla. Es preciso decir que las distancias son en línea recta:

Desde	Hasta	Kms.
<i>Sewell</i>	<i>Puente Rebolledo</i>	<i>0.6</i>
<i>Puente Rebolledo</i>	<i>Arrollo hondo</i>	<i>1.8</i>
<i>Arrollo hondo</i>	<i>Weesapos</i>	<i>3.5</i>

Desde	Hasta	Kms.
<i>Sewell</i>	<i>Puente Rebolledo</i>	<i>0.6</i>
<i>Sewell</i>	<i>Arrollo hondo</i>	<i>2.35</i>
<i>Sewell</i>	<i>Weesapos</i>	<i>5.75</i>

2.3. Vista geográfica de los diferentes Puntos de Enlace.



Figura 2.11: Vista del conjunto de estaciones. Nótese el cerro que más adelante nos impedirá la comunicación con la estación Weesapos

2.4. Problemática

El problema radica en la transmisión de la señal desde la última estación en cuestión que es Weesapos, la cual se ubica a 1902 mts de altura y está ubicada entre cerros, un poco alejada del resto.

Entre Sewell, Puente rebolledo y Arrollo Hondo no existen cerros de gran envergadura, es decir, mayormente no hay obstáculos que puedan afectar las comunicaciones. Sin embargo, entre Weesapos y las demás estaciones de la red existe un cerro que podría no dejar pasar las ondas electromagnéticas enviadas por dicha estación.



Figura 2.12: Perspectiva desde lugar donde se instalará el sensor en Weesapos al costado Colón, se puede ver que no existe línea vista hacia Sewell.

Capítulo 3

Sensor Utilizado

3.1. Sensores Ultrasónicos

Un sensor ultrasónico emite un impulso acústico de alta frecuencia y de corta duración, el cual se propaga a la velocidad del sonido por el aire y al encontrar un objeto, es reflejado y vuelve un eco al sensor ultrasónico. Este sensor calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal acústica y la recepción de la señal de eco. Como la distancia hacia el objeto es medida por medio del tiempo de recorrido del sonido, y no por una medición de la intensidad, los sensores ultrasónicos son insensibles hacia el ruido de fondo. Prácticamente todos los materiales que reflejan el sonido son detectados, independientes de su color. Asimismo los sensores funcionan en ambientes adversos, polvorientos y no ven afectada su función al influir condiciones climáticas extremas. A continuación se mencionan algunas aplicaciones:

3.1.1. Sensor Ultrasónico como Sensor de Reflexión

Representa el método de funcionamiento clásico. Utiliza la ventaja de su insensibilidad hacia el ruido frente a otros tipos de sensores. La conmutación de salida es establecida en cuanto el objeto se encuentre por debajo de la distancia de conmutación ajustada. Este modo de funcionamiento es adecuado, por ejemplo, para contar objetos en una cinta transportadora o para efectuar controles de ausencia.

3.1.2. Sensor operando con Supresión del Primer Plano

Ignora, contrariamente a la operación con ventana, todas las señales de eco que se encuentren delante de la zona de conmutación ajustada. Eso permite suprimir pequeños ángulos que se hallan

dentro del primer plano de la zona de detección. Por ejemplo, en el caso de la medición del nivel de llenado de botellas, esto permite suprimir el cuello de la botella.

3.1.3. Sensores Ultrasónicos con conexión Bus.

Permiten la integración de sensores ultrasónicos en sistemas de bus de campo estandarizados. El valor correspondiente a la distancia medida es transferido al sistema de control en Bytes o en palabras.

3.1.4. Sensores Ultrasónicos como Barrera Monodireccional

Consiste en un emisor y un receptor ultrasónico uno frente al otro. La salida es activada cuando un objeto interrumpe el haz acústico. Comparada con la barrera ultrasónica bidireccional, ésta permite frecuencias de conmutación mayores.

3.1.5. Sensor Ultrasónico para detección de Doble Hoja

Opera como una barrera monodireccional, detectando dos o más hojas inadvertidas. El transmisor-receptor puede detectar papel, film plástico y hojas de metal delgadas. Las salidas están disponibles para la indicación de doble hoja o ausencia de ésta.

3.1.6. Sensor Ultrasónico para pequeños espacios

Sensor en una carcasa compacta de 20mm x 32mm x 12 mm. Posee un botón de auto ajuste que proporciona una forma fácil de ajustar la distancia de detección requerida. Además existe la posibilidad de trabajar en forma sincronizada sobre otros sensores.

3.1.7. Sensor Ultrasónico con salidas Análogas

Indican la distancia medida como tensión proporcional (0... 10 VDC) o como corriente proporcional a la distancia (4... 20mA). Los sensores analógicos también pueden ser combinados con un sistema de supresión de primer plano.

Esta última aplicación es la que utilizaremos en nuestro proyecto, ya que nuestro sensor ultrasónico captará a través del eco el nivel de caudal del Canal de Relaves, transformando esta señal en una corriente proporcional que en definitiva será quien nos entregue la medición.

3.2. Transmisor indicador de Nivel a utilizar

El control de nivel de fluidos que se propone permite contar con información actualizada, en forma automática y precisa, sobre el movimiento de los distintos fluidos dentro del Canal de Relaves del yacimiento de cobre El Teniente. Si bien las condiciones en el tanque donde se instale el sensor pueden afectar el funcionamiento, rango y precisión del sistema, se ha optado por utilizar el siguiente sensor debido a sus buenas cualidades y a la confianza que nos entrega su funcionamiento en otras faenas de la división:



Figura 3.1: LIT 25

El dispositivo utilizado es:

- Modelo: LIT25, en conjunto con el sensor PZ32T
- Marca: Greystone

3.3. Características del LIT 25

- El LIT 25 es ideal para medir el inventario o el nivel del líquido en un tanque o canal.
- El sensor estándar modelo PZ32T que viene con cada transmisor medidor de nivel incluye un sensor de temperatura.
- El LIT25 automáticamente compensa fluctuaciones de temperatura para mantener alta precisión en sus lecturas.
- A causa de que el sensor del LIT 25 opera en frecuencias altas, el ruido o vibración habitual del proceso no afectarán al sistema.
- El LIT 25 está construido con materiales muy durables y de amplias compatibilidades.
- Existe un sensor, hecho de teflón, disponible para aplicaciones de naturaleza corrosiva pero este no es el caso.

3.4. Referencias generales a la hora de utilizar El LIT 25

Las condiciones en el tanque donde se instale el sensor ultrasónico pueden afectar el funcionamiento, rango y precisión del sistema, por lo que hay que tener en cuenta los siguientes aspectos en la instalación de este equipamiento en el Canal de Relaves:

- Espuma: Superficies sólidas o densas tales como una superficie de líquido en estado tranquilo dan los mejores ecos en un sistema ultrasónico de medición de nivel. La espuma actúa como aislante del sonido y puede eliminar o reducir la potencia del eco. El rango de medición puede ser reducido en un sistema donde hay espuma. Los sensores ultrasónicos no se recomiendan si el líquido está siempre cubierto por una capa densa de espuma. Capas delgadas (0.5 pulg. o

menos) de espuma generalmente no interfieren con los sensores. En el caso del Canal de Relaves no existe espuma en los residuos de la cual debamos preocuparnos.

- Líquidos: El LIT 25 es ideal para medir el inventario o el nivel del líquido en el tanque. Líquidos que son cáusticos, corrosivos o muy viscosos se pueden medir sin tener que entrar en contacto con ellos.
- Sólidos: El LIT 25 mide la mayoría de los materiales granulares y polvos tan bien como mide los líquidos. Los polvos no producen generalmente ecos tan fuertes como los producidos por los líquidos. Por lo tanto, el rango máximo que se espera debe ser reducido a aproximadamente 6 mts para polvos. Hay muchas excepciones a la regla y la instalación de un sistema de prueba se recomienda cuando tenga dudas.
- Polvo: En silos donde hay altas concentraciones de polvo los sensores ultrasónicos pueden fallar. Si existen concentraciones moderadas de polvo se debe tener cuidado de montar el sensor de manera que la acumulación de polvo sea minimizada y para que el sensor se pueda limpiar cuando lo necesite.
- Temperatura del sensor: El sensor estándar modelo PZ32T que utilizaremos viene con un sensor de temperatura. El LIT 25 automáticamente compensa fluctuaciones de temperatura para mantener alta precisión en sus lecturas. Sin embargo, no debemos exceder los límites de temperatura del sensor o se dañará.
- Temperatura de las tarjetas electrónicas: Debemos tener presente las temperaturas adecuadas para el buen funcionamiento de las tarjetas electrónicas del sistema, ya que temperaturas más altas que el máximo permitido pueden reducir su vida útil. Por otro lado, demasiada humedad producto de temperaturas más bajas que las indicadas también pueden dañar los componentes electrónicos.

- Ruido: A causa de que el sensor del LIT 25 opera en frecuencias altas, el ruido o vibración habitual del proceso no afectarán al sistema. Sin embargo, sensores ultrasónicos instalados muy cerca el uno del otro en el mismo estanque pueden interferirse por lo que se deben separar.
- Vapor: Puede afectar el funcionamiento ya que puede llegar a producir ecos falsos dependiendo de la condensación de este vapor.
- Compatibilidad química: El LIT 25 está construido con materiales muy durables y de amplias compatibilidades. El contenido de los tanques se debe revisar para corroborar su compatibilidad con PVC, material con el que fue construido el sensor. Hay un sensor hecho de teflón disponible para aplicaciones de naturaleza corrosiva. Los residuos producidos por el tratamiento del cobre no presenta químicos dañinos ni incompatibles con el PVC.

3.5. Alimentación

Los Transmisores Indicadores de Nivel LIT 25 pueden ser pedidos de la fábrica ya configurados para entrada de 12 VDC o para 24 VDC. En este caso se requerirá la configuración de entrada para 12 VDC. Se utilizarán fuentes de poder marca Astron disponibles en bodegas de la División.



Figura 3.2: Fuente de poder Astron

3.6. Prueba rápida en blanco

Para probar el correcto funcionamiento del sensor debemos realizar una prueba rápida. Conectamos el sensor como se muestra en el diagrama de abajo y alimentamos la entrada. La conexión correcta se indica con un leve sonido seco en el sensor y algunas cifras que parecen en la pantalla LCD. La prueba de funcionamiento del LIT 25 se hace tomando el sensor fijamente y apuntándolo a un blanco inmóvil y de superficie plana, colocado a una distancia de entre 12" a 28" (305 a 711mm) del extremo del sensor. La prueba se realizó en un tanque de agua de un metro de altura, en el cual se instaló el sensor a una distancia exacta de 15" del agua. Dejé pasar algunos segundos para que el LIT25 pueda enfocar el objetivo y mostrar su distancia. El LIT25 mostró el rango (distancia) en centímetros y su lectura coincidió con la distancia dispuesta previamente entre el sensor y el líquido.

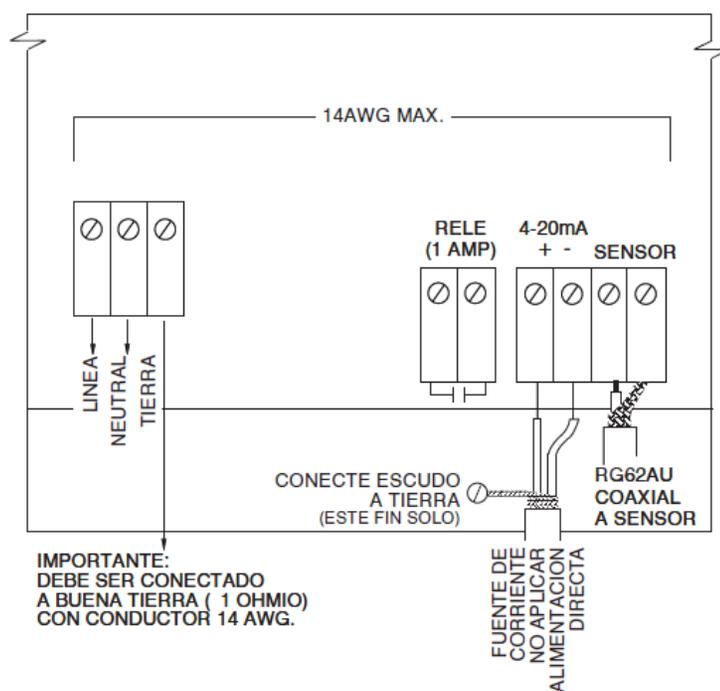


Figura 3.3: Prueba rápida en blanco

3.7. Sistema de Calibración

El LIT 25 tiene un sistema de calibración simple de 2 botones. Los modos de operación y calibración se muestran en la pantalla alfanumérica de 4 dígitos. El teclado se usa para calibrar el LIT 25 y para revisar la modalidad de operación y las funciones.

Dentro de las opciones a calibrar se encuentran:

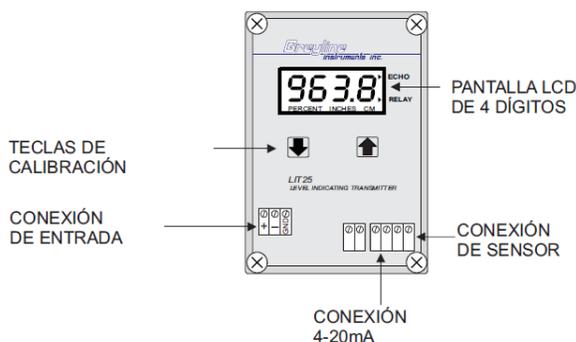


Figura 3.4: Calibración del LIT25

Existe un sistema de menú del LIT25 mediante el cual se puede cambiar la configuración del transmisor. En modalidad normal podemos visualizar la siguiente pantalla:

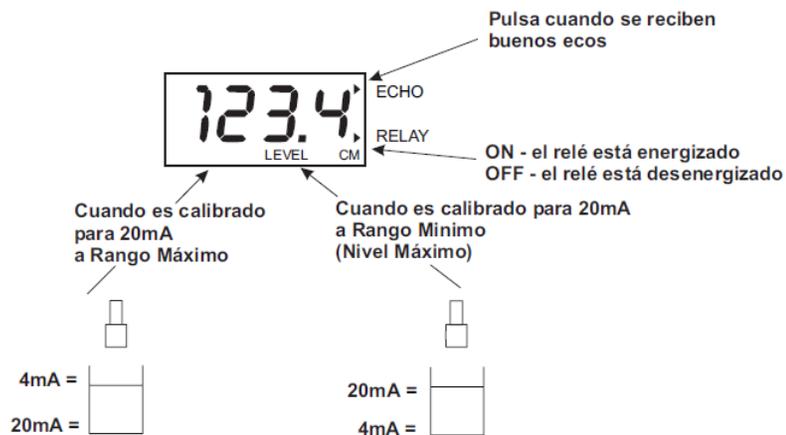


Figura 3.5: Modalidad normal de calibración

3.8. Calibración 4mA y calibración 20mA

Podemos calibrar el LIT 25 para realizar la lectura de nivel de dos diferentes formas. La primera forma de medir el nivel es haciendo coincidir el fondo del tanque con los 4mA y la parte superior con los 20 mA. Por el contrario, la segunda manera es calibrarlo de manera inversa que es como se deberá calibrar en este proyecto. En la siguiente imagen se visualizan las dos opciones, calibración de Nivel o Rango.

El espacio mínimo en el que puede fluctuar la medición es de: 2 pulgadas / 5 cm.

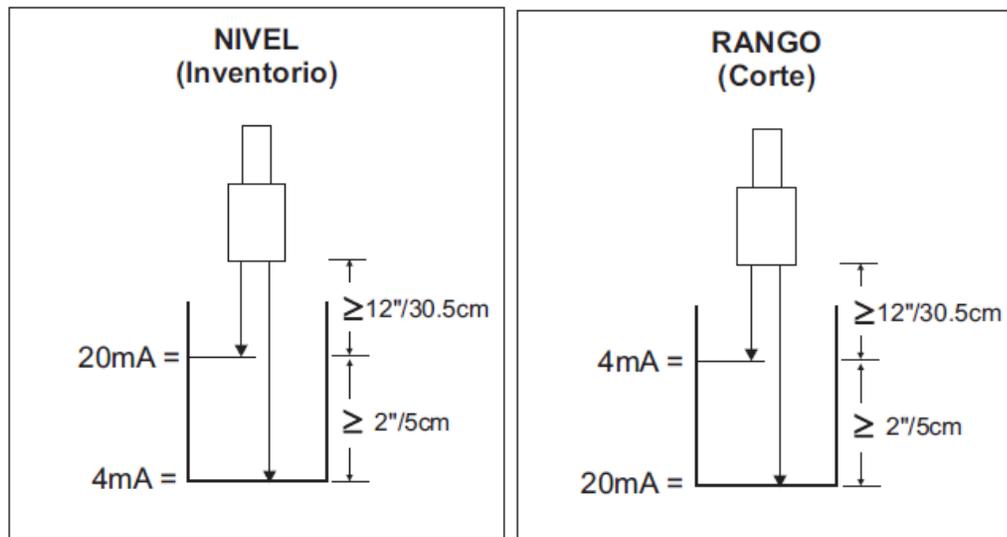


Figura 3.6: Lecturas de nivel

3.9. Montaje del Sensor PZ32T

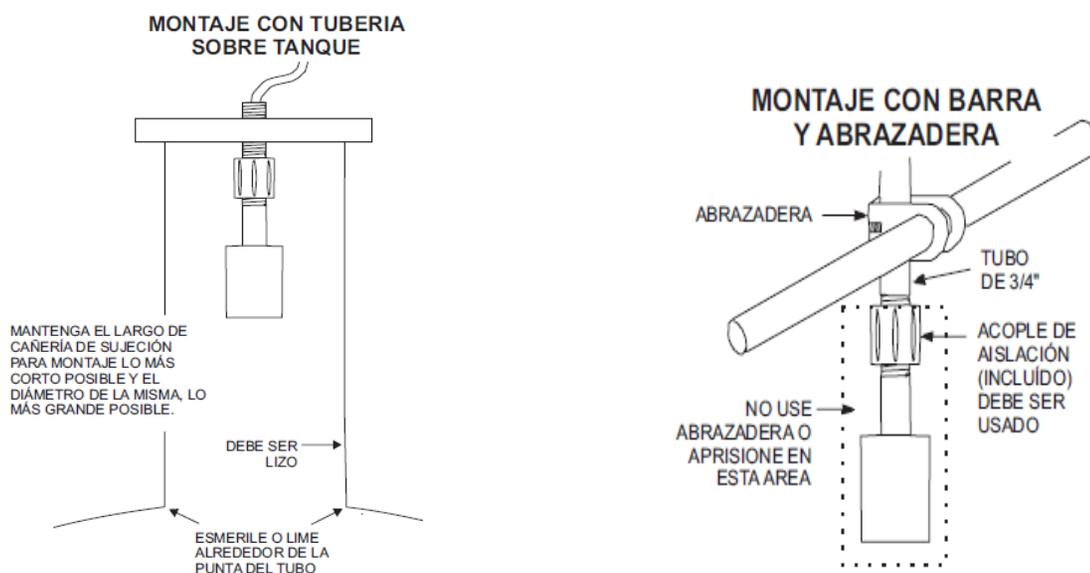
Cada sensor viene equipado con un acople de aislación de 3/4" de pulgada, El cual debe ser utilizado en la instalación del sensor. Un adaptador hilado o una extensión de conducto porta cables (conduit) se debe utilizar para aislar el cable en el trayecto de instalación al costado del canal de Relaves. El sensor debe ser apretado manualmente girando solamente su vástago. No se

debe utilizar llaves mecánicas ni sujetar el sensor con abrazaderas debajo del acople de aislación. El sensor PZ32T estándar debe estar montado a 12" (30.48 cms) ó más sobre el máximo nivel de líquido. Se debe localizar el sensor a 30 cms desde la muralla lateral y en lo posible de debe montar en un lugar donde no llegue directamente la luz solar. Finalmente se debe extender el cable del sensor hasta 150 mts sólo con cable coaxial RG62AU. Debido a lo anterior es que aconseja la construcción de un pequeño techo protector para los sensores.

3.10. Características del Coaxial RG62AU

- Tipo de cable: Alta frecuencia
- Material aislamiento primario: PE
- Diseño del conductor: 1 / 0.64 mm
- Material conductor: Acero revestido de cobre
- Diámetro exterior: 6.15 mm
- Capacidad: 47.6 pF/m
- Impedancia: 93 Ohm
- Temperatura de operación máx.: 85 °C
- Temperatura de operación mín.: -40 °C

3.11. Opciones a la hora de montar el Sensor



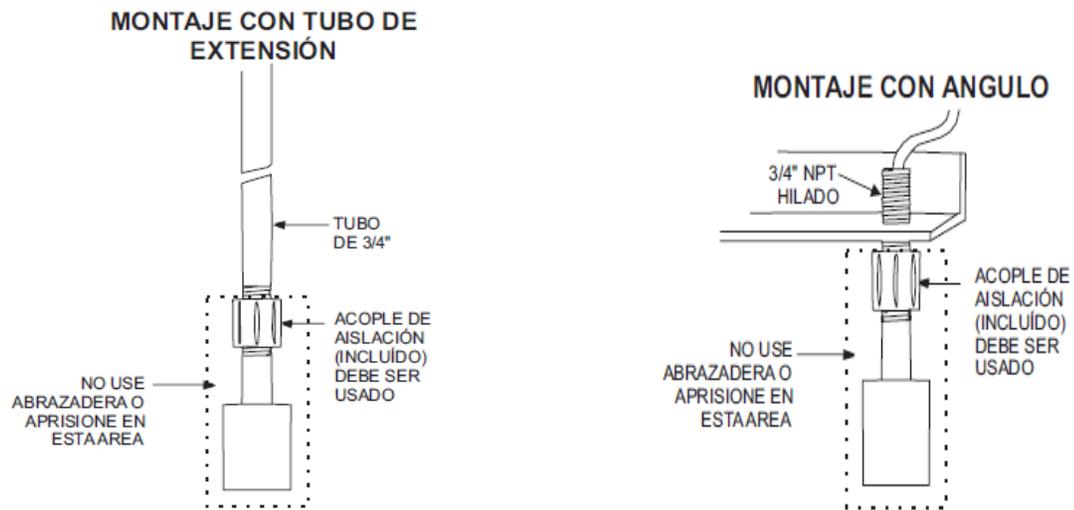


Figura 3.7: Tipos de montaje del sensor

El montaje con Flanche es la opción elegida para el montaje del sensor en el Canal de Relaves. Esto por ser la manera más fácil de implementar nuestro proyecto en terreno.

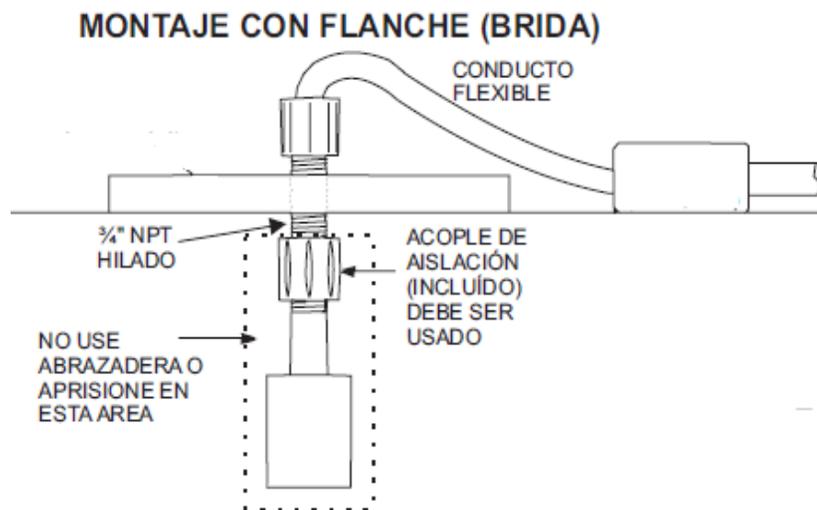


Figura 3.8: Montaje con Flanche

3.12. Instalación y localización del Sensor

Cada transmisor de nivel LIT 25 incluye un sensor ultrasónico del tipo sin contacto. El sensor debe ser instalado de manera que pueda recibir ecos del líquido o material que se está midiendo sin obstrucción alguna. Ubicamos el sensor lejos de tuberías, escalerillas, o componentes cuya estructura puedan causar ecos falsos.

A continuación se grafican las formas correctas e incorrectas de instalación del sensor PZ32T:

Forma Incorrecta *Forma Correcta*

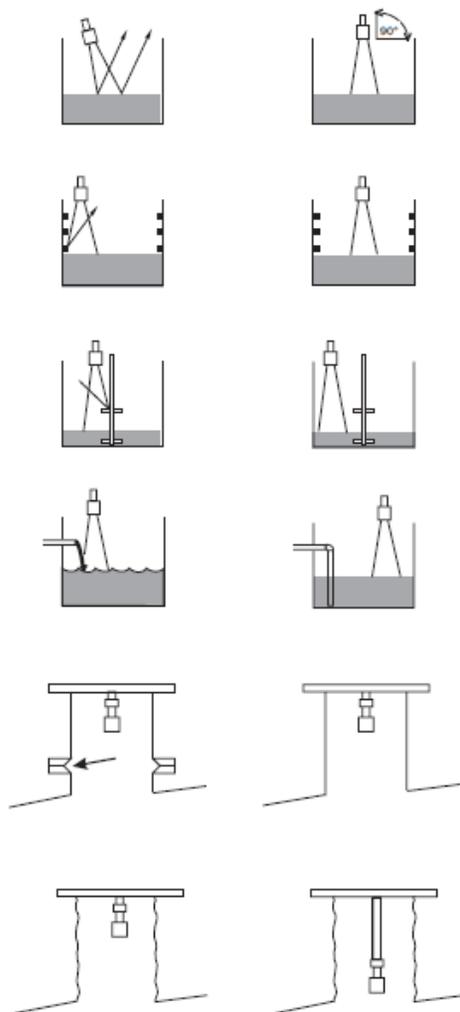


Figura 3.9: Formas correctas e incorrectas de instalación del sensor PZ32T

3.13. Sensor PZ32T en el caso de Sólidos y Polvos

El Sensor debe ser montado alejado desde la caída de material. Sólidos gruesos comúnmente retornarán un eco aún cuando estén en un ángulo. Polvos finos podrían necesitar que el sensor caiga normal dentro del estanque para que la superficie a medir retorne buena calidad de ecos. Este es un aspecto que no influye en el proyecto.

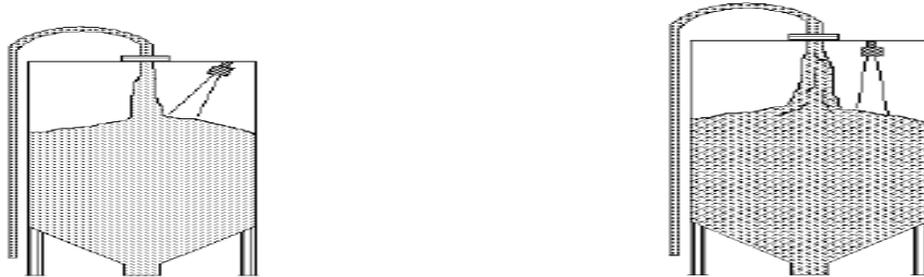


Figura 3.10: Montaje del sensor en caso de polvos

3.14. Errores en la aplicación del sistema

El LIT 25 tiene la capacidad de mostrar distintos síntomas en la pantalla LCD a la hora de ocurrir algún error. A través de estos indicadores de error es posible solucionar el problema específico que afecta el correcto funcionamiento del sensor. Algunos de los errores que se pueden suscitar en el funcionamiento son:

- El sensor no está apuntando correctamente.
- El sensor se encuentra muy bajo.
- Aplicar temperaturas fuera del rango permitido.
- Acumulación de polvo en el sensor.
- Otro sensor ultrasónico cerca.
- Conexiones de cables de sensor invertidas.
- Cable demasiado largo (recordar que el máximo es de 150 mts.).
- Ubicación cercana a motores muy grandes y de alto voltaje.
- Programación incorrecta.

3.15. Ejemplo de mensajes preventivos de Error

ECHO ↔ **LOSS**

No se ha recibido ningún eco válido por 20 segundos.

Err. → **bAd** → **SPAn**

Calibración ilegal, ya que la distancia entre los 20 mA y los 4 mA debe ser mayor de 2 pulgadas (5cms).

Err. → **ECHO** → **Too** → **CLoS**

Esto nos indica que el objetivo esta sobre el nivel máximo calibrado, es decir, demasiado cerca del sensor.

-or-

Indica que el objetivo esta más lejos que la distancia máxima calibrada.

EEEE

Esto nos indica que el LIT25 ha experimentado interferencia eléctrica lo suficientemente fuerte como para corromper la memoria del instrumento, por lo tanto, el equipo debe ser recalibrado.

3.16. Especificaciones técnicas LIT 25

Caja para los Componentes Electrónicos: NEMA4X (IP67), a prueba de agua y polvo, hecha de fibra de vidrio con cubierta Lexan transparente e inestillable.

Precisión: $\pm 0.25\%$ F.S., **Abilidad de Repetición:** $\pm 0.1\%$ F.S., **Linealidad:** $\pm 0.1\%$ F.S.

Visualizador: 3/4" / 19 mm de alto, LCD de 4 dígitos

Programador: Seleccionador de menú de 2 botones. Los parámetros de la calibración son permanentes si se memorizan (aún después de interrupciones de energía).

Entrada de Energía: 100 - 130 VAC 50/60 Hz. máximo de 5 vatios. Opcional: 200-250 VAC 50-60 Hz, o 24 VDC. Fusible: interno de 0.5 A

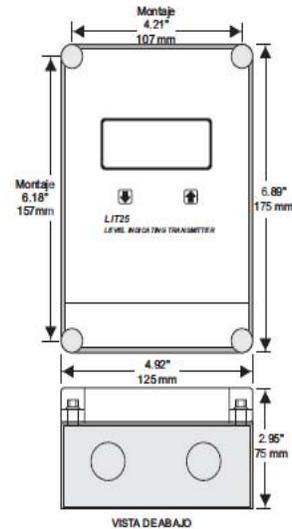
Salida: Aislada de 4-20mA, máxima carga de 1000 ohms.

Señal de Relé: uno, clasificados de 120 / 240 VAC o 24 VDC, 1 amperio.

Compensación de Temperatura: Automática, sonda de temperatura incluida con el sensor de nivel.

Protección Contra Sobrecargas: Sensor, 4-20 mA, entrada de energía AC

Temperatura de Operación (elementos electrónicos): de -13° a 140°F (-25° a 60°C).



3.17. Especificaciones técnicas Sensor PZ32T

Rango Máximo: 32 pies (10 m).

Banda Muerta: (blanking): Programable, mínimo de 12" (305mm)

Angulo de Viga: 8°

Frecuencia de Operación: 42 KHz

Materiales Expuestos: PVC y teflón

Temperatura de Operación: -40° a 150°F (-40° a 65°C)

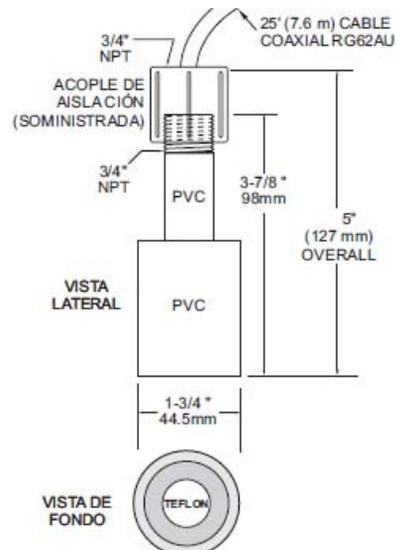
Presión de Operación: 20 psi (1.35 Bar) máximo.

Montaje: 3/4" NPT (acople de aislación PVC incluido)

Cable del Sensor: coaxial RG62AU, 25 pies (7.6 m) longitud estándar

La Longitud Máxima del Cable: 500 pies (152 m) coaxial RG62AU

Clasificación Peligrosa: con barrera de seguridad intrínseca opcional: CSA, Clase I,II,III, Div. I,II, Grupos C, D, E, F y G



Capítulo 4

Conceptos Importantes

4.1. Medios de transmisión

Es importante detenernos en este punto e interiorizarnos sobre las diferentes posibilidades a la hora de analizar el envío de los datos sensados.



Emisor

Receptor

Entre los medios de transmisión habrá medios guiados y no guiados. La diferencia radica que en los medios guiados el canal por el que se transmite las señales son medios físicos, es decir, por medio de un cable; y en los medios no guiados no son medios físicos, sino a través del aire.

4.2. Medios Guiados

Los medios de transmisión guiados están constituidos por un cable que se encarga de la conducción de las señales desde un extremo al otro. Las principales características de los medios guiados son:

- El tipo de conductor utilizado.
- La velocidad máxima de transmisión.
- Las distancias máximas que puede ofrecer entre repetidores.
- La inmunidad frente a interferencias electromagnéticas.

- La facilidad de instalación y
- La capacidad de soportar diferentes tecnologías de nivel de enlace.

La velocidad de transmisión depende directamente de la distancia entre los terminales, y de si el medio se utiliza para realizar un enlace punto a punto o un enlace multipunto. Debido a esto los diferentes medios de transmisión tendrán diferentes velocidades de conexión que se adaptarán a utilidades muy dispares.

- Alambre: Se uso antes de la aparición de los demás tipos de cables.
- Fibra óptica: Es el mejor medio físico disponible gracias a su velocidad y su ancho de banda, pero su inconveniente es su costo, aunque cada día es más utilizado en la división.
- Par trenzado: Es el medio más usado debido a su comodidad de instalación y a su precio.
- Coaxial: Es el medio mas utilizado en empresas como Codelco por su costo y por su buen rendimiento.

Medio de transmisión	Razón de datos total	Ancho de banda	Separación entre repetidores
<i>Par trenzado</i>	<i>4 Mbps</i>	<i>3 Mhz</i>	<i>2 a 10 Kms</i>
<i>Cable coaxial</i>	<i>500 Mbps</i>	<i>350 Mhz</i>	<i>1 a 10 Kms</i>
<i>Fibra óptica</i>	<i>2 Gbps</i>	<i>2 GHz</i>	<i>10 a 100 Kms</i>

Cabe destacar que hay una gran cantidad de cables de diferentes características que tienen diversas utilidades en el mundo de las comunicaciones. En nuestro caso se utilizará cable coaxial, el cual se definirá más adelante.

4.3. Medios No guiados

Los medios de transmisión no guiados son los que no confinan las señales mediante ningún tipo de cable, sino que las señales se propagan libremente a través del medio. Entre los medios más importantes se encuentran el aire y el vacío.

Tanto la transmisión como la recepción de información se llevan a cabo mediante antenas. A la hora de transmitir, la antena irradia energía electromagnética en el medio. Por el contrario en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. La configuración para las transmisiones no guiadas puede ser direccional y omnidireccional.

- *En la direccional*, la antena transmisora emite la energía electromagnética concentrándola en un haz, por lo que las antenas emisora y receptora deben estar alineadas. Generalmente, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.
- *En la omnidireccional*, la radiación se hace de manera dispersa, emitiendo en todas direcciones pudiendo la señal ser recibida por varias antenas.

La transmisión de datos a través de medios no guiados, añade problemas adicionales provocados por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio. Resultando más importante el espectro de frecuencias de la señal transmitida que el propio medio de transmisión en sí mismo.

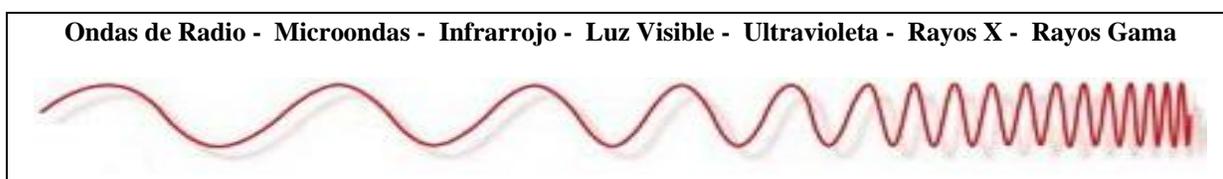
Las frecuencias se miden en Hertzios; utilizándose en telecomunicaciones los siguientes múltiplos de esta medida para las frecuencias de radio:

Múltiplo	Abreviación	Hertz	También Denominado
<i>KiloHertz</i>	<i>KHz</i>	<i>1000 Hz</i>	<i>Kilociclos (Kc/s)</i>
<i>MegaHertz</i>	<i>MHz</i>	<i>1000 KHz</i>	<i>Megaciclos (Mc/s)</i>
<i>GigaHertz</i>	<i>GHz</i>	<i>1000 MHz</i>	<i>Gigaciclos (Gc/s)</i>

Por su parte la Longitud de Onda se mide en mts, centímetros o milímetros. La relación entre la frecuencia y amplitud es inversa y la relación entre ambas se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$Frecuencia(KHz) = \frac{300000}{LongituddeOnda(mts)}$$

Ciertamente el espectro de frecuencias tiene un rango mucho más amplio de lo que puede detectar el ojo humano. En orden de aumento de frecuencia (y disminución de longitud de onda), el espectro electromagnético incluye:



Podemos concluir que las transmisiones no guiadas que se utilizarán en este proyecto se ubican en el rango del espectro radioeléctrico (Ondas de Radio), exactamente en el rango de las frecuencias muy altas (VHF). El espectro radioeléctrico se subdivide según las frecuencias en:

Sigla	Denominación	Longitud de Onda	Gama de Frecuencias	Características	Uso Típico
VLF	Very Low Frecuencias (Frecuencias muy bajas)	<i>30000 m a 10000 m</i>	<i>10 KHz a 30 KHz</i>	Propagación por onda de tierra, atenuación débil.	Enlaces de radio a gran distancia
LF	Low Frecuencias (Frecuencias bajas)	<i>10000 m a 1000 m</i>	<i>30 KHz a 300 KHz</i>	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia
MF	Médium Frecuencias (Frecuencias medias)	<i>1000 m a 100 m</i>	<i>300 KHz a 3 MHz</i>	Presenta una absorción elevada durante el día, propagación ionosférica durante la noche	Radiodifusión

HF	High frecuencies (Frecuencias Altas)	<i>100 m a 10 m</i>	<i>3 MHz a 30 MHz</i>	Propagación ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y noche	Comunicaciones de todo tipo a media y largas distancias
VHF	Very High Frecuencias (Frecuencias muy Altas)	<i>10 m a 1 m</i>	<i>30 MHz a 300 MHz</i>	Propagación directa, esporádicamente propagación ionosférica o troposférica	Enlaces de radio a corta distancia, televisión, frecuencia modulada
UHF	Ultra High Frecuencias (Frecuencias ultra Altas)	<i>1m a 10 cms</i>	<i>300 MHz a 3 GHz</i>	Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales	Enlaces de radio, radar, ayuda a la navegación aérea y televisión
SHF	Super High frecuencies (Frecuencias super Altas)	<i>10 cms a 1 cm</i>	<i>3 GHz a 30 GHz</i>	Como la anterior	Radar, enlaces de radio
EHF	Extra High Frecuencias (Frecuencias extra Altas)	<i>1 cm a 1 mm</i>	<i>30 GHz a 300 GHz</i>	Como la anterior	Como la anterior
EHF	Extra High Frecuencias (Frecuencias extra Altas)	<i>1 mm a 0.1 mm</i>	<i>300 GHz a 3000 GHz</i>	Como la anterior	Como la anterior

4.4. Medios de transmisión según su sentido

4.4.1. Simplex

Este modo de transmisión permite que la información circule en un solo sentido y de forma permanente, con esta fórmula es difícil la corrección de errores causados por deficiencias de línea.

4.4.2. Half-Duplex

En este modo la transmisión fluye cada vez, sólo una de las dos estaciones del enlace punto a punto puede transmitir. Este método también se denomina en dos sentidos alternos.

4.4.3. Full-Duplex

Es el método de comunicación más aconsejable puesto que en todo momento la comunicación puede ser en dos sentidos posibles, es decir, que las dos estaciones simultáneamente pueden enviar y recibir datos y así pueden corregir los errores de manera instantánea y permanente.

Tomando en consideración lo establecido en párrafos anteriores se puede definir la comunicación entre las estaciones mediante un medio no guiado, en definitiva, mediante un enlace VHF centrado en la frecuencia *165,300 MHz* para transmisión y recepción. Lo anterior debido básicamente a las características técnicas tanto del equipo Transceptor como de la antena que deseamos utilizar y que se detallará más adelante, ya que ambos coinciden en el rango de frecuencia que va desde los 146 a los 174 MHz. Por lo tanto, se considera óptima una frecuencia de trabajo que opere dentro de este rango, ya que si se elige otra que se encuentre fuera de este margen, no se garantizaría el correcto funcionamiento y desempeño de la antena direccional elegida. Asimismo, esta frecuencia se encuentra fuera del rango de aficionados (Rango aficionados 144-148 MHz)

Si bien los enlaces VHF han sido diseñados para transmitir en LOS (Línea Vista), en este caso es necesario diseñar la transmisión a través de una antena con lóbulo amplio para poder hacer frente a los obstáculos geográficos como lo son los grandes cerros en el sector. Es importante tener en cuenta fenómenos como Fresnel y difracción para poder transmitir la señal de buena manera.

4.5. Fenómenos físicos que influyen

4.5.1. Difracción

Es importante explicar que el fenómeno que permite que en ocasiones llegue una señal de un lugar a otro donde no existe línea vista se le denomina Difracción. La Difracción es un fenómeno característico de las ondas que consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo. Se produce cuando la longitud de onda es mayor que las dimensiones del objeto, por tanto, los efectos de la difracción disminuyen hasta hacerse indetectables a medida que el tamaño del objeto aumenta comparado con la longitud de onda. Cuando entre el emisor y el receptor se encuentra una montaña o cordillera, puede ocurrir que las ondas modifiquen su trayectoria debido a la naturaleza del terreno (temperatura, humedad, etc.), consiguiéndose incluso, niveles de ganancia, en lugar de atenuaciones. En definitiva, cuando un obstáculo está ubicado entre el transmisor y el receptor sigue pasando un poco de energía a través de este obstáculo gracias al fenómeno de difracción en el borde superior del obstáculo. Cuanto más alta la frecuencia de la transmisión más alta será la pérdida. Es por eso que en este enlace se pretende trabajar con una frecuencia VHF de 165,300 MHz.

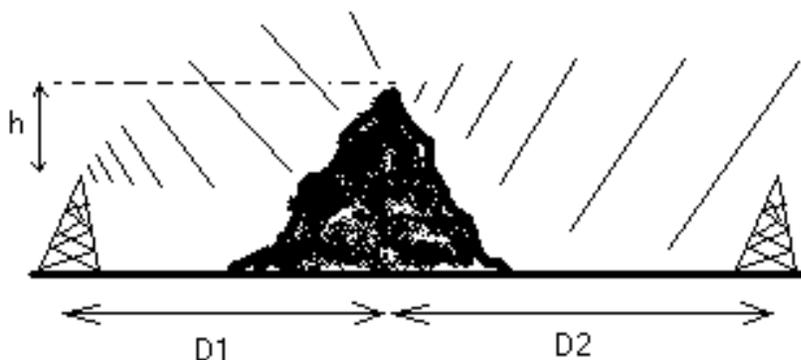


Figura 4.1: Esquema del fenómeno de Difracción

4.5.2. Fresnel

Por otro lado, tanto en óptica como en comunicaciones por radio o inalámbricas, la *Zona de Fresnel* es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas. Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibido, que es lo que ocurre en nuestra estación Weesapos, ya que el obstáculo no permite línea vista tapando por completo la primera zona de Fresnel.

En la óptica y comunicaciones por radio, una zona de Fresnel, es uno de los elipsoides de revolución concéntricos teóricamente infinitos que definen volúmenes en el patrón de radiación de la abertura circular. Fresnel divide resultado en zonas de la difracción por la abertura circular.

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares en la sección transversal y concéntricas con las primeras. El concepto de las zonas de Fresnel se puede también utilizar para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de una antena de radio. Esta zona se debe determinar primero, para mantenerla libre de obstrucciones. La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20 %.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF, que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Entonces la zona que rodea el *RF LoS* es la zona de Fresnel. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace.

En este punto, el radio r se puede calcular como sigue:

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

r = radio en metros (m).

d = distancia en kilómetros (Km.).

f = frecuencia transmitida en Megahertz (MHz).

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}}$$

r_n = radio de la n -ésima zona de Fresnel.

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en Km.

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en Km.

d = distancia total del enlace en Km.

f = frecuencia en MHz.

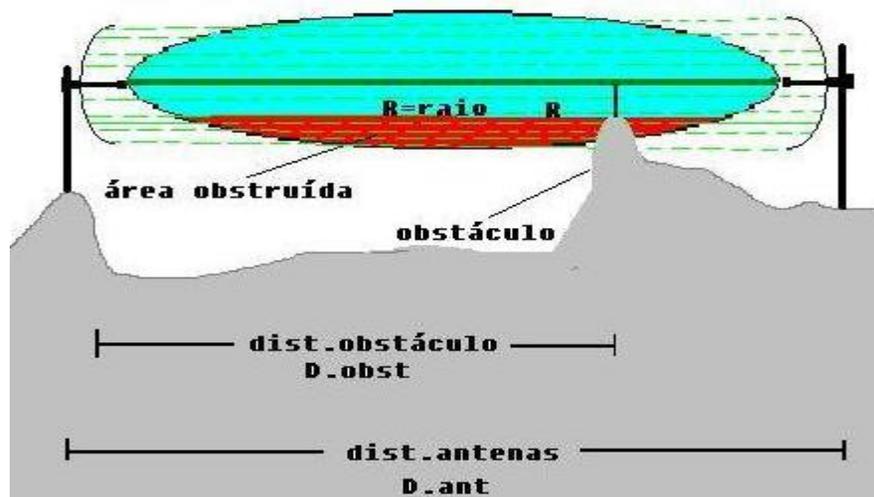


Figura 4.2: Zona de Fresnel cuando existe algún obstáculo.

Es importante mencionar que se requiere la mayor altura posible a la hora de instalar las antenas, ya que la altura de la antena es directamente proporcional a la calidad en el envío de los datos.

Capítulo 5

Enlace propuesto con transceptores VHF presentes en La División

Se propone desarrollar el enlace a través de transceptores ya existentes en la División El Teniente. Si bien estos transceptores llevan años de uso en la División prestan la utilidad necesaria para lograr el enlace requerido:

Sala control CP1 Sewell y Estaciones:

- Master Motorola modelo GM300 de 45 watt de potencia
Programado con una frecuencia de 165.300 MHz. Tx/Rx.



Figura 5.1: MaxTrac 300 y su sucesor GM300 de Motorola

Este es un transceptor antiguo que no se encuentra disponible como equipo nuevo, sólo lo podemos encontrar en portales de venta de equipos usados ya que la línea ha sido suspendida por el fabricante. Además este equipo se encuentra fuera de la norma Subtel de nuestro país. Este equipo es el sucesor de uno de los primeros equipos utilizados en Teniente como lo fue el MaxTrac 300.

5.1. Propiedades equipo Master Motorola GM300



Figura 5.2: Master GM 300 de Motorola

Características equipo utilizado para el envío de la señal.

- Disponible en bandas múltiples con niveles variables de potencia.
- Sintetizado y programable en campo.
- Amplia selección de bandas de frecuencia.
- Rastreo con prioridad.
- Claridad superior de audio.
- Compacto, cómodo y fácil de operar.
- Señalización RapidCall en el modelo de 16 canales.
- Montaje para el tablero de mandos o para la unidad remota.

10-25 W
 45 W 10-25 W
 25-40 W
 25-35 W
 20/25/30 kHz
 12,5 kHz 20/25 kHz
 12.5 kHz

-80 dB -75 dB
 -70 dB -65 dB

	VHF	UHF
Frecuencia	136-162 MHz 146-174 MHz	403-433 MHz 438-470 MHz 485-495 MHz 490-520 MHz
Canales	8,16	
Tamaño	5,1 x 17,8 x 19,7 cm	
Peso	1,7 Kg	
Potencia de salida		
Espaciamiento de canales		
Sensitividad (12dB SINAD):		
20/25/30 kHz	.30µV	
12.5 kHz	.35µV	
Selectividad (EIA SINAD):		
20/25/30 kHz		
12.5 kHz		
Salida de audio	3 W con distorsión inferior al 5%	

5.2. Antenas a utilizar en las distintas Estaciones

El tipo de antena a utilizar en el enlace es direccional de 3 elementos del tipo Yagi con una ganancia de 8 DB. Estas antenas tienen la capacidad de concentrar su radiación hacia un lugar específico. Sin embargo, al tener pocos directores podemos operar con lóbulo amplio y hacer llegar las ondas de radio de buena manera. Recordemos que se produce el fenómeno de difracción en nuestros enlaces.



Figura 5.3: Yagi de 3 elementos

Una antena Yagi-Uda está formada por un elemento alimentado (conectado al emisor o al receptor) formado por un simple dipolo o un dipolo doblado llamado también "radiador". La corriente que circula en el elemento alimentado irradia un campo electromagnético, el cual induce corrientes en los "elementos parásitos" de la antena. Las corrientes inducidas en esos elementos irradian también campos electromagnéticos que a su vez inducen corrientes en los demás. Finalmente la corriente que circula en cada uno de los elementos es el resultado de la interacción entre todos los elementos.

Generalmente se ponen uno o dos reflectores y uno o varios directores. Se calculan las posiciones y las dimensiones de manera que las fases de las corrientes resultantes sean tales que la adición de los campos sea mínima hacia atrás y máxima hacia adelante.

Eléctricamente, el costo de esta directividad es una disminución de la parte resistiva de la impedancia de la antena. Con una misma corriente de alimentación, el campo radiado es más débil. Se compensa este inconveniente remplazando el dipolo alimentado por un dipolo doblado.

Para la antena en recepción, la fase y la amplitud de las corrientes inducidas en los elementos por el campo incidente y los demás elementos hace que la corriente inducida en el elemento alimentado (ahora conectado al receptor) sea máxima para los campos que vienen de delante y mínima para los campos que vienen de detrás. La impedancia de una antena Yagi depende de la configuración de los reflectores y directores (dimensiones de cada elemento, espaciamiento entre elementos). Habitualmente las antenas se diseñan para que la impedancia sea de 50 o 75 Ohms. La impedancia requerida por los equipos conectados a la antena en este caso es 50 Ohms.

5.3. Tabla de ganancias de antenas comunes

TIPO DE ANTENA	DECIBELIOS DE GANANCIA SOBRE UN DIPOLO DE 1/2 ONDA dB	DECIBELIOS DE GANANCIA SOBRE UN RADIADOR ISOTRÓPICO dBi
Radiador	- 2.1	0.0
Plane 1/4 de onda	0.3	1.8
Dipolo de 1/2 onda	0.0	2.1
Vertical 5/8 de onda	1.2	3.3
Cuadra un elemento (Loop)	2.0	4.1
Yagui 2 elementos	5.0	7.1
Yagui 3 elementos	8.0	10.1
Yagui 4 elementos	10	12.1
Cuadra 2 elementos	7.0	9.1
Cuadra 3 elementos	10.0	12.1
Yagui 5 elementos	12.0	14.1

Podemos observar que nuestra antena de 3 elementos debe estar en el rango de ganancia de los 8 y 10 DB.

5.4. Cable a utilizar en las Conexiones

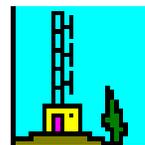
Para las conexiones en el enlace se utilizará cable coaxial RG213, esto por ser el cable que se encuentra disponible en bodegas del departamento de comunicaciones de Colón. Sin embargo, no podemos olvidar que el sensor PZ32T utiliza por su parte un Coaxial RG62AU. Más adelante en el informe se muestran las cualidades del cable RG 213.

5.5. Simulando nuestro Enlace

Para simular nuestro enlace utilizaremos un software libre, para el cual es necesario seguir una pauta guía que el lector de este proyecto puede encontrar en



los anexos que complementa este proyecto de tesis; lo que nos permitirá aprender a utilizar este programa tan eficiente en lo que a enlaces VHF se refiere. Siguiendo la pauta bajamos el archivo que contiene el mapa que nos servirá para realizar este



enlace en la zona alta del canal de relaves de la División El Teniente. Este archivo lo guardamos en la carpeta DTED de nuestro programa Radio Mobile. Lo descomprimimos y dejamos listo para extraer.

5.5.1. Inclusión del mapa dentro de nuestra Red

En el cuadro “centro” se ingresa los datos de latitud y longitud que se usaron para bajar el mapa. Los datos utilizados corresponden a la estación Arrollo Hondo ya que es aproximadamente el centro geográfico de nuestra área de proyecto. Es importante recordar que en Arroyo hondo y Weesapos donde existen dos sensores sólo se transmite mediante una estación.

Latitud : 34° 5' 18" S
Longitud : 70° 24' 12.5" O

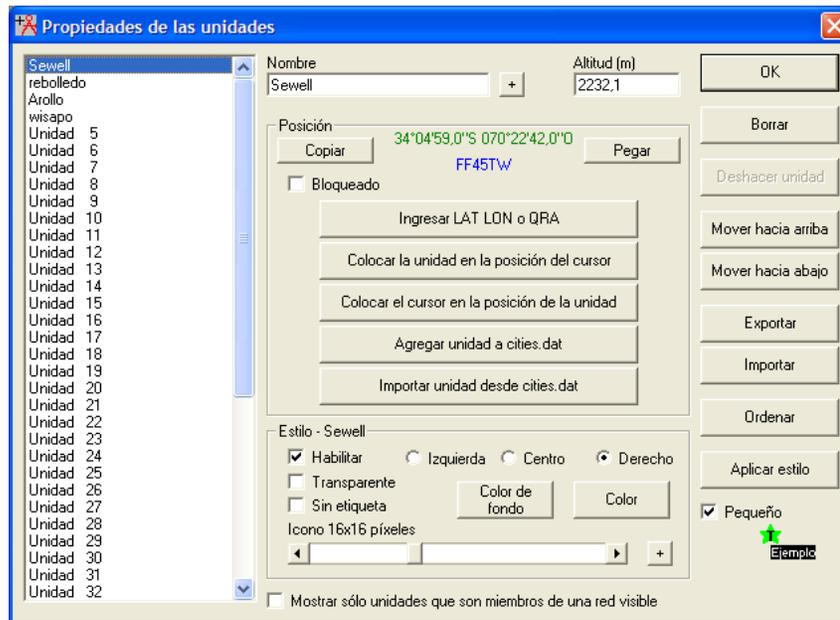
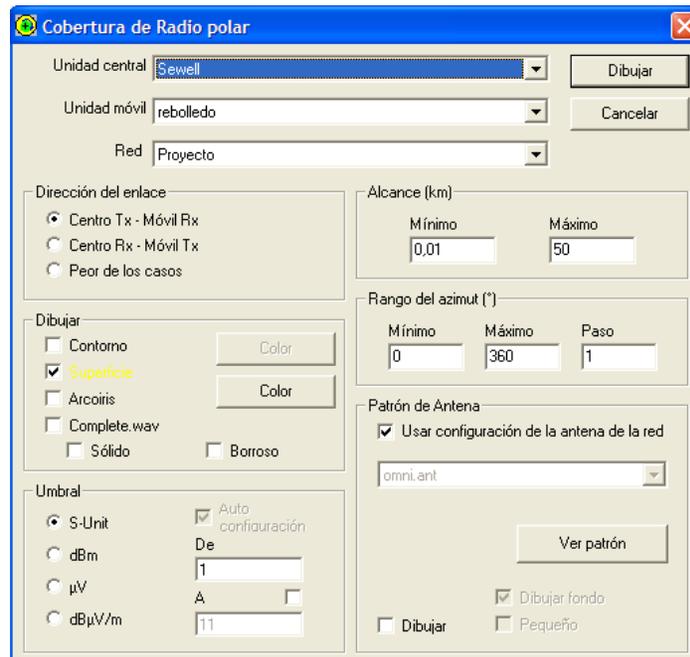


Figura 5.4: Ventana de configuración Radio Mobile

Seguimos los mismos pasos explicados en el anexo, es decir, configurar las propiedades de las unidades, de la red y del equipo que utilizaremos, en nuestro caso el GM300 de Motorola. Los pasos que seguimos se pueden ver en las siguientes imágenes.



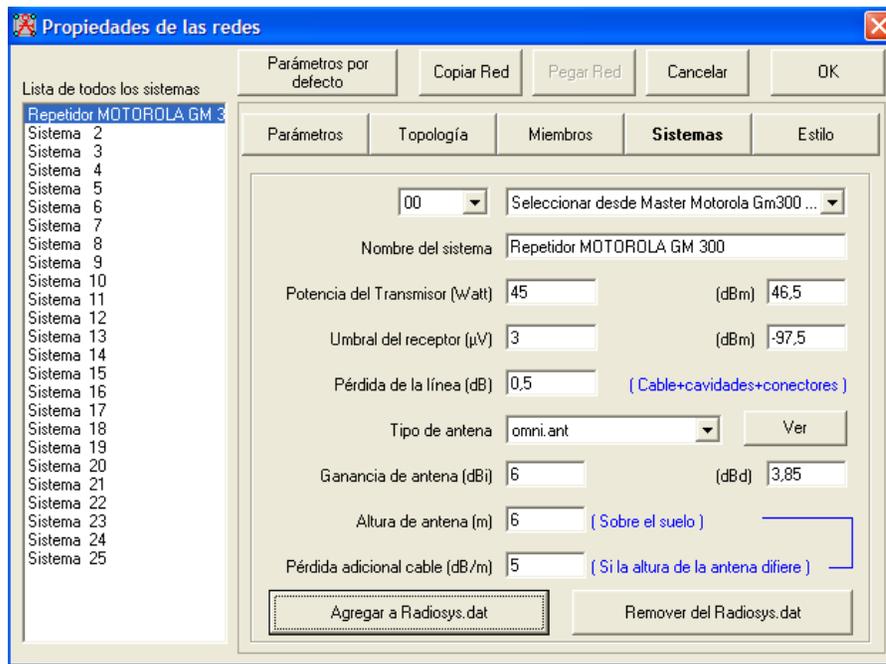


Figura 5.5: Ventanas de configuración Radio Mobile

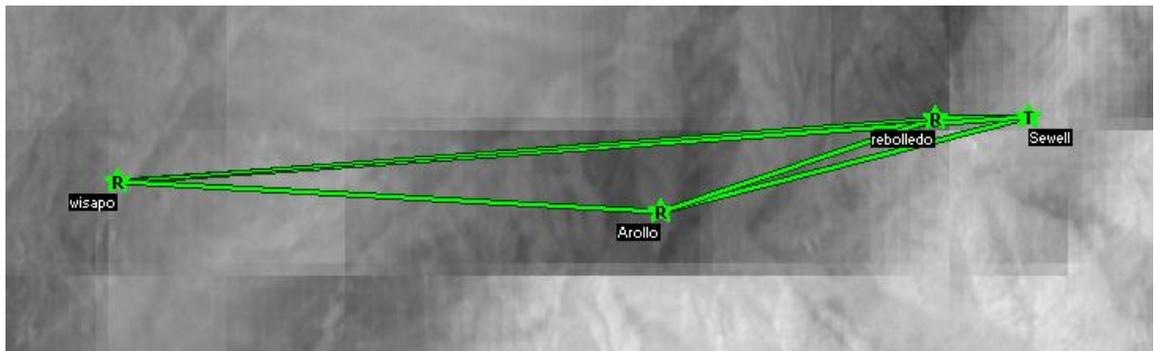


Figura 5.6: Vista por medio del programa del enlace entre las distintas estaciones.

El enlace queda establecido en este punto, pero antes de esto debimos ajustar la altura de las antenas, dándole una altura de 6 mts a la antena en CP1 y a cada una de las estaciones 1 mt para tener un margen de funcionamiento. Se definió también junto con todo esto la frecuencia de trabajo, frecuencia establecida anteriormente en los 165.300 MHz. Tx/Rx.

Debemos tener claros todos los parámetros a utilizar porque cada detalle influye en la dispersión de la señal y en nuestra simulación. Para continuar pinchamos en “Enlace de Radio” y podemos visualizar la dispersión de la señal contrastándola con la geografía y acercándonos más a la realidad.

En la parte superior de la ventana de nuestro programa visualizamos distintos parámetros que nos entrega la simulación, por ejemplo: distancia, obstrucción, pérdidas y Fresnel, entre otras. A continuación se muestra la simulación de nuestro enlace de radio con el equipo de 45 watts de potencia en las distintas estaciones:

5.5.2. Enlace de radio desde Sewell CP1 a Puente Rebolledo

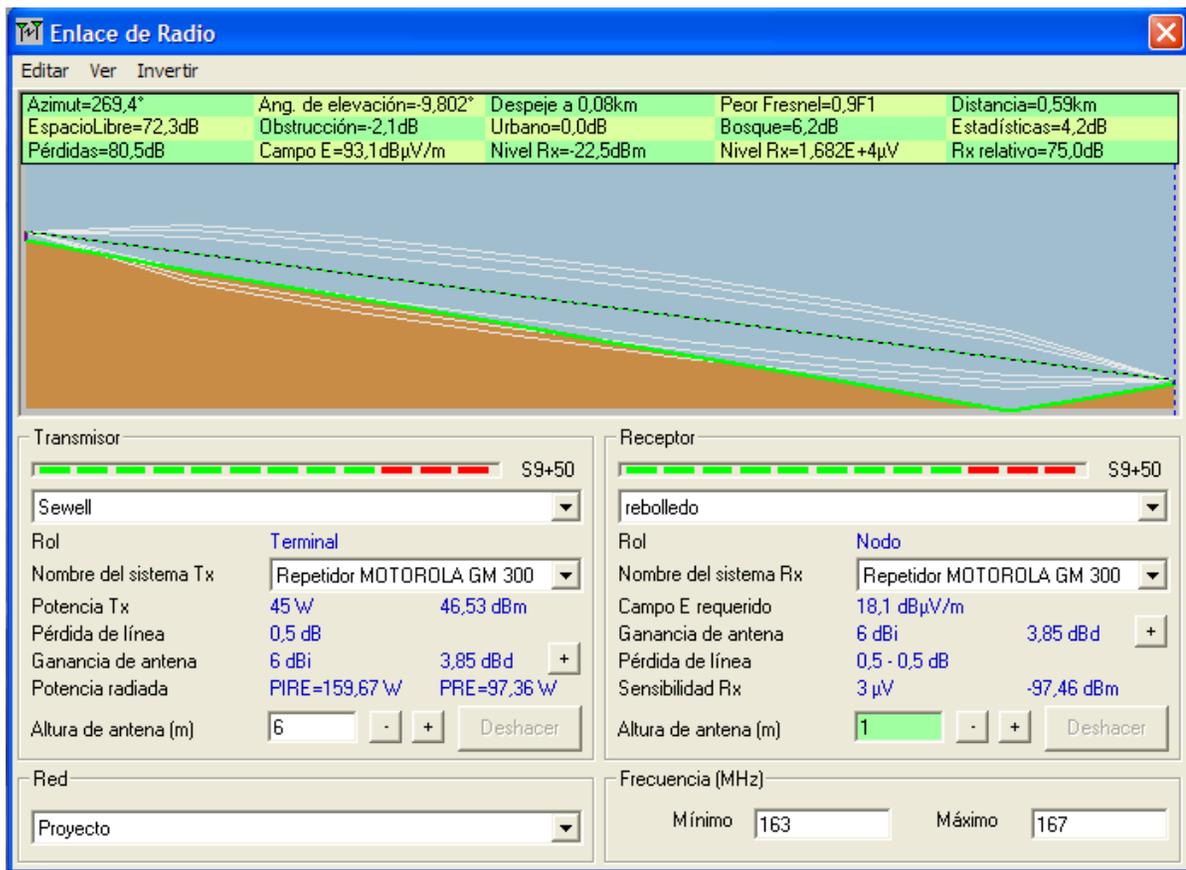


Figura 5.7: Enlace CP1 – Puente Rebolledo

5.5.3. Enlace de radio desde Sewell CP1 a Arroyo Hondo

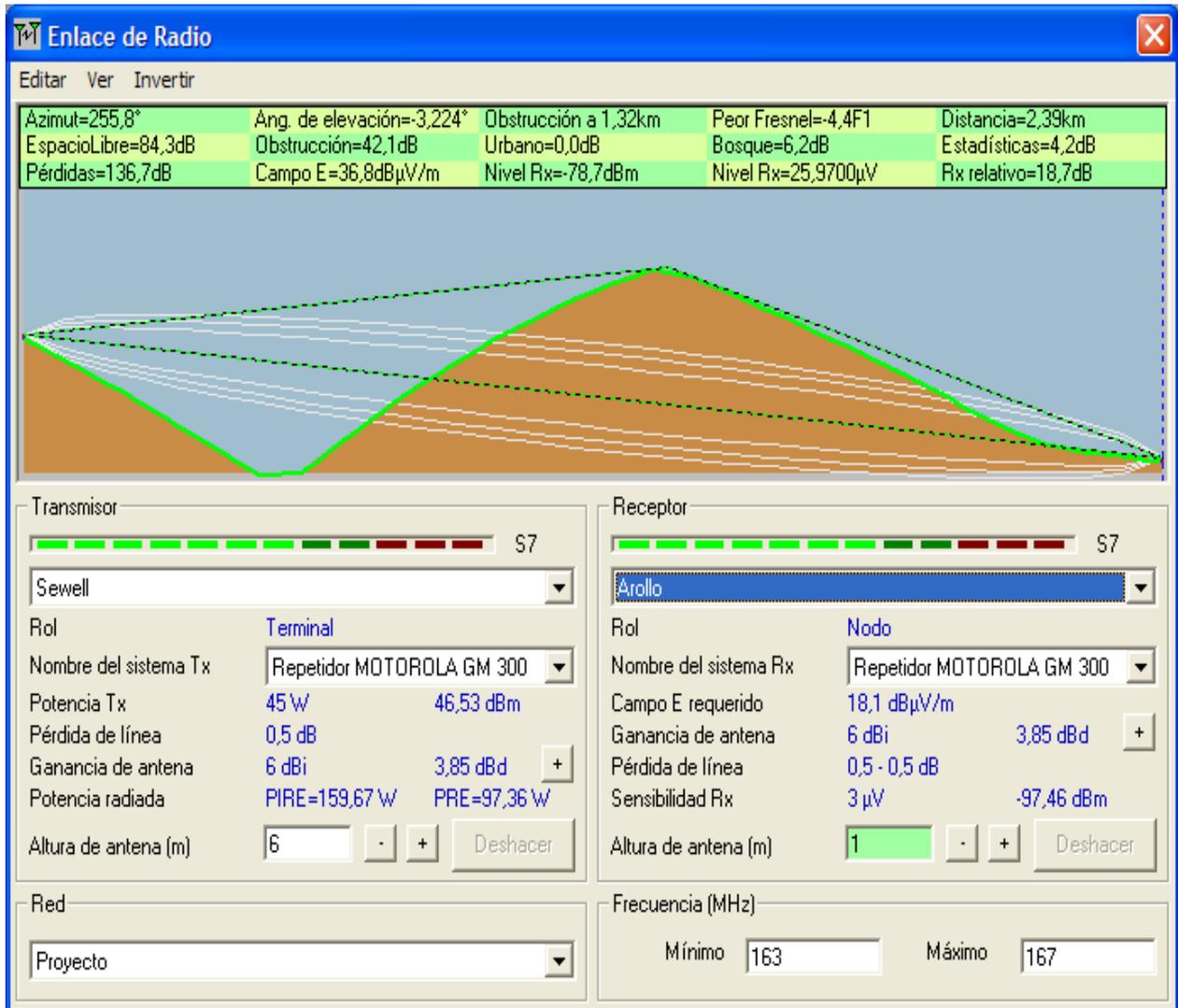


Figura 5.8: Enlace CP1 – Arroyo Hondo

5.5.4. Enlace de radio desde Sewell CP1 a Weesapos

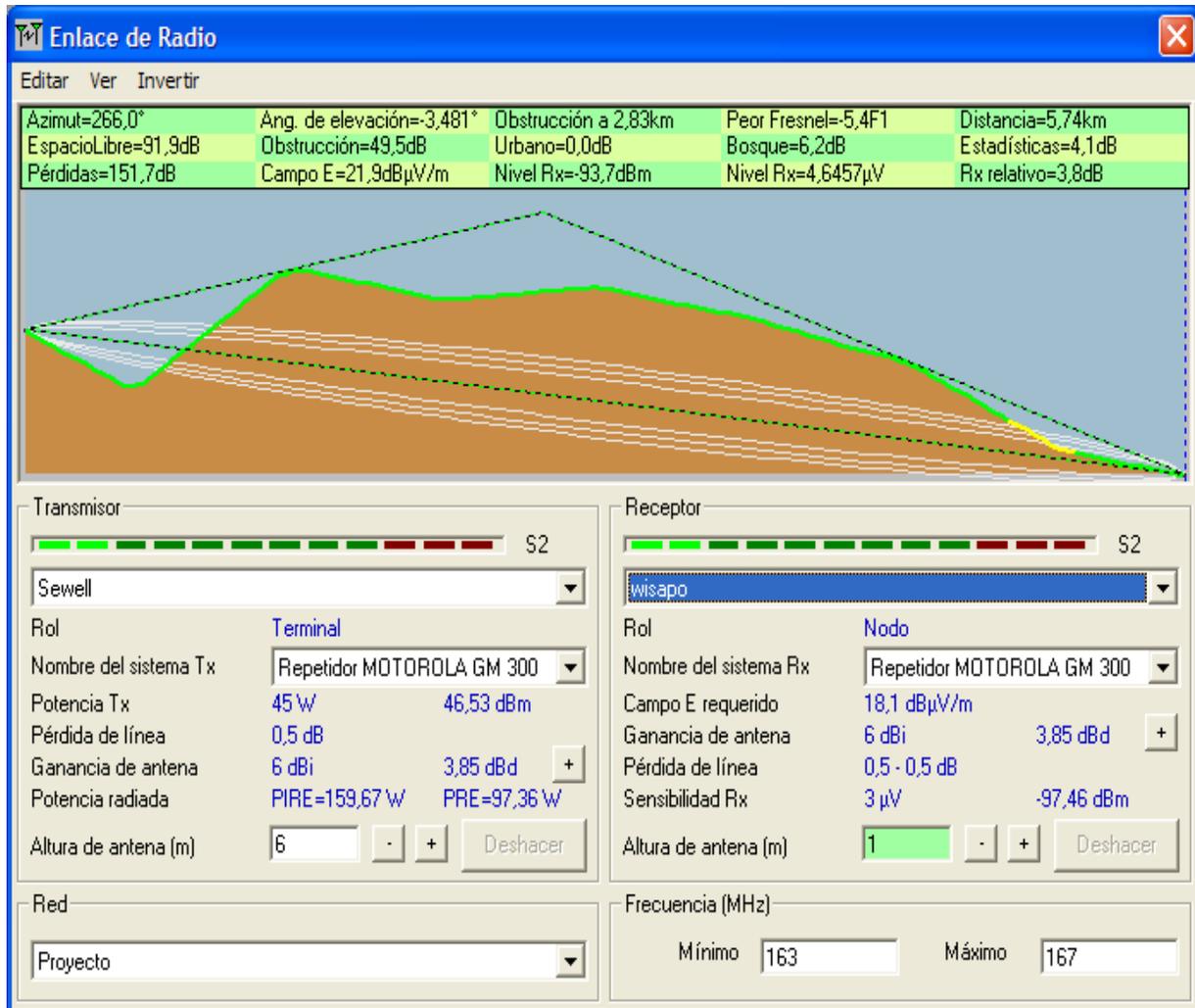


Figura 5.9: Enlace CP1 – Weesapos

En las pantallas desplegadas por el programa podemos ver claramente la forma que tiene la Zona de Fresnel que calcularemos para Weesapos y los diferentes parámetros que nos indican las características del enlace.

La pantalla muestra 3 partes:

- En la parte superior se muestran los parámetros de nuestro enlace.
- En la parte media se visualiza la geografía real del sector y las curvas de la Zona de Fresnel. Además se puede identificar el fenómeno de difracción con los que llega la señal a Weesapos; claro que con un nivel muy bajo.
- En la parte inferior se indican las variables ingresadas al configurar el enlace: potencia del equipo, ganancia de la antena, nombre del equipo y estación, la cual estamos revisando.

Es importante mencionar que la imagen de simulación de Arroyo Hondo es engañosa ya que si bien el cerro es alto, la estación se encuentra escondida sólo por algunos pocos metros al costado del cerro, por lo tanto, la ganancia mejora si pensamos en el efecto de difracción.

5.6. Cálculos teóricos del Enlace Sewell – Weesapos

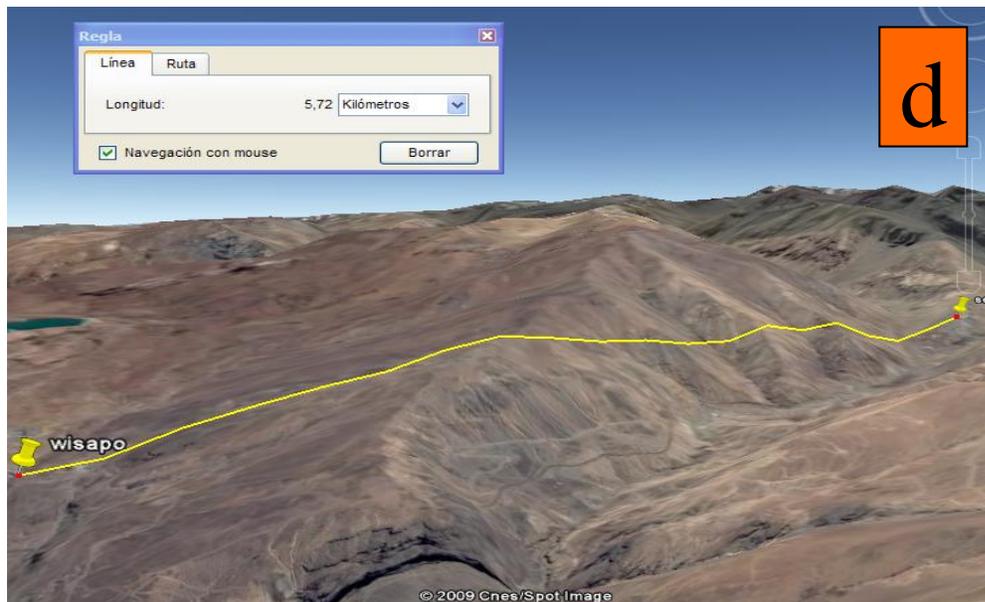


Figura 5.10: Longitud de la ruta de enlace

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{5.72 \text{ Kms}}{4 \cdot 165.300 \text{ MHz}}}$$

Por lo tanto, el radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace y tiene un valor de **50,94 Mts**

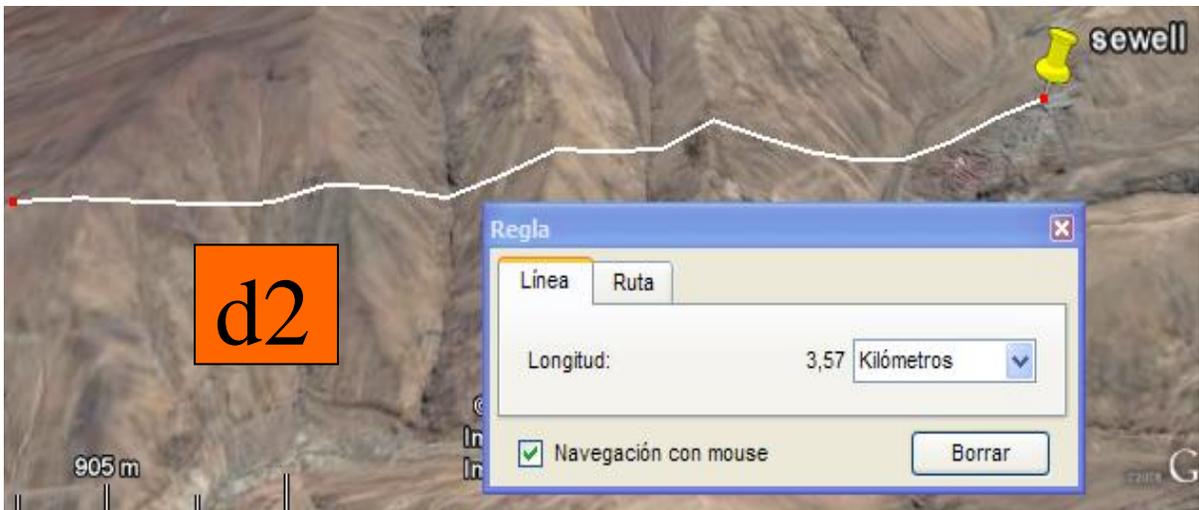
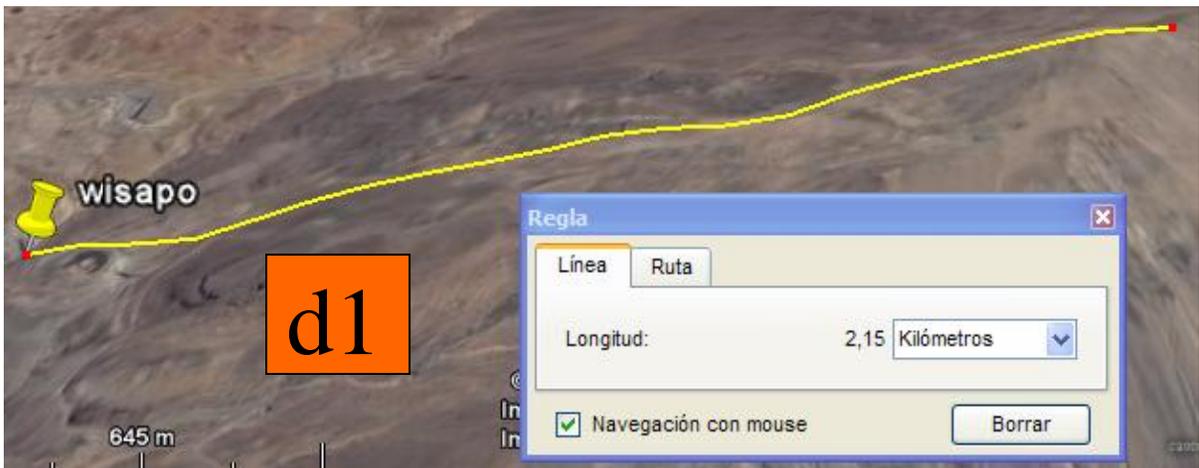


Figura 5.11: d1 y d2 a utilizar en la formula

El radio de la enésima zona de Fresnel se calcula con la siguiente ecuación:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}}$$

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{2.15 * 3.57 \text{ Kms}}{5.72 \text{ Kms} * 165.300 \text{ Mhz}}}$$

Procedo a calcular el radio de las zonas de Fresnel:

- Radio Primera Zona de Fresnel (ya calculado): 50,94 Mts.
- Radio Segunda Zona de Fresnel: 69,79 Mts.
- Radio Tercera Zona de Fresnel: 85,47 Mts.

Es importante recordar que tomando su valor de fase como cero, la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a 180°, adoptando la forma de un elipsoide de revolución. La segunda zona abarca hasta un desfase de 360° y es un segundo elipsoide que contiene al primero. Del mismo modo obtenemos las zonas superiores.

5.7. Prueba del sistema realizada en terreno

En el transcurso de este capítulo se ha estudiado la opción de utilizar un dispositivo transceptor GM 300 de la marca Motorola para completar el camino que debe recorrer nuestra señal desde el sensor (encargado de medir el nivel de la canal de relaves) hasta nuestra sala de control ubicada en el sector alto del campamento Sewell en CP1. La transmisión inalámbrica será muy dificultosa debido principalmente a los cerros presentes entre las estaciones y la central, por lo que es de suma importancia el montaje de un sistema de pruebas en terreno que nos entregue mediante datos prácticos la tranquilidad del buen funcionamiento de la solución planteada.

Primero se procedió a la prueba de señal entre Puente Rebolledo y CP1 teniendo presente los siguientes aspectos:

- Es necesario la utilización de una antena yagi de 3 elementos y sólo un dispositivo GM 300, además de un radio portátil en la frecuencia definida.
- Antes de iniciar el procedimiento se configura el equipo para funcionar en un solo canal en la frecuencia de operación 165.300 MHz. Para Tx/Rx
- Es primordial también verificar la impedancia de la antena y del equipo, ya que deben coincidir en 50Ω , además de asegurar la alimentación del transceptor.

Para poder iniciar la prueba se instala de forma provisoria el transceptor en CP1 con su respectiva antena y alimentación, el cual estará a cargo de una persona del departamento de telecomunicaciones quien prestará la ayuda necesaria en el desarrollo de la prueba. Por otro lado, en la estación Puente Rebolledo se instala el Anritsu MS2711, el cual es un analizador de espectro que nos permitirá medir el nivel en decibeles de la señal y se enciende el equipo portátil.

- Ya con todo dispuesto, nuestro ayudante inicia comunicación (PTT) en su transceptor de radio en CP1, logrando la recepción en nuestro equipo por lo que podemos decir que si existe comunicación entre los dos puntos. Encendemos el analizador de espectro y revisamos la lectura que nos entrega, además de visualizar la portadora en la pantalla.

La medición nos da un valor de:

– 20 dBm, que en la práctica es un valor bastante bueno a la hora de recibir la señal.

- En segundo lugar se procede a la prueba de la estación Arroyo Hondo. Para esto se deben tomar en cuenta los mismos cuidados que en el caso anterior. Manteniendo el sistema en CP1 y moviendo el Anritsu a la nueva ubicación se realiza la siguiente medición:

- 79 dBm, valor poco ideal, que, sin embargo, nos permite el correcto envío de la señal. Además, según nuestro equipo portátil, existe comunicación.

- Para el trabajo en terreno en la estación Weesapos se despliega un operativo mayor, ya que es indispensable montar también en alguna estación el sensor PZ32T para verificar su funcionamiento. Para esto se utilizaron los siguientes implementos además de los ya instalados en CP1:
 - Dispositivo LIT 25, en conjunto con su sensor PZ32T.
 - Cable coaxial RG62AU.
 - Cable coaxial RG213.
 - Cable corrugado.
 - Antena Yagi de 3 elementos.

Para la realización de este estudio en terreno fue necesario seguir los siguientes pasos:

a) *Acceso al Sector Weesapos:*

El acceso al sector se realizó gracias a gestiones con personal de carreteras de El Teniente, quienes además de entregar la autorización pertinente de acceso al lugar facilitaron el vehículo para el arribo. Se trata de un lugar que presenta solo un camino de tierra con quebradas muy pronunciadas.



Figura 5.12: Acceso a Weesapos

Weesapos es llamado al lugar donde se ubica un puente de acero exclusivo del Canal de Relaves. Este puente cuenta con 100 metros de largo y es en cada uno de sus extremos donde se ubicaran los sensores. Sin embargo, por ser sólo una prueba utilizamos un sensor y lo ubicamos en el lugar más cómodo, pues únicamente deseamos verificar la conectividad.

b) Instalación del sensor

Es importante mencionar que el sensor utilizado corresponde a un dispositivo que cuenta ya con 3 años de uso y que acababa de ser renovado, por lo que se encontraba en bodega en muy buen estado. Antes de instalar el sensor es necesario calibrarlo de manera que cumpla con nuestros requerimientos. Para esta calibración se siguen los pasos descritos previamente. El PZ32T es instalado mirando hacia abajo por sobre la canal de relaves, soportado sólo por unos tablones de madera que permiten la firmeza suficiente para realizar la prueba del sistema. La fotografía muestra la posición del sensor.



Figura 5.13: Instalación del sensor de prueba

c) *Cableado*

La información captada por el sensor ultrasónico es enviada a través del coaxial RG62AU, quien a su vez es protegido por un corrugado hasta llegar al LIT25 donde es posible la visualización de la medida. Este cable no fue anclado por ser sólo una prueba. Se puede ver en la fotografía el trayecto del cable desde la canoa de relaves hasta una caseta provisoria del lugar.



Figura 5.14: Trazado del cableado en la prueba

d) *Instalación del LIT 25*

Al costado del canal existe una caseta bastante precaria destinada a guardar algunos materiales y herramientas de trabajo del personal; sin embargo, cumple con los requerimientos necesarios para ser nuestro puesto de trabajo. En esta caseta ubicamos el LIT 25 en una mesa al costado de la alimentación eléctrica. Realizamos la conexión del coaxial proveniente del sensor para poder visualizar la medida. Es importante destacar que no fue necesario calibrar el equipo ya que se encontraba calibrado para trabajar en un rango equivalente al que se necesitaba para la prueba y se encontraba con la certificación correspondiente que se puede ver con detalle en la fotografía.



Figura 5.15: Instalación LIT25

Ya conectado se logra visualizar la medida del nivel del canal, la cual corresponde a 13.6 cms, medida que fue comprobada mediante la utilización de una varilla marcada e introducida al caudal.

e) *Instalación de la Antena*

La instalación de la antena fue realizada en una postación eléctrica ubicada al costado de la caseta, utilizando los elementos de seguridad necesarios para tal efecto. Como muestra la fotografía, la antena es una yagi de 3 elementos y fue posicionada en la parte superior del poste para así aprovechar la altura, variable importante al proyectar las antenas. La conexión se realizó con cable coaxial RG213 y la polarización de la antena es vertical.



Figura 5.16: Posición establecida para la antena

En la fotografía se puede identificar la posición de la antena y su orientación hacia Sewell, donde se encuentra CP1. Asimismo, se ve claramente el cerro que impide el enlace directo entre ambos puntos.

f) *Transmisión de datos y pruebas de potencia*

En el punto d) se verificó el funcionamiento del LIT 25 identificando la lectura del nivel del canal. Sin embargo, esta medición debemos hacerla llegar a la central en CP1 mediante el enlace VHF. Para tal efecto se utilizó nuevamente el analizador de espectro Anritsu. El valor medido fue de -92 dBm, valor que no permite llegar la señal de manera óptima. En el próximo capítulo se presentará una propuesta de solución para esta estación como caso específico.

Capítulo 6

Propuestas de solución Problemática presente en Weesapos

6.1. Solución por Medio Híbrido (Alambrico – RF)

El problema de transmisión se centra en la estación de Weesapos, ya que se encuentra tras un cerro que no permite tener línea vista con la central CP1 de Sewell y así permitir el correcto envío de la información de los sensores. Para solucionar este problema se propone trazar un cableado donde se canalice la información desde Weesapos a TTE8, lugar donde se ubique el equipo de radio GM 300, el cual, se encargará de enviar la información mediante radiofrecuencia. En otras palabras, consiste en cambiar el lugar de envío de la señal para que así llegue de manera correcta al destinatario CP1. Se comprobará más adelante, mediante la simulación en Radio Mobile, que la recepción de la señal mejora ostensiblemente si se hace de esta manera.

6.1.1. Cableado exterior

Existe un par telefónico de Weesapos hacia Maestranza 1. Podemos utilizar este mismo trazado y tirar un cable UTP categoría 6 por el tendido hasta maestranza y luego seguir la postación de la línea del ferrocarril hasta TTE 8. El trazado de este cable hasta maestranza consta de 2 partes, una que atraviesa el cerro por sobre el suelo hasta el primer poste (ver imagen) y posteriormente sigue por una postación hasta maestranza. El problema principal se produce en épocas del año donde las condiciones geográficas son desfavorables ya que se producen problemas en la etapa donde el cable pasa a ras de suelo. El recorrido es el siguiente:

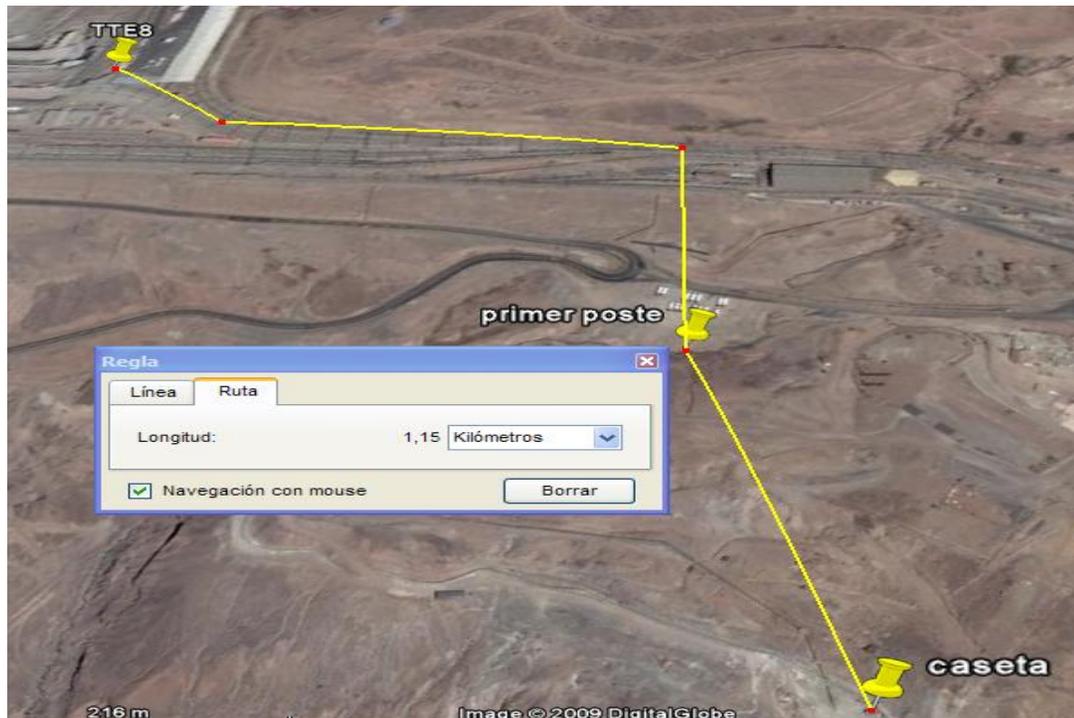
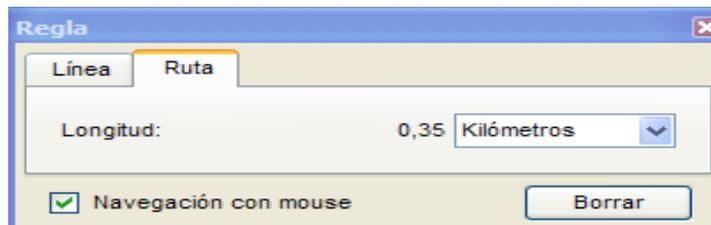


Figura 6.1: Tramo recorrido por el par telefónico

La distancia que recorre por sobre el suelo es de 0,35 Kms. Este es el recorrido que debemos mejorar. Para tal efecto se pueden realizar 2 acciones, ya que pensar en crear una postación nueva nos obliga a incurrir en grandes gastos económicos:



- a) La primera es trazar el cable por sobre el suelo, procurando hacerlo mediante un corrugado, existente en las bodegas de Colón, que soporte las condiciones climáticas y engancharlo de manera fuerte al suelo en distintas partes a lo largo de su trayecto para mantenerlo fijo.

- b) La segunda, trazar el cable por una postación perteneciente a la red eléctrica, que si bien es un poco más largo, permite mantener el cable por sobre el suelo, lo que nos da mayor confiabilidad y protección. Este tendido sería de 400 metros más largo que el postrado sobre el suelo, y lo podemos visualizar en la siguiente imagen:

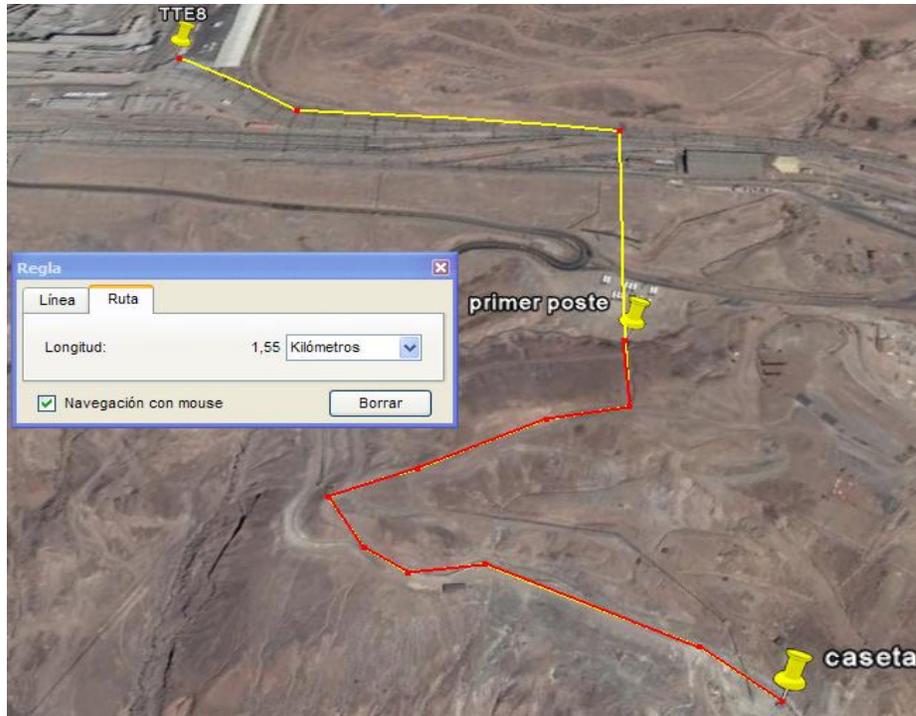


Figura 6.2: Tramo proyectado como solución

En la siguiente fotografía podemos ver el tendido eléctrico por el cual queremos trazar el cableado hasta el “primer poste”:



Figura 6.3: Tendido eléctrico que servirá como soporte al cableado

Desde maestranza a TTE 8, el cable será trazado a través de una postación existente, por lo que no incurriremos en gastos, pues se realizará mediante uno de los dos tipos de cable sugeridos:



Figura 6.4: Línea férrea por donde irá el cableado de la segunda etapa hasta el TTE 8

6.1.1.1. Cable UTP categoría 6 exterior

El cable contiene 4 pares de cobre trenzado. Aunque en ocasiones, la categoría 6 está hecha con cable 23 mm., esto no es un requerimiento. Escogimos esta categoría por ser de mayor calidad que sus antecesoras y por su disponibilidad en la bodega de Colón Bajo. Si los componentes de los variados estándares de cables son mezclados entre sí, el rendimiento de la señal quedará limitado a la menor categoría que cumplan todas las partes. El largo máximo de un cable Cat 6 horizontal es de 90 metros. Un canal completo, cable horizontal más cada chicote, está permitido a llegar a los 100 metros en extensión para la transmisión de datos. En nuestro caso, sólo la transmisión de una portadora permite que la extensión del cable sea superior a 100 Mts. En la siguiente figura se muestra la diferencia existente entre diferentes categorías y Cat 6.

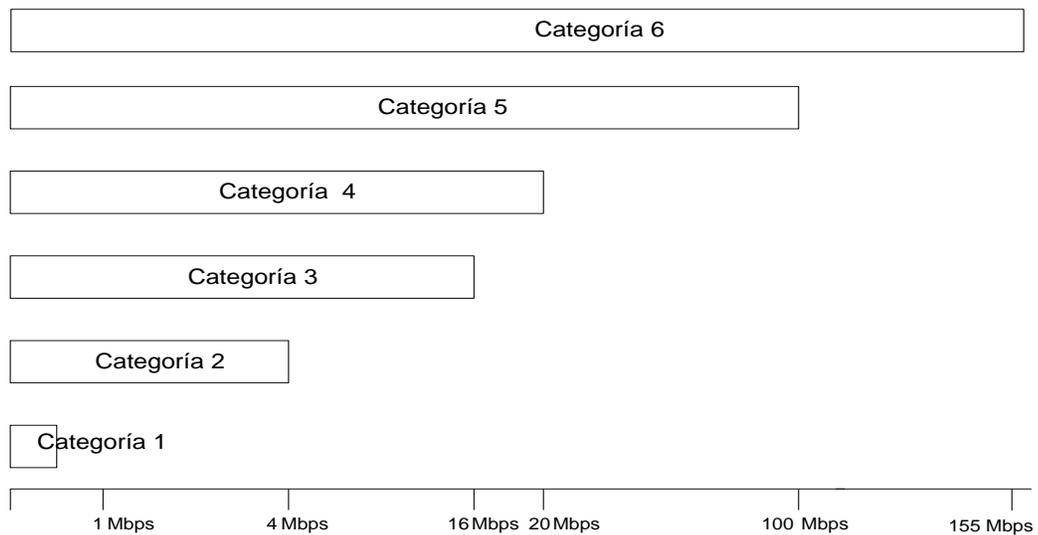


Figura 6.5: Categorías cable UTP

6.1.1.2. Torcido Autoportado con un Mensajero

Este cable es ideal para largos tendidos en exterior, ya que posee un mensajero en su interior que le da más fortaleza y resistencia a las condiciones externas como el clima y viento. El torcido que aconsejamos es de *calibre 18*, por ser bastante firme. Podemos ver en la imagen un torcido auto soportado con mensajero.



Figura 6.6: Torcido Autoportado con mensajero

6.1.2. Cableado interior

Para este enlace se propone utilizar cable coaxial como medio de transmisión físico entre componentes. El uso del cable coaxial es el más común debido a sus ventajas como línea de alimentación:

- Está rápidamente disponible.
- Es resistente al clima y elementos (¿Qué elementos?)
- Iguala las impedancias de 50 ohms con la mayoría de las antenas de aficionados.
- Puede ser enterrado en la tierra si es necesario.
- Pueden ser doblado, enrollado y correr cerca de metal, todo con muy pequeño efecto.



6.1.3. Tabla de características de distintos Coaxiales

Coaxial	Ohm	Factor Veloc	Tensión RMS	10 Mhz	100	200	400	1 Ghz	Diam.
					mhz	Mhz	Mhz		mm
RG-8	52	0,66	4.000	1,80	6,23	8,86	13,50	26,30	10,30
RG-58	50	0,66	1.900	4,60	16,10	24,30	39,40	78,70	5,00
RG-59	73	0,66	600	3,60	11,20	16,10	23,00	39,40	6,20
RG-212	50	0,66	-----	2,72	8,86	13,50	19,40	32,20	8,50
RG-213	50	0,66	5.000	1,80	6,25	8,85	13,50	26,30	10,30
RG-216	75	0,66	5.000	2,15	7,55	10,80	15,80	25,60	10,80
RG-316	50	0,69	-----	19,70	37,40	46,60	54,80	102,00	2,60

Están en amarillo los cables mas utilizados en el área de telecomunicaciones El Teniente

Por los aspectos mencionados y la tabla expuesta es que dentro del estudio de este tipo de cables a utilizar en las conexiones físicas, preferimos dos que consideramos útiles para cubrir las necesidades de nuestro enlace. A continuación detallaremos las cualidades de cada uno:

6.1.4. Cable Coaxial RG 213

El RG 213 nos parece muy apto, ya que es de uso masivo, bajo costo y lo podemos encontrar en nuestras bodegas, ahorrándonos presupuesto.

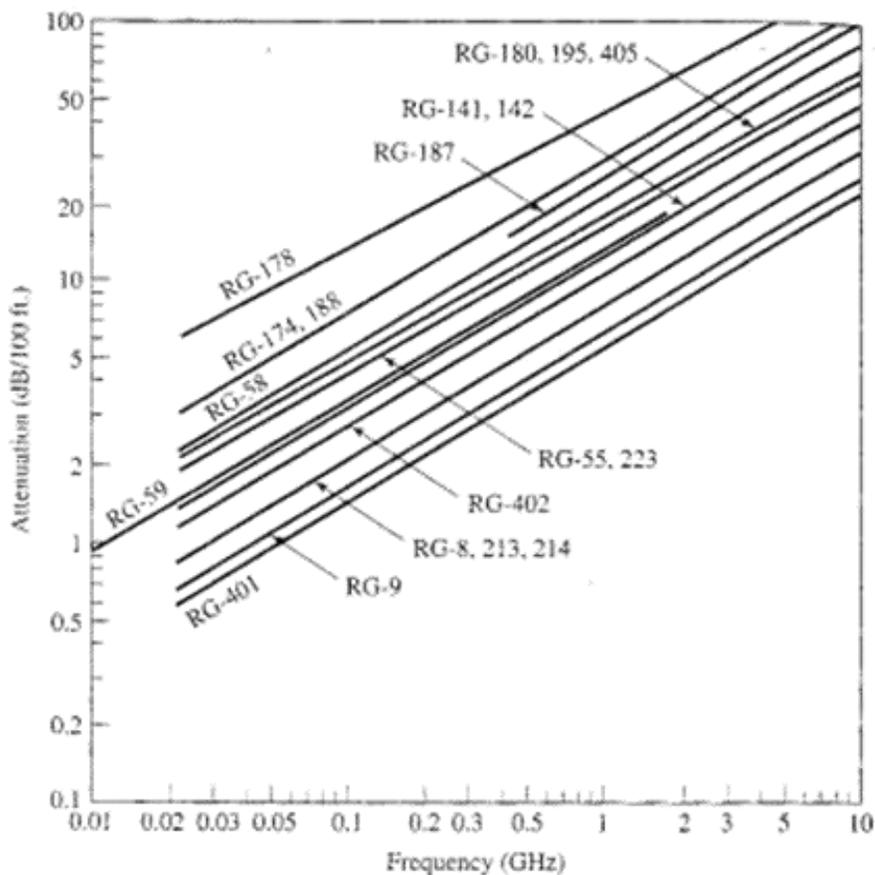


Figura 6.7: Gráfica que muestra la atenuación del cable RG213 en comparación con otros tipos de coaxial

A continuación se presenta un cuadro explicativo indicando los parámetros más importantes del elemento en cuestión.

Características		
Ancho total	10,3mm	
Impedancia característica	50Ω	
Capacitancia	100pF/m	
Máx. tensión DC	40kV _{DC}	
Máx. tensión de pico RF	6,5kV	
Atenuación (cada 10m)	100MHz	1.000MHz
	0,68dB	2,52dB



6.1.5. Conectores

Los conectores para cables coaxiales son tan importantes como lo son los cables. El factor más importante cuando seleccionamos conectores es igualar a los ya existentes en el master y la antena. El más común es el conector SO-239, utilizado en radios de VHF. Otro que es de gran utilidad es el denominado PL-259.

6.1.6. Cable Coaxial Heliac

Los cables de banda ancha HELIAX brindan un muy buen desempeño mecánico y eléctrico, necesario para las aplicaciones de nuestro enlace. El conductor exterior de cobre brinda un diseño resistente y duradero y está fabricado con un corrugado profundo para brindar una mayor flexibilidad.



Figura 6.8: Cable Heliac

El dieléctrico de espuma de polietileno tiene una constante del dieléctrico baja que brinda una mayor atenuación y ofrece una alta resistencia. Algunas de sus cualidades son:

- Menor atenuación y desempeño excepcional.
- Diseño del conductor exterior de cobre superflexible para facilitar la instalación.
- Mejor blindaje disponible, equivalente al del cable convencional.
- Conexión rápida y simple del conector con herramientas estándar.

Los cables Heliac tienen un centro conductor sólido o tubular con un conductor externo sólido y corrugado que lo hace flexible. Debemos estar atentos con los conectores Heliac, que son de diseño distinto a los que ya vimos para el coaxial RG213.

Cable P/N	Ohm	Size	Description
FSJ1-50A	50	1/4"	Standard Superflexible Cable: Standard Cable, Standard Jacket.
LDF1-50	50	1/4"	Standard Cable: Standard Cable, Standard Jacket.
FSJ4-50B	50	1/2"	Standard Superflexible Cable: Standard Cable, Standard Jacket.
FSJ4RN-50B	50	1/2"	Superflexible Fire Retardant Cable: Fire Retardant Jacket (CATVR).
LDF4-50A	50	1/2"	Standard Cable: Standard Cable, Standard Jacket.
LDF4-75A	75	1/2"	Standard Cable: Standard Cable, Standard Jacket.
LDF4.5-50	50	5/8"	Standard Cable: Standard Cable, Standard Jacket.

Listado de algunos cables Heliac

La diferencia principal entre estos dos tipos de cable presentados es que el heliax, si bien presenta menos flexibilidad que su contraparte, es mejor en atenuación y resistencia. Sin embargo, cumplen de buena forma la función necesaria (Falta redactar mejor). Cabe señalar que dejamos de lado los cables LMR por razones de costo y rendimiento.

Los cables LMR-400 y LMR-600 se utilizan comúnmente como alternativas al Heliac. En bodega Colón podemos encontrar cable Heliac y Coaxial RG 58 y RG 213.

6.1.7. Transmisión desde Teniente 8

Ya trazado el cable podemos darle vida al enlace mediante nuestro equipo GM 300, el cual se deberá instalar TTE8 junto a la fuente de poder, conectores y una antena similar a la utilizada en Sewell.

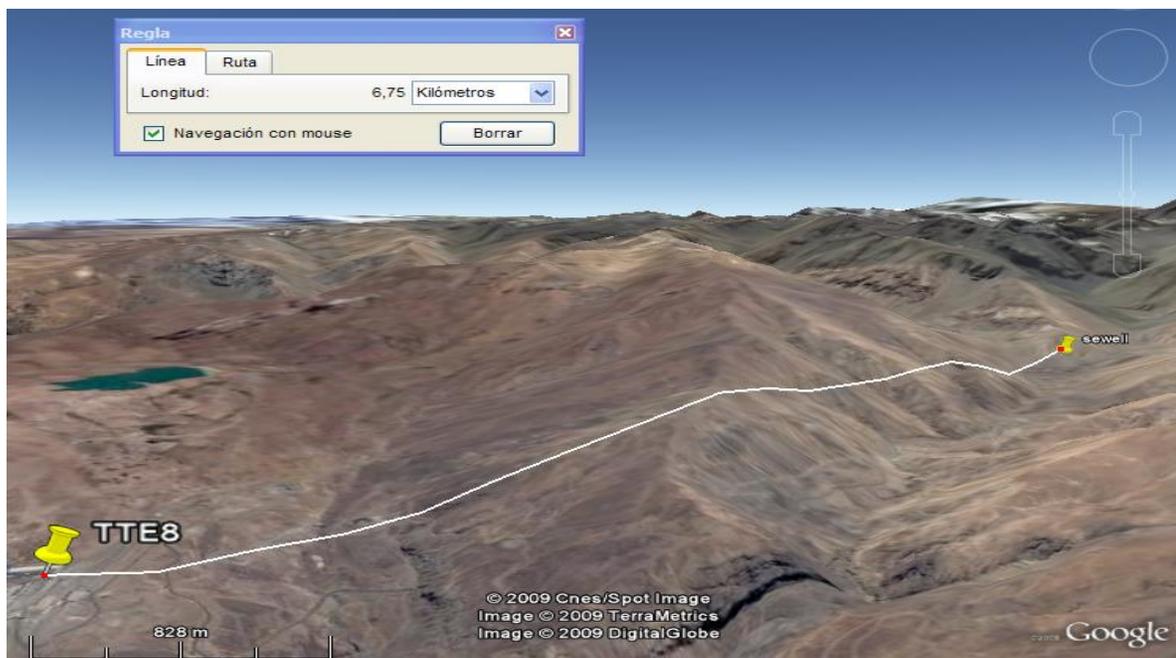


Figura 6.9: Distancia entre Sewell y TTE 8

6.18. Antena elegida en este Enlace

Esta vez recomendamos una Yagi pero de más directores, ya que debemos llegar con la señal a mayor distancia que las demás estaciones. Por lo tanto, es necesario direccionar un poco más la señal. La antena propuesta se muestra en la siguiente fotografía tomada en bodegas de telecomunicaciones. Es importante mencionar que la Ganancia de la antena es mayor que la de 3 elementos.



Figura 6.10: Yagi 6 elementos

6.1.9. Simulación

Demostramos mediante la simulación la ventaja de aprovechar la altura de TTE 8, ya que la señal debería llegar de mejor manera a Sewell.

Estación TTE8

Latitud : 34° 5' 19,76" S
Longitud : 70° 27' 3,88" O
Altura (snm) : 2010,2 Mts

Estación Weesapos Lado Sewell

Latitud : 34° 5' 13,8" S
Longitud : 70° 26' 23,27" O
Altura (snm) : 1904 Mts

En primera instancia veremos la simulación entre Sewell CP1 y Maestranza, lugar donde inicialmente se pensó ubicar el equipo por su cercanía a Weesapos, pero que no nos entrega resultados positivos. Con esto probaremos que TTE8 es el lugar indicado.

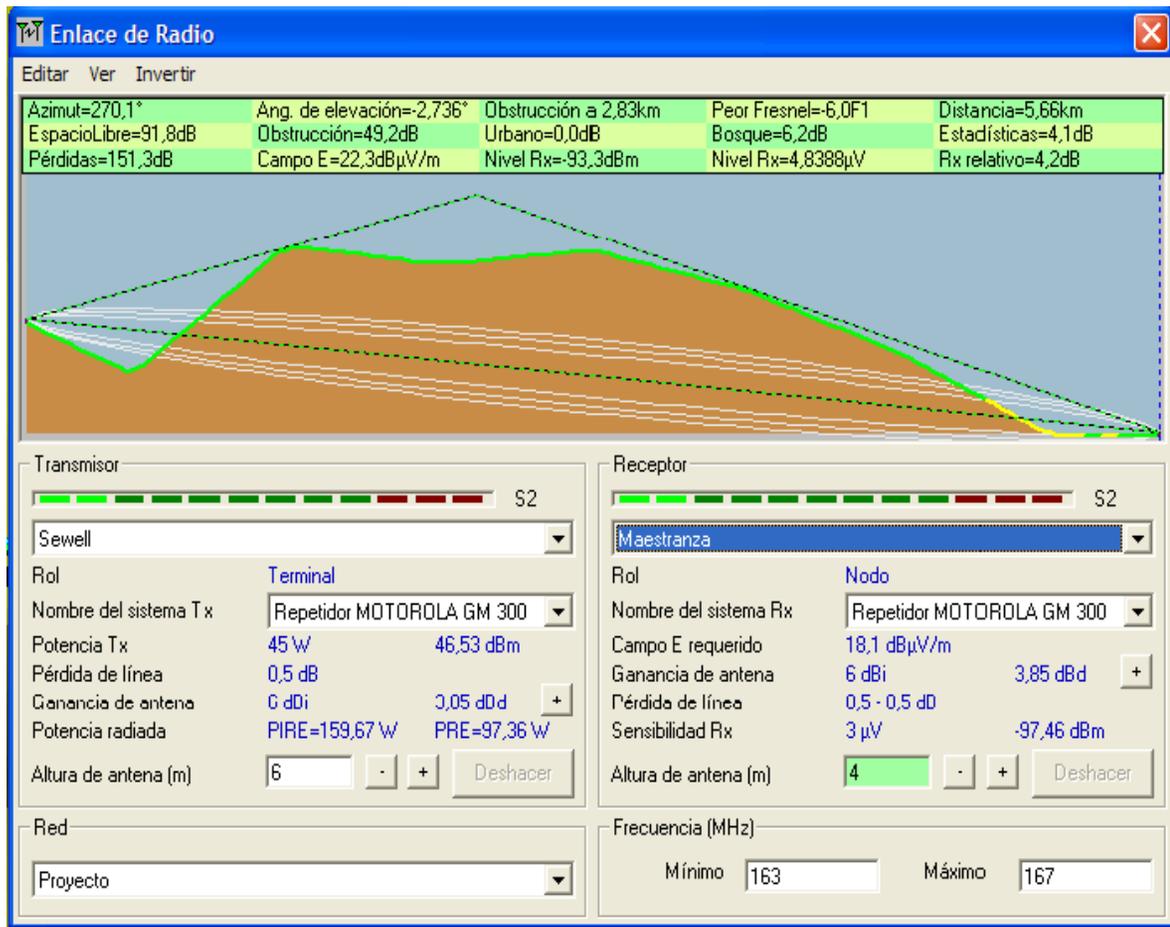


Figura 6.11: Simulación Sewell – Maestranza

La Razón principal para utilizar El Teniente 8 en vez de la estación Weesapos es la diferencia de altura, ya que en TTE8 existe una altura de 2010 mts, mientras que en Weesapos es de 1904 mts. Estos 100 metros de diferencia marcan de manera ostensible una mejora debido a los fenómenos ya explicados anteriormente llamados Refracción y Fresnel.

Ahora simularemos el envío de la señal desde Teniente 8 para demostrar el porqué de la elección de TTE8.

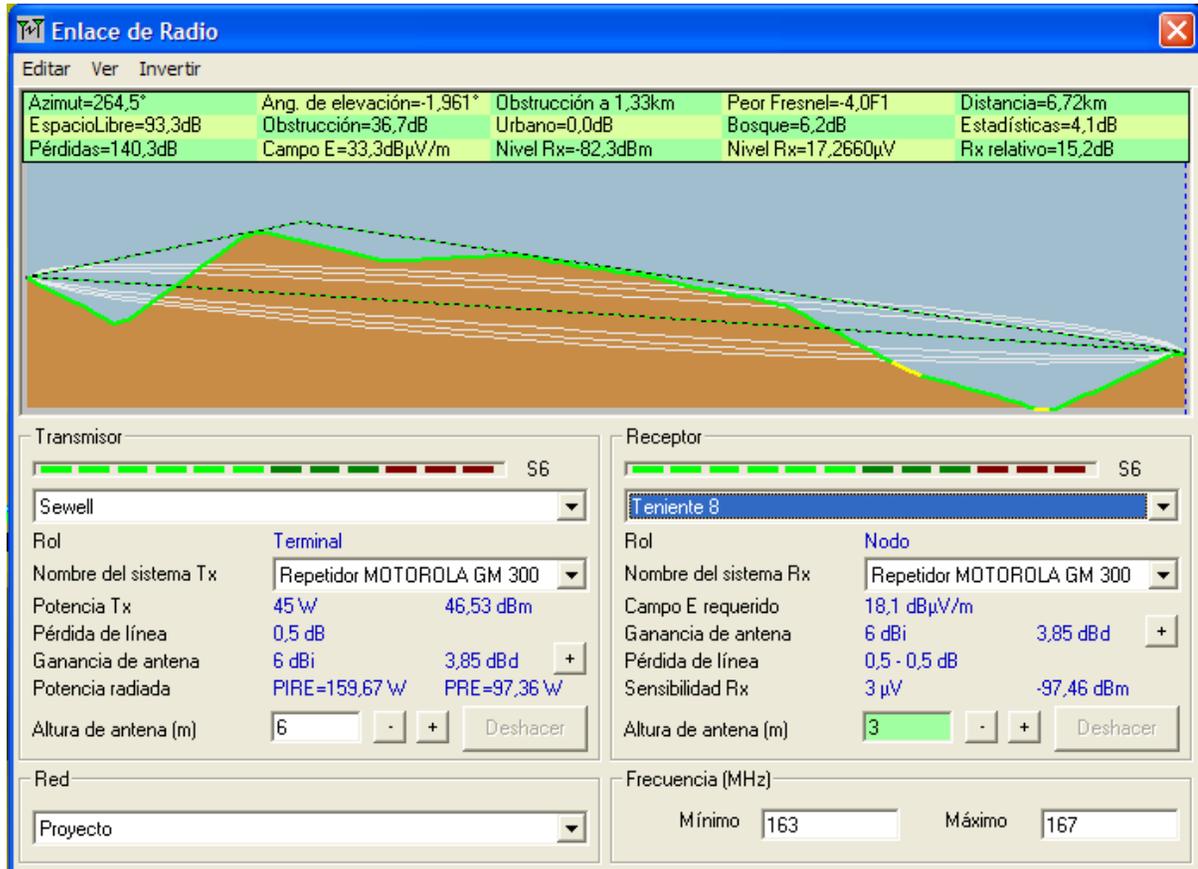


Figura 6.12: Simulación Sewell – Teniente 8

6.1.10. Conclusiones de la simulación

Si recordamos los datos recuperados de la simulación anterior entre Sewell y Weesapos tenemos:

Nivel Rx Wisapo = -93,7 dBm → Haciendo la transformación → - 46,7 dBmv

Podemos ver que el nivel de recepción en Maestranza es muy similar a Weesapos, por lo tanto, deducimos que los problemas continuarán sin solución.

Nivel Rx Maestranza = -93,3 dBm → Haciendo la transformación → - 46,3 dBmv

En cambio, si visualizamos los resultados para el envío de información desde Teniente 8 podemos ver que los datos mejoran ostensiblemente.

Nivel Rx TTE8 = -82,3 dBm → Haciendo la transformación → - 36,3 dBmv

6.1.11. Medición con Spectrum Master

Para verificar lo entregado por el simulador y comprobar la posibilidad de enviar la información a través de TTE8 utilizamos un equipo diseñado para este efecto; un analizador de espectro.

6.1.11.1. Anritsu MS2711

Un *analizador de espectro* es un equipo de medición electrónica que permite visualizar en una pantalla las componentes espectrales en un espectro (nuevamente hay una redundancia que finalmente no explica qué es un analizador de espectros) de frecuencias de las señales presentes en la entrada.



En el eje de ordenadas suele presentarse una escala logarítmica el nivel en dBm del contenido espectral de la señal. En el eje de abscisas se representa la frecuencia, en una escala que es función de la separación temporal y el número de muestras capturadas.

Se denomina frecuencia central del analizador a la que corresponde con la frecuencia en el punto medio de la pantalla. Específicamente el Anritsu MS2711 es un equipo muy completo y fácil de entender.

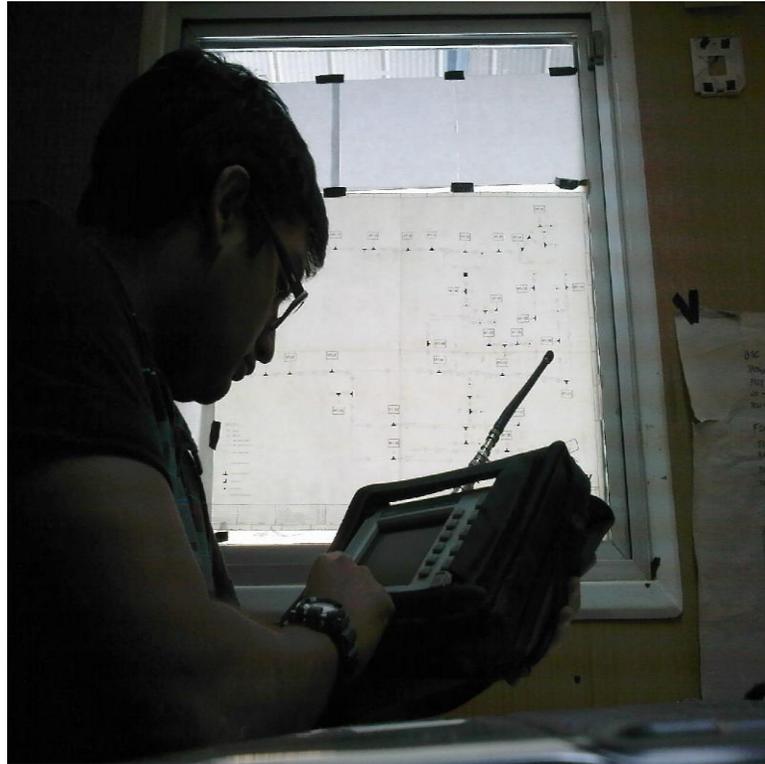


Figura 6.13: Midiendo con el Anritsu MS2711

6.1.11.2. Medición

Las mediciones realizadas en terreno corresponden al espectro de frecuencia que se encuentra entre los rangos de 165.000 MHz hasta 166.000 MHz. Recordemos que se está transmitiendo con una portadora centrada en los 165.300 MHz.

En la imagen captada al momento de realizada la medición, es posible apreciar que en la banda especificada se distingue la portadora claramente, sin embargo, el espectro presenta cierto

nivel de impurezas que no afectarían la transmisión. Además existen otras portadoras en las cercanías de la nuestra.

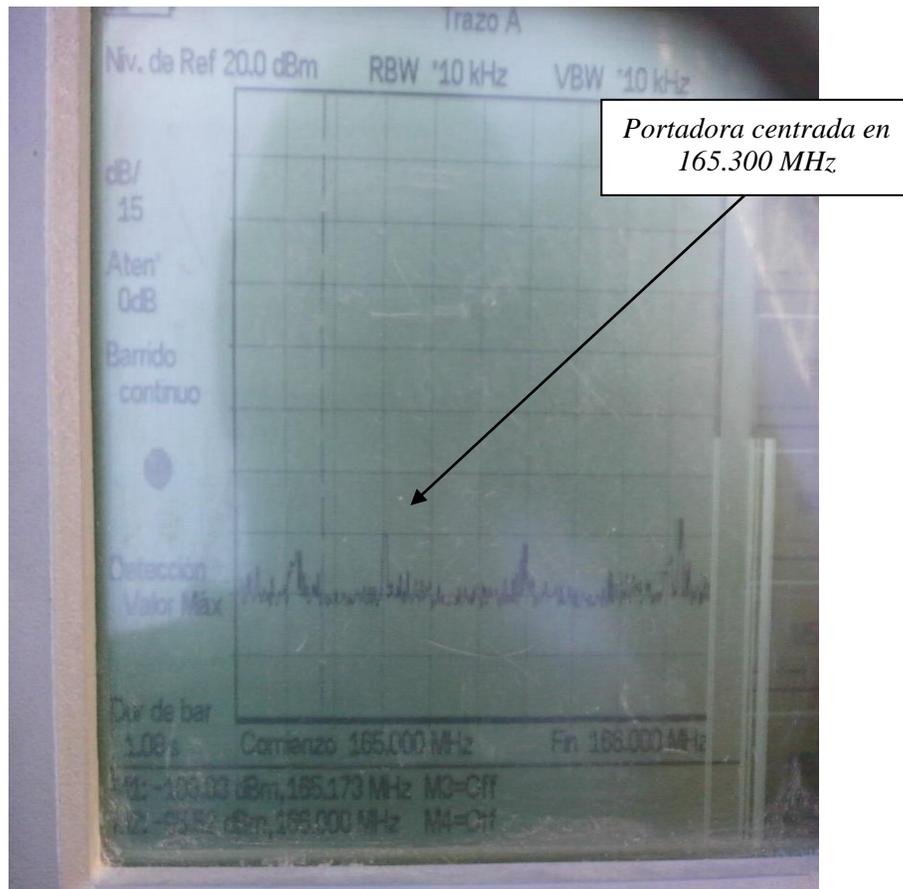


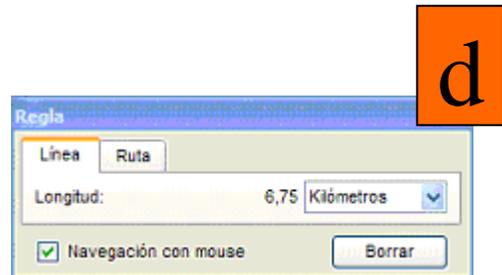
Figura 6.14: Pantalla del analizador de espectro

El resultado de la medición en 165.300 MHz es aprox. de -84 dBm aproximadamente, lo que es cercano a nuestros resultados simulados

6.1.12. Cálculos teóricos del enlace Sewell – Teniente 8

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{6.75 \text{ Kms}}{4 \cdot 165.300}}$$



Por lo tanto, el radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace y tiene un valor de **55,34 Mts**

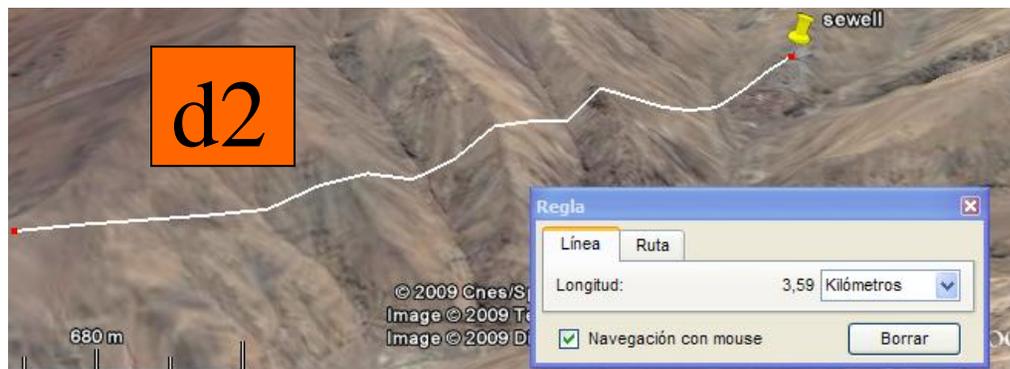
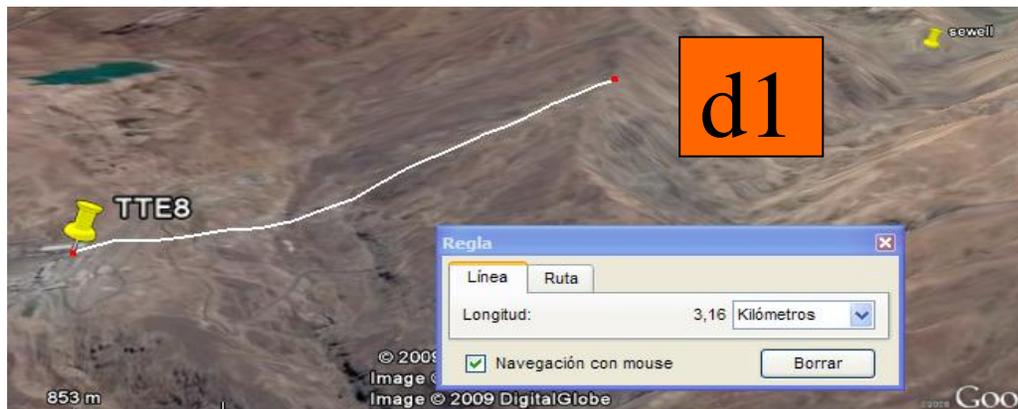


Figura 6.15: d1 y d2 a utilizar en la formula

El radio de la *n*-ésima zona de Fresnel se calcula con la siguiente ecuación:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}} \qquad r_n = 547.723 \sqrt{\frac{n \cdot 3.16 \cdot 3.59}{6.75 \cdot 165.300}}$$

- Primera Zona de Fresnel (ya calculada): 55,34 Mts.
- Segunda Zona de Fresnel: 78,10 Mts.
- Tercera Zona de Fresnel: 95,65 Mts.

6.2. Solución mediante el envío de los datos de Weesapos por medio de la Red Ethernet

Para esta solución debemos enviar la información a Sewell mediante un enlace físico, lo que nos permitirá abaratar costos al no tener que comprar equipos para la implementación. Esto mediante un cable que deberá trazarse desde la estación Weesapos hasta Maestranza, lo que nos permitirá enviar los datos a través de la red Ethernet de la corporación.

6.2.1. A través de la Red

- Este enlace se realizaría desde Weesapos a Maestranza 2 donde se encuentra un rack con bocas dispuestas para la conexión a la red Ethernet de la corporación.



Switch presente en el rack donde llegara el cable

- Según la investigación existe postación entre Weesapos y Maestranza, por lo tanto, no habría problema en tirar el cable por ese medio.

- El primer trayecto recorre desde Weesapos a la línea del ferrocarril y la segunda desde allí hasta el rack que está ubicado al interior de la vieja Maestranza 1. El cable debiera tener una longitud de unos 600 metros. En el extremo de maestranza deberá llegar a un switch que tiene bocas disponibles.

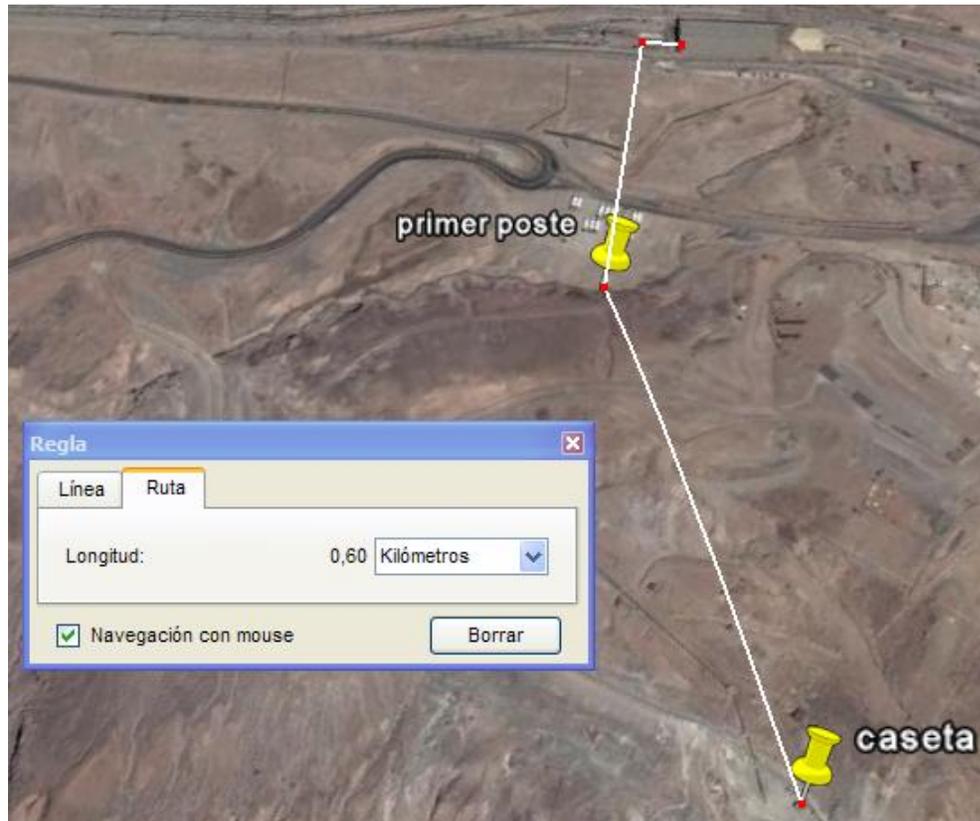


Figura 6.16: Tramo desde la caseta a Maestranza

En esta solución debemos tener en cuenta la mejora que se propone en la primera propuesta, ya que existe el trazado por sobre el suelo, el cual se encuentra en muy malas condiciones. Para esto debemos realizar una de las siguientes alternativas:

- a) Trazar el cable por sobre el suelo en esta etapa procurando hacerlo mediante un corrugado (existe en las bodegas de Colón) que soporte las condiciones climáticas y engancharlo de manera fuerte al suelo en distintas partes a lo largo de su trayecto para mantenerlo fijo.
- b) Trazar el cable por una postación perteneciente a la red eléctrica y que si bien es un poco más largo permite mantener el cable por sobre el suelo, lo que nos da mayor confiabilidad y protección. Este tendido seguiría el siguiente recorrido.

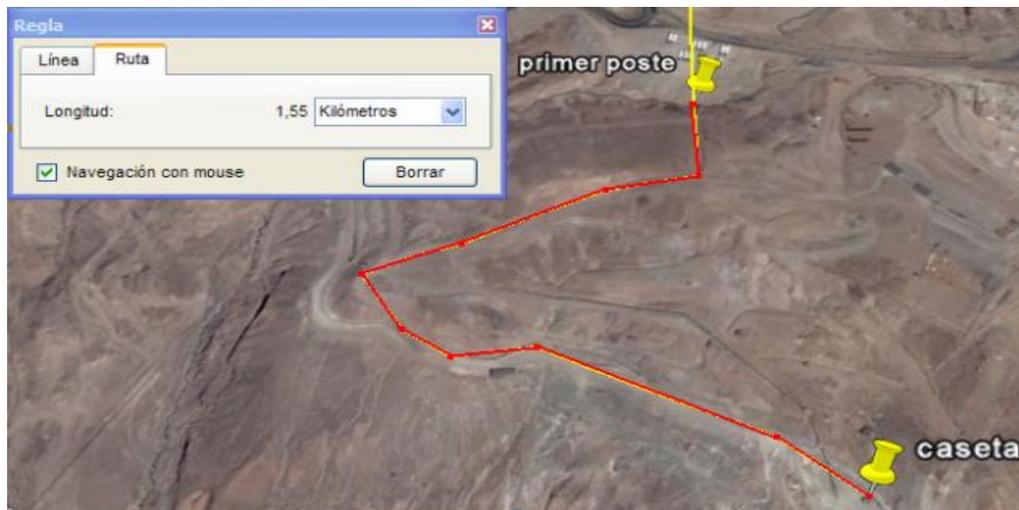


Figura 6.17: Tramo proyectado como solución

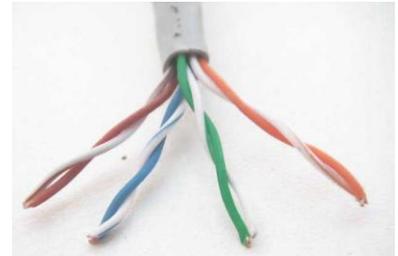
La siguiente fotografía muestra el tendido eléctrico por donde se propone enlazar el cable. Además podemos visualizar en la parte inferior el par telefónico existente sobre el suelo hacia Maestranza.



Figura 6.18: Par telefónico en el suelo

6.2.2. Cableado

El cable que aconsejamos utilizar para hacer llegar la señal desde Weesapos a maestranza será el llamado UTP Categoría 6 para exterior, descrito anteriormente, ya que presenta una cubierta adicional que permite que no se produzcan mayores problemas bajo condiciones climáticas adversas. Para conectarlo al switch al final de su recorrido debemos utilizar un conector RJ 45.



6.2.3. Router

Para realizar este enlace físico a gran distancia, es necesaria la incorporación de un par de Router para el envío de esta información, uno al lado Weesapos y otro para recibirla en TTE 8. Este modem será del tipo SHDSL.bis Router 5110B que son los equipos que actualmente se instalan en diferentes tipos de enlaces físicos en la zona alta de la División El Teniente.



Figura 6.19: Router

6.2.4. Envío de datos

La red está conformada por distintos nodos por donde circula la información desde diferentes puntos a su destino. La siguiente imagen muestra los nodos de conmutación de paquetes, es decir, la manera como la información circulará por la red Ethernet de la división.

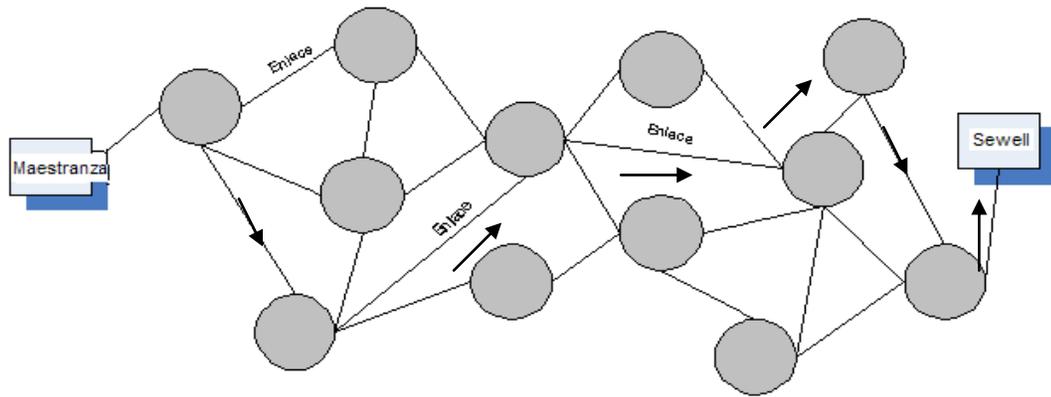


Figura 6.20: Transmisión de datos

Esta comunicación de extremo a extremo se realiza por canales transitorios dependiendo de la disponibilidad. Por otro lado, los sistemas abiertos como éste poseen componentes físicos de red como cableado e interfaz de red. Para continuar debemos tener claro algunos aspectos teóricos:

6.2.5. Concepto de Conexión Unicast

Unicast es el envío de información desde un único emisor a un único receptor, que es el caso de nuestro envío de datos desde Maestranza hasta Sewell.

TCP – UDP

- Establecer una comunicación con doble sentido de transmisión.
- Comprobar que el contenido de los datos transmitidos y recibidos no tienen errores.
- Colocar un identificador del proceso que requiere atención de red.
- Controlar el flujo de los datos hacia y desde la red (congestión, retransmisiones, etc.).

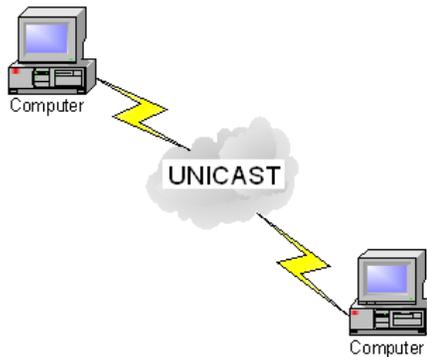


Figura 6.21: Conexión Unicast

6.2.6. Protocolos de acceso al medio de Redes Locales CSMA/CD

CSMA/CD, siglas que corresponden a Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (en español, "Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones"), es una técnica usada en redes Ethernet para mejorar sus prestaciones.

En el método de acceso CSMA/CD, los dispositivos de red que tienen datos para transmitir funcionan en el modo "escuchar antes de transmitir". Esto significa que cuando un nodo desea enviar datos, primero debe determinar si los medios de red están ocupados o no.

El primer paso a la hora de transmitir será saber si el medio está libre. Para eso escuchamos lo que dicen los demás. Si hay portadora en el medio, es que está ocupado y, por tanto, seguimos escuchando. En caso contrario, el medio está libre y podemos transmitir. A continuación, esperamos un tiempo mínimo necesario para poder diferenciar bien una trama de otra y comenzamos a transmitir. Si durante la transmisión de una trama se detecta una colisión, entonces las estaciones que colisionan abortan el envío de la trama y envían una señal de congestión denominada *jamming*.

Después de una colisión (los host que intervienen en la colisión invocan un algoritmo de postergación que genera un tiempo aleatorio), las estaciones esperan un tiempo aleatorio (tiempo de *backoff*) para volver a transmitir una trama.

6.2.7. Encaminamiento y control de conexión entre Extremos

Una red IP es un espacio compartido por sistemas que tienen la capacidad de cargar la pila de protocolos TCP/IP dentro de su sistema operativo, de comunicarse por un medio común con otros sistemas similares y de mantener una dirección que los individualiza en la red.

Los sistemas que se conectan a la red tienen la capacidad de comunicarse con los otros, sin importar la marca ni el modelo, mediante la transferencia de tramas o paquetes. El protocolo IP permite establecer una ruta de transferencia de las tramas desde un origen hasta un destino a través de una interred.

- Una fuente debe conocer una dirección de destino de hardware antes que pueda enviar un paquete IP directamente a ella.
- ARP es el mecanismo que mapea IP a direcciones de hardware.
- ARP usa una difusión local para obtener las direcciones MAC dinámicamente.
- ARP almacena los mapas en cache para uso futuro.
- Las entradas estáticas puede ser ingresadas manualmente en el cache ARP.

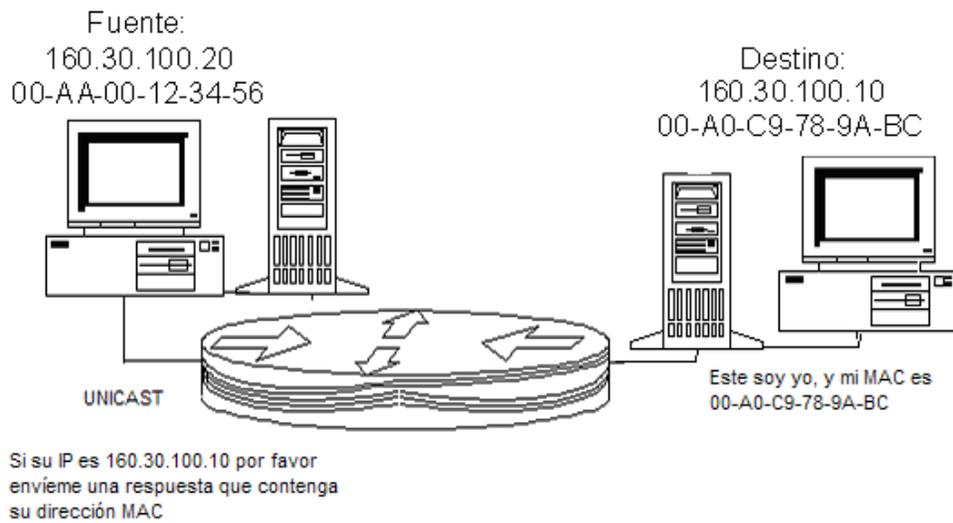


Figura 6.22: Encaminamiento protocolo IP

6.2.8. Direccionamiento y Redes IP

El direccionamiento IP está compuesto por 32 bits, agrupados cada 8 en bytes, los cuales pueden ser traducidos a números decimales para nuestra mejor comprensión

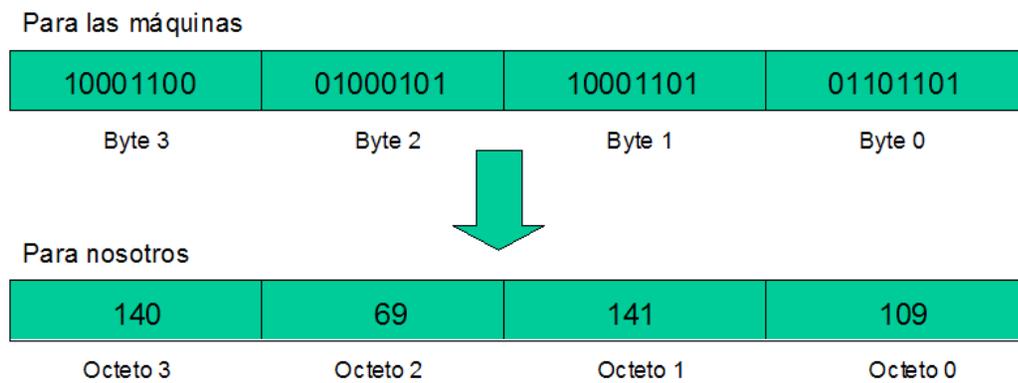


Figura 6.23: Direccionamiento IP

Dos máquinas cualesquiera en distintas redes IP no pueden comunicarse entre ellas por sí mismas:

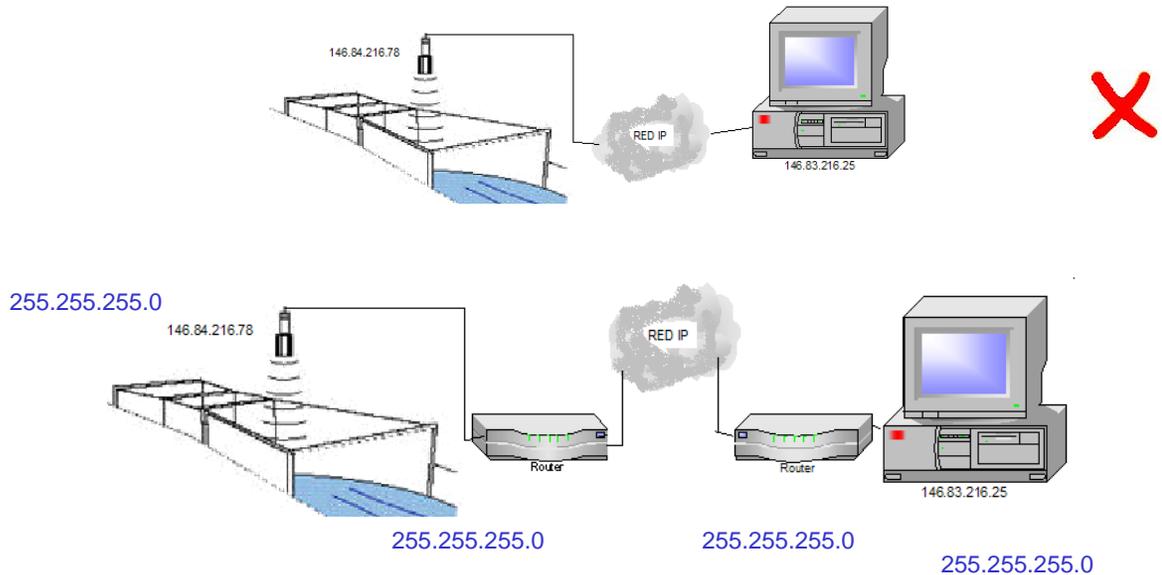


Figura 6.24 Modo correcto e incorrecto de comunicación en redes IP

En la primera imagen podemos ver la manera incorrecta del envío de datos, ya que como se indica en la imagen dos, es necesaria la incorporación de router para el correcto direccionamiento de la información. Para que los router sepan cuando deben transferir datos entre ambas máquinas se utiliza una característica adicional llamada máscara de subred. Esto es lo que se utiliza en la división cuando el cable UTP sobrepasa los 90 mts al querer tender un punto de red. La máscara de subred son 32 bits, los cuales valen 1, en todas aquellas posiciones de la dirección donde el número es un Id de red y 0 donde el número identifica un host.

6.2.9. Máscaras por defecto

- Clase A 255.0.0.0 o 11111111.00000000.00000000.00000000 o /8
- Clase B 255.255.0.0 o 11111111.11111111.00000000.00000000 o /16
- Clase C 255.255.255.0 o 11111111.11111111.11111111.00000000 o /24

El router usa la máscara de red para decidir si envía las tramas al router de la otra red cuando sea requerido. Si el resultado de la operación que realiza el router entre el número IP del host que desea que sus tramas lleguen al PC del otro extremo y su máscara resulta diferente que el realizado entre el número IP de la máquina de destino y su máscara, entonces envía los paquetes por la interred al otro router, el cual los coloca en la red donde está la otra máquina.

Los espacios de direccionamiento están definidos de acuerdo a las máscaras por defecto, pero las redes pueden subdividirse en redes más pequeñas agregando bits en 1 a la máscara original. Así por ejemplo la red 192.168.1.0 que tiene máscara 255.255.255.0 se puede dividir en cuatro subredes al agregarle 2 bits en uno a los 24 que ya tiene, es decir, la máscara queda con 26 bits en uno.

Original	11111111.11111111.11111111.00000000
	255 . 255 . 255 . 0
Nueva	11111111.11111111.11111111.11000000
	255 . 255 . 255 . 192 (128+64)

Las redes nuevas que resultan son:

1ra subred	192.168.1.0	máscara	255.255.255.192
2da subred	192.168.1.64	máscara	255.255.255.192
3ra subred	192.168.1.128	máscara	255.255.255.192
4ta subred	192.168.1.192	máscara	255.255.255.192.

Cada una de ellas puede contener 62 números para ser utilizados por los hosts.

6.2.10. Rescate de datos de Weesapos enviados por Ethernet

En Weesapos existen dos medidores de nivel los cuales entregan cada uno de ellos una señal de corriente de 4-20 mA. Esta corriente es capturada por un MODEM. A su vez este modem se conecta a la radio y es enviada vía RF hasta Sewell. En Sewell una radio RF capta el audio, se lo entrega a un modem y este modem convierte el audio en información vía RS-232, que es leída por el software Intouch, para este efecto Intouch utiliza un software modbus que es el protocolo de comunicación entre el modem (es en este punto donde deberemos actuar con los datos desde la red) y el PC. Y de ahí se despliega la información a la pantalla mediante el SCADA. Para lograr completar esta solución y lograr una eficiencia en el enlace es necesaria la recuperación correcta de la señal enviada a través de la red, pero esto requiere de un análisis detallado, ya que debemos lograr visualizar los datos recibidos por RF y los datos recibidos de Weesapos mediante Ethernet.

A continuación detallaremos algunos aspectos relevantes y pasos a seguir para poder implementar la recepción de los datos:



6.2.11. A nivel de Software:

- Intouch utiliza el protocolo de comunicaciones Modbus para la comunicación modem-PC en el caso del puerto serie.
- Sin embargo, existen versiones del protocolo Modbus, además del puerto serie, para el puerto Ethernet, lo que nos permite utilizar este protocolo de comunicaciones en los dos casos.
- Junto con lo anterior a través de mi investigación puedo asegurar que este software Intouch acepta protocolos Ethernet y serial sin problema. Sólo es necesario incorporar al computador el driver de comunicación que se requiera. En este caso sólo deberemos incorporar soporte para la red Ethernet ya que el driver serial ya existe.
- Recordemos que el software instalado es un Scada de marca Intouch V7.0.

6.2.12. A nivel de Hardware:

- Es indispensable un equipo destinado a procesar la información de buena calidad para así poder instalar un sistema operativo acorde, ojalá Windows XP, el cual permita integrar de manera eficiente el software y hardware necesario y que soporte la red Ethernet sin problemas y a una velocidad coherente. Además debemos tener en cuenta que este equipo también deberá ser parte importante en la visualización de los datos ya recibidos a través del software SCADA.

6.2.13. Estándar RS-232

El puerto RS232, existente en todos los computadores actualmente es el sistema mas común para la transmisión de datos entre computadores y es el medio por el cual llevaremos la información al equipo que procesará la información de las diferentes estaciones.

Todos los computadores como mínimo poseen uno para utilizar un módem, Mouse, u otro dispositivo externo. El RS232 es un estándar de comunicaciones.

- Antiguamente se utilizaba para conectar terminales a un ordenador Host.
- Se envían datos de 7, 8 o 9 bits. La velocidad se mide en baudios (bits/segundo) y sólo son necesarios dos cables, uno de transmisión y otro de recepción.



- Lo más importante del estándar de comunicaciones es la función específica de cada pin de entrada y salida de datos porque nos encontramos básicamente con dos tipos de conectores los de 25 pines y los de 9 pines.
- Se encuentra mas comúnmente la versión de 9 pines aunque la versión de 25 permite mayor información en la transferencia de datos.
- El Puerto serial de nuestro computador en CP1 está estipulado que sea un DB9, es decir de 9 pines.
- Las señales con la que actúa el puerto son digitales (0 - 1) y la tensión a la que trabaja es de 12 Voltios. Resumiendo:

12Vlts. = Lógica "0"
-12 Vlts. = Lógica "1"

Las características de los pines y su nombre típico son:

- TXD Transmitir datos señal de salida
- RXD Recibir datos señal de entrada
- RTS Solicitud de envío señal de salida
- DTR Terminal de datos listo señal de salida
- CTS Libre para envío señal de entrada
- DSR Equipo de datos listo señal de entrada
- DCD Detección de portadora señal de entrada
- SG Tierra referencia para señales
- RI Indicador de llamada señal de entrada

Conector 25 pines	Conector 9 Pines	Nombre	Descripción
<i>1</i>	<i>1</i>	-	<i>Masa Chasis</i>
<i>2</i>	<i>3</i>	<i>TXD</i>	<i>Transmit Data</i>
<i>3</i>	<i>2</i>	<i>RXD</i>	<i>Receive Data</i>
<i>4</i>	<i>7</i>	<i>RTS</i>	<i>Request to send</i>
<i>5</i>	<i>8</i>	<i>CTS</i>	<i>Clear to send</i>
<i>6</i>	<i>6</i>	<i>DSR</i>	<i>Data Set ready</i>
<i>7</i>	<i>5</i>	<i>SG</i>	<i>Signal Ground</i>
<i>8</i>	<i>1</i>	<i>DCD</i>	<i>Data Carrier Detect</i>
<i>15</i>	-	<i>TXC</i>	<i>Transmit Clock</i>
<i>17</i>	-	<i>RXC</i>	<i>Receive Clock</i>
<i>20</i>	<i>4</i>	<i>DTR</i>	<i>Data Terminal Ready</i>
<i>22</i>	<i>9</i>	<i>RI</i>	<i>Ring indicador</i>
<i>24</i>	-	<i>RTXC</i>	<i>Transmin/Receive Clock</i>

Antes de iniciar cualquier comunicación con el puerto RS232 se debe determinar el protocolo a seguir dado que el estándar no permite indicar en qué modo se está trabajando. Es la persona que utiliza el protocolo la que debe decidir y configurar ambas partes antes de iniciar la transmisión de datos.

Los parámetros a configurar son los siguientes:

- Protocolo serie (numero bits-paridad-bits stop).
- Velocidad de puerto.
- Protocolo de control de flujo (RTS/CTS o XON/XOFF).

6.2.14. Modbus

Modbus es un protocolo de comunicaciones basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor. Es un protocolo de comunicaciones estándar, por eso en la industria es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. Las razones por las cuales el uso de Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones son:

- Es público.
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo, un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a un ordenador. Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP).



Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con una suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "Broadcast"). Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros como lo que ocurre con los datos de la canal de relave.

6.2.15. Red Ethernet en Teniente, Codelco-Chile

Ethernet es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CD. El nombre viene del concepto físico de *ether*. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos.

Los elementos de una red Ethernet son: Tarjeta de Red, repetidores, concentradores, puentes, los conmutadores, los nodos de red y el medio de interconexión. Los *DTE* son dispositivos de red que generan lo que son el destino de los datos: como los PC, las estaciones de trabajo, los servidores de archivos, los servidores de impresión; todos son parte del grupo de las estaciones finales. Los *DCE* son los dispositivos de red intermediarios que reciben y retransmiten las tramas

dentro de la red; pueden ser: ruteadores, conmutadores (Switch), concentradores (hub), repetidores o interfaces de comunicación como es el caso del modem.

Específicamente la Red Ethernet de la División El teniente posee las siguientes características:

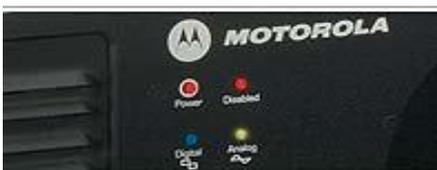
- FAS ETHERNET (define transmisión de los medios).
- TRIPLE E 802.3 (todas las redes).
- 100BASE-T / 1000BASE-T / 1GIGA (par trenzado).
- 100BASE-SX / 1000BASE-SX (fibra óptica).
- SWITCH 6500 (núcleos).
- SWITCH 3750 (distribución).
- SWITCH 2960 (acceso).
- Modem, router, conversores auí, conversores utp, conversores fibra óptica.
- Topología estrella extendida, topología anillo band bond.

Capítulo 7

Propuesta de modernización de equipos de transmisión VHF

7.1. Incorporación nuevo equipo central

Ya analizado el enlace propuesto con equipos antiguos en los diferentes nodos de transmisión podemos sacar algunas conclusiones y trazar diferentes líneas de acción para solucionar los problemas de conectividad sobre todo en el caso de la estación Weesapos, que ya sabemos que es la más complicada de enlazar debido a su ubicación geográfica entre cerros que no permiten la recepción ni envío de información de manera eficiente.



Por otro lado, tenemos que recordar que idealmente el trabajo en frecuencias VHF se realiza para puntos LOS o llamados de línea vista, y en este caso no se cumple esta condición, siendo este el factor principal de las fallas del enlace.

El primer equipo a reemplazar es el GM300, utilizado hasta ahora como transceptor, por uno más moderno y con mejores características como los es el **Repetidor DGR™ 6175 MOTOTRBO**.



Figura 7.1: Imagen comercial del Repetidor DGR™ 6175 MOTOTRBO

Por otro lado, esta propuesta también tiene por función ser de fácil manejo por parte del personal de telecomunicaciones a cargo de su mantención ya que el nuevo equipo a implementar, si bien tiene cualidades inmejorables por su antecesor, es de la misma marca y sigue los mismos patrones a la hora de funcionar.

Esta implementación tiene como parte fundamental el cambio de equipos transceptores en todas las estaciones de trabajo, las cuales ya fueron indicadas anteriormente con su respectiva ubicación y altura. Con esto también buscamos el reemplazo de los equipos de comunicación que están obsoletos y que son utilizados por el personal de la División El Teniente, los que además se encuentran fuera de norma.

7.2. Características transceptor a utilizar

Repetidor DGR™ 6175 MOTOTRBO

El nuevo sistema de radiocomunicación digital

- Duplica el número de usuarios que pueden recibir servicio con un solo canal de 12.5 Khz. con licencia.
- Permite dos vías simultáneas de voz o datos en modo digital de Acceso múltiple por división de Tiempo (TDMA).
- Integra voz y datos para aumentar la eficiencia operativa.
- Ciclo de servicio total continuo, de 100% hasta 45W en VHF y 40W en UHF.
- Posee fuente de alimentación integrada.
- Posee LEDs que indican claramente los modos de transmisión y recepción en ambos segmentos de canal, así como la operación en modo analógico y digital.

- Tiene una instalación estándar en bastidor, no necesita de accesorios ni bastidor especial.
- Permite aplicaciones incluyendo servicio de mensajes de texto MOTOTRBO y servicio de localización MOTOTRBO (localización y rastreo mediante GPS).
- Por otro lado, este equipo al contrario con el utilizado hasta ahora (GM 300) cumple con la norma Subtel.
- Basada en la tecnología de Modulación por división de frecuencia (OFDM).

En definitiva la solución MOTOTRBO es un sistema completo de radio de dos vías que incluye radios portátiles y móviles, repetidores, accesorios y aplicaciones y todo lo necesario para su funcionamiento.

Es un equipo Motorola, misma marca con la que el departamento de telecomunicaciones viene trabajando hace mucho tiempo, por tanto, existe confianza en el personal ya que han rendido de buena manera.

Como ya hemos señalado, una de las características más importantes de este transceptor es la opción de variar entre la transmisión analógica o digital, siendo esta última mucho más eficiente para la transmisión de datos, obteniendo menos pérdidas. Para este caso utiliza dos aspectos digitales importantes que detallaremos más adelante; TDMA y OFDM.

7.3. Especificaciones del repetidor MOTOTRBO DGR 6175

General	VHF	UHF
Número de canales	1	
Salida RF típica	25 - 45 W	25 - 40 W
Frecuencia	136 - 174 MHz	403-470 MHz
Dimensiones (AlxAnxProf)	132.6x482.6x296.5 mm (5.22 x 19 x 11.67 in)	
Peso	14 kg (31 lbs.)	
Consumo de Corriente: En espera Transmisión	1 A (1 A DC típica) 3.8 A (11 A DC típica)	
Rango Operativo de temperatura	-30°C a +60°C	
Ciclo Máximo de trabajo	100%	
Aprobación FCC	ABZ99FT3026 ABZ99FT3025	ABZ99FT4026 ABZ99FT4025

Receptor	VHF	UHF
Frecuencias	136-174MHz	403-470 MHz
Espaciamiento de canal	12.5 kHz / 25 kHz	
Estabilidad de frecuencia (-30° C, +60° C, +25° C)	+/- 0.5 ppm	
Sensitividad analógica (12dB SINAD)	0.3 uV 0.22 uV (típica)	
Sensitividad digital	5% BER: 0.3 uV	
Intermodulación (TIA603C)	78 dB	75 dB
Selectividad de canal adyacente TIA603 TIA603C	65 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz 50 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz	
Rechazo de espurias (TIA603C)	80 dB	75 dB
Distorsión de audio a audio nominal	3% (típica)	
Zumbido y Ruido	-40 dB a 12.5 kHz -45 dB a 25 kHz	
Respuesta de audio	TIA603C	
Emisión de espurias conducidas	-57 dBm	
Espaciamiento de canal	12.5 kHz / 25 kHz	
Estabilidad de frecuencia (-30° C, +60° C, +25° C)	+/- 0.5 ppm	
Potencia de salida	25-45 W	25-40 W
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz	
Zumbido y ruido FM	-40 dB a 12.5 kHz -45 dB a 25 kHz	
Emisiones conducidas / irradiadas	-36 dBm < 1 GHz -30 dBm > 1 GHz	
Potencia de canal adyacente (TIA603C)	60 dB a 12.5 kHz 70 dB a 25 kHz	
Respuesta de audio	TIA603C	
Distorsión de audio	3%	
Modulación FM	12.5 kHz: 11K0F3E 25 kHz: 16K0FE	
Modulación digital 4FSK	12.5 kHz solo datos: 7K60FXD 12.5 kHz voz y datos: 7K60FXE	
Tipo de vodocoder digital	AMBE++	
Protocolo digital	ETSI-TS102 361-1	

7.4. Descripción física del equipo



Figura 7.2: Repetidor DGR™ 6175 MOTOTRBO

- 1.- Ciclo de trabajo 100% continuo.
- 2.- Dos ranuras simultáneas de voz o datos.
- 3.- Fuente de poder integrada.
- 4.- Opera en modo análogo o digital.
- 5.- Indicadores LED identifican claramente los modos de transmisión y recepción.
- 6.- Opciones disponibles para montaje en bastidores o paredes.
- 7.- Tiradores fuertes facilitan la instalación y manipulación.
- 8.- Revierte automáticamente a respaldo de batería.

7.5. Nuevo equipo de radio a incorporar en las estaciones

Radio Móvil DGM™ 6100 MOTOTRBO

El nuevo sistema de radiocomunicación digital



Figura 7.3: Radio Móvil DGM™ 6100 MOTOTRBO

7.6. Características transceptor de estaciones

- Radios móviles disponibles en modelos con pantalla alfanumérica, con GPS y sin GPS.
- Utiliza tecnología digital de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) que duplica el número de usuarios que pueden recibir servicio con un solo canal de 12.5 Khz. con licencia.
- Integra voz y datos para aumentar la eficiencia operativa.
- Permite aplicaciones como servicio de mensajes de texto MOTOTRBO y servicios de localización MOTOTRBO.
- Cuatro botones programables para fácil acceso a sus funciones favoritas.

- Botón de emergencia para alertar al supervisor o despachador en una situación de emergencia.
- Indicadores LEDs multicolor para ofrecer información clara y visible sobre las funciones de llamadas, rastreo y monitoreo.
- Permite una fácil migración de analógico a digital gracias a su capacidad para funcionar en ambos modos.
- Utiliza el sistema IMPRES de audio para mejorar la función de audio.
- Incluye micrófono compacto y ergonómico.
- Funciones mejoradas de administración de llamadas incluyendo alerta de llamada, llamada de emergencia, monitoreo remoto, identificación de llamada (PTT-ID), verificación de radio, llamada privada e inhabilitación de radio.
- Capacidad de enviar mensajes de texto pequeños (requiere micrófono con teclado) y mensajes preprogramados rápidos mediante botones programables o menú.

En las estaciones no es necesario establecer un equipo repetidor, sino que solo una estación móvil MOTOTRBO con las mismas cualidades de operación que el repetidor. Es más económico y es suficiente para satisfacer nuestro envío de información de los sensores por medio de radiofrecuencia.

7.7. Especificaciones del radio DGM 6100

General	VHF	UHF
Número de canales	160	
Salida RF típica		
Potencia baja	1-25 W	1-25 W
Potencia alta	25-45 W	25-40 W
Frecuencia	136 - 174 MHz	403-470 MHz
Dimensiones (Alt x An x Prof)	51 x 175 x 206 mm (2.01 x 6.89 x 8.11 in)	
Peso	1.8 kg (4.0 lbs.)	
Consumo de corriente:	0.81 A max	
En espera	2 A max	
Recepción a audio nominal	1-25 W: 11.0 A max	
Transmisión	25-40 W: 14.5 A max	
Aprobación FCC	ABZ99FT3083 ABZ99FT3082	ABZ99FT4081 ABZ99FT4080

Receptor	VHF	UHF
Frecuencias	136 - 174 MHz	403-470 MHz
Espaciamiento de canal	12.5 kHz / 25 kHz	
Estabilidad de frecuencia (-30° C, +60° C, +25° C)	+/- 1.5 ppm (sin GPS) +/- 0.5 ppm (con GPS)	
Sensitividad analógica (12dB SINAD)	0.3 uV 0.22 uV (típica)	
Sensitividad digital	5% BER: 0.3 uV	
Intermodulación (TIA603C)	78 dB	75 dB
Selectividad de canal adyacente TIA603 TIA603C	65 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz 50 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz	
Rechazo de espurias (TIA603C)	75 dB	
Audio Nominal	3W (Interno) 7.5 W (Externo - 8 ohms) 13W (Externo - 4 ohms)	
Distorsión de audio a audio nominal	3% (típica)	
Zumbido y ruido	-40 dB a 12.5 kHz -45 dB a 25 kHz	
Respuesta de audio	TIA603C	
Emisión de espurias conducidas (TIA603C)	-57 dBm	

Transmisor	VHF	UHF
Frecuencias	136 - 174 MHz	403-470 MHz
Espaciamiento de canal	12.5 kHz / 25 kHz	
Estabilidad de frecuencia (-30° C, +60° C, +25° C)	+/- 1.5 ppm (sin GPS) +/- 0.5 ppm (con GPS)	
Potencia de salida		
Potencia baja	1-25 W	1-25 W
Potencia alta	25-45 W	25-40 W
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz	
Zumbido y ruido FM	-40 dB a 12.5 kHz -45 dB a 25 kHz	
Emisiones conducidas / irradiadas	-36 dBm < 1 GHz -30 dBm > 1 GHz	
Potencia de canal adyacente (TIA603C)	60 dB a 12.5 kHz 70 dB a 25 kHz	
Respuesta de audio	TIA603C	
Distorsión de audio	3%	
Modulación FM	12.5 kHz: 11K0F3E 25 kHz: 16K0FE	
Modulación digital 4FSK	12.5 kHz Solo datos: 7K60FXD 12.5 kHz Voz y datos: 7K60FXE	
Tipo de vocoder digital	AMBE++	
Protocolo digital	ETSI-TS102 361-1	

7.8. Modulación utilizado por los equipos MOTOTRBO

7.8.1. OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency-División Multiplexing) es un esquema de modulación digital en el cual se divide el espectro disponible en varios subcanales de poco ancho de banda, cada uno centrado en una portadora, todas cercanas y ortogonales entre sí. Gracias a la ortogonalidad de las mismas, se elimina el cross-talk entre los subcanales y se simplifica el diseño del transmisor y el receptor, ya que no se requiere un filtro para cada subcanal. La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto (*multi-path*), que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a las atenuaciones selectivas en frecuencia y frente a las interferencias de RF. Debido a las características de esta modulación, es capaz de recuperar la información de entre las distintas señales con distintos retardos y amplitudes (*fading*) que llegan al receptor, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.

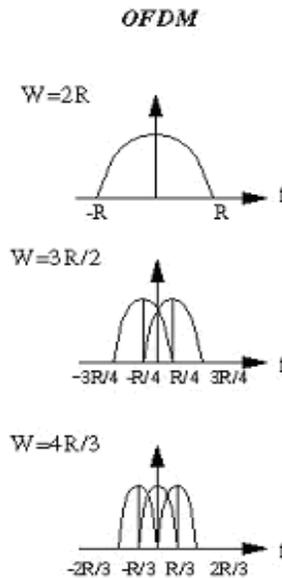


Figura 7.4: Esquema de modulación OFDM

7.8.2. TDMA

TDMA por su parte (Acceso múltiple por división de tiempo) es una técnica de multiplexación que distribuye las unidades de información en ranuras ("slots") alternas de tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias.

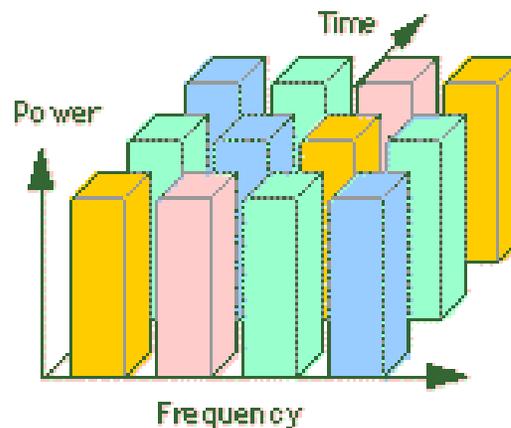


Figura 7.5: TDMA

También se podría decir que es un proceso digital que se puede aplicar cuando la capacidad de la tasa de datos de la transmisión es mayor que la tasa de datos necesaria requerida por los dispositivos emisores y receptores. En este caso, múltiples transmisiones pueden ocupar un único enlace subdividiéndole y entrelazándose las porciones.

Para entender un poco más las ventajas de la tecnología TDMA podemos señalar que es eficiente tanto en espectro como en potencia. En TDMA es una estructura de canales que se transmite análogamente, pero el esquema digital discrimina las llamadas por intervalos de tiempo y triplica la capacidad en una canal. Perteneció a la segunda generación (2G) de las tres técnicas de acceso básicas que existen. Esta técnica es conocida también como IS-54. El esquema siguiente clarifica de mucha mejor manera en el caso de nuestro equipo Motorola la funcionalidad de TDMA.



Figura 7.6: Grafico potencia de la señal v/s calidad de audio referente a MOTOTRBO

7.9. Antenas

El tipo de antena que utilizaremos es direccional de 3 elementos del tipo Yagi al igual que con el equipo anterior.

7.10. Fuente de alimentación de equipos

Solo necesitamos una fuente de poder que sea capaz de suministrar sin problemas los requerimientos de corriente del equipo transceptor. En bodega podemos encontrar variadas fuentes que entregan los 13 volt necesarios como alimentación.



7.11. Cableado

Para este enlace se propone utilizar cable coaxial como medio de transmisión físico entre componentes. Los cables elegidos y sus respectivas características ya fueron mencionadas anteriormente.

- Cable Coaxial RG 213 y
- Cable Heliac

Motorola lanzó por primera vez la plataforma de radio digital de dos vías MOTOTRBO hace casi dos años, basada en las normas del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones y los estándares de Radio Móvil Digital (DRM). Las radios digitales de dos vías ofrecen alcance, calidad de voz, seguridad y vida útil de batería optimizados en comparación con otras tecnologías digitales y por sobre las alternativas analógicas. Presentan además capacidades de datos que son un factor clave que impulsa la adopción de las radios digitales. Las organizaciones como Codelco y específicamente la División El Teniente se beneficia de la eficacia operativa y de la capacidad para entregar mayor movilidad de MOTOTRBO.

Las radios MOTOTRBO operan tanto en modo analógico como digital, facilitando la migración sin inconvenientes de analógico a digital. Asimismo, MOTOTRBO opera en la misma separación de canales de 12.5, 20 y 25 KHz que los sistemas de radio analógicos existentes, posicionándose en los esquemas de canales existentes sin la necesidad de replanificar la frecuencia.



Figura 7.7: Propuesta comercial MOTOTRBO; Cambie de Digital

Capítulo 8

Plataforma de software

Como ya hemos señalado, en Sewell se encontrará la central, lugar al cual llegarán todos los datos de las estaciones de telemetría del sector alto. En ella se espera recibir la señal mediante una antena yagi de 3 elementos ubicada en Chancado Sewell, es desde ahí donde se encaminarán los datos medidos por los sensores a un PC el cual será monitoreado permanentemente por personal de El Teniente. En este PC se va a implementar un software que permite visualizar mediante una amigable y fácil interfaz los datos. El software a utilizar es un *Scada de marca Intouch V7.0*

8.1. Wonderware Intouch HMI

Es un Software para monitorización y control de procesos industriales, el cual, ofrece una sobresaliente facilidad de uso, creación y configuración de gráficos. Permite a los usuarios la creación y puesta en marcha de aplicaciones para la captura de información a tiempo real mediante potentes asistentes. Las aplicaciones creadas con InTouch son flexibles para cubrir las necesidades y permitir su ampliación para el acondicionamiento a futuros requerimientos, manteniendo todos los esfuerzos e inversiones realizadas en las primeras fases de desarrollo. Punto sumamente importante para lograr la migración a nuevos sistemas y apoyar la modernización que se desea en la División El Teniente.



Una de las claves en la selección de un software para la generación de aplicaciones HMI es su facilidad de uso. InTouch HMI facilita a los usuarios el desarrollo fácil y rápido de aplicaciones industriales para crear las vistas gráficas de sus procesos. Este software es parte de la tecnología

Scada. Como veremos más adelante esta plataforma permite visualizar la monitorización de los sensores de la canal de relave de manera clara y amigable.

A este tipo de sistemas se les llama también sistemas HMI, y podemos pensarlos como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador. Los sistemas HMI en ordenadores se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador que en este caso es el puerto Serial. Se utilizó este software porque se posee la licencia del producto en el departamento de Informática de División el Teniente y es el software mas utilizado por empresas mineras en cuanto a monitoreo a distancia.

8.2. Sistemas Scada

Es una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.).



En nuestra División se ha implementado en estos últimos tiempos un sinnúmero de aplicaciones Scada en los diferentes niveles de producción. Lo anterior porque Scada comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial, para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso.

El sistema SCADA también puede mostrar gráficas con históricos, tablas con alarmas y eventos, permisos y accesos de los usuarios, que es lo que se quiso aprovechar en el software en CP1. En definitiva, SCADA satisface las necesidades de:

- Limitaciones de la visualización de los sistemas de adquisición y control.
- Control software.
- Recoger, almacenar y visualizar la información.

8.3. Aplicación del software Scada marca InTouch V7.0 En CP1

En Weesapos, lugar que presenta problemas de transmisión existirán dos medidores de nivel los cuales entregarán cada uno de ellos una señal de corriente de 4-20 mA. Esta señal es procesada y enviada vía RF hasta Sewell, donde un sistema de recepción en VHF capta el audio, se lo entrega a un modem y este modem convierte el audio en información vía RS-232, que es leída por el software Intouch. Para este efecto Intouch utiliza un software Modbus que es el protocolo de comunicación entre el modem y el PC. De ahí se despliega la información a la pantalla mediante el SCADA. Existe también un sistema de alarma y una visualización de historial. Asimismo ocurre con las otras estaciones.

Para lograr el objetivo se diseñó la base de una aplicación en base al Software InTouch V7.0, software muy fácil de usar que presenta una interfaz gráfica que permite crear en la pantalla una imagen que representa la canal de relaves, indicar las distintas estaciones y establecer el lugar de la pantalla donde aparecerá el nivel medido para cada estación entre otras cosas. Asimismo, se insertan subventanas donde se aprecia la forma de onda de las diferentes señales provenientes de las estaciones, esto, diferenciando los sensores del lado Sewell con un color negro y los sensores del lado Colón con un color rojo, colores que fueron definidos por la jefatura del Departamento de Telecomunicaciones.

Es importante recalcar que sólo se diseñó por este tesista la parte gráfica del software, dejando en manos de un especialista informático de la División El Teniente la programación que permitiría enlazar el software con los datos recibidos de manera inalámbrica. Es por esto que en el presente trabajo no expondremos datos de programación. A continuación se muestra la base gráfica del sistema de monitoreo de las estaciones introduciendo sólo valores a modo de ejemplo y de forma manual para simular la funcionalidad del sistema.

El software SCADA nos entrega la siguiente pantalla para visualizar los datos y como se ve en la imagen el menú principal consta de 3 partes importantes ya mencionadas.

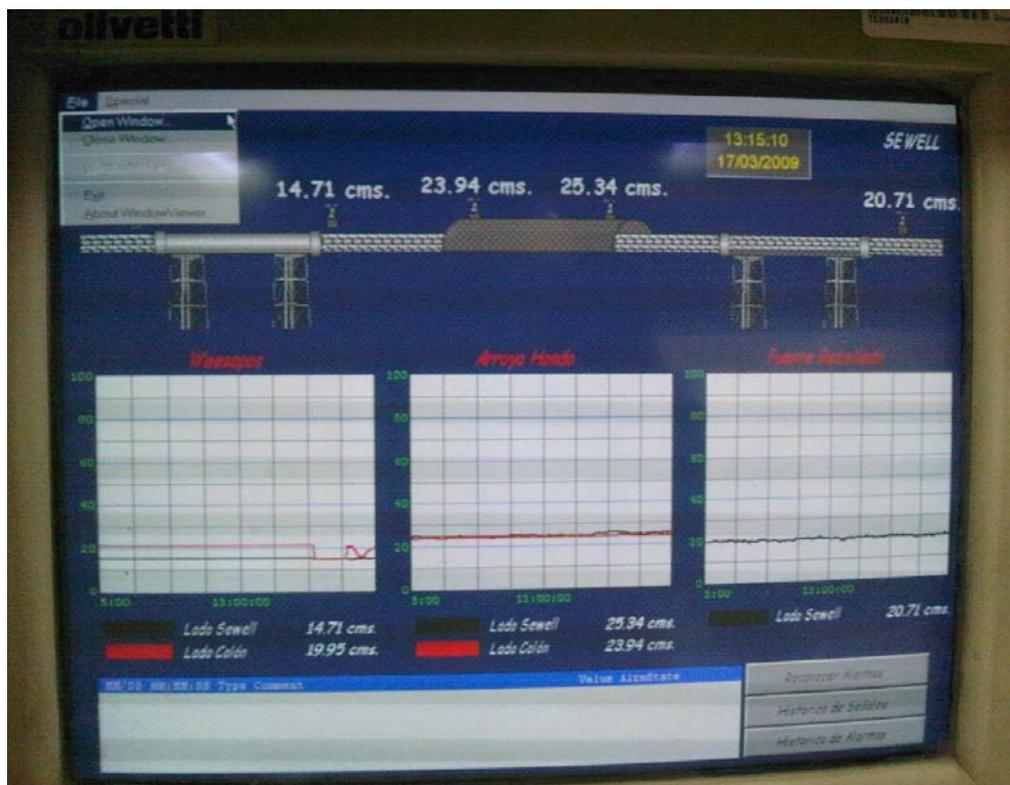


Figura 8.1: Pantalla principal desplegada por software de visualización

- a) En la parte superior podemos visualizar la canal de relave y sus distintas estaciones, cada una de ellas con la medición en tiempo real de la altura del caudal en ese punto.

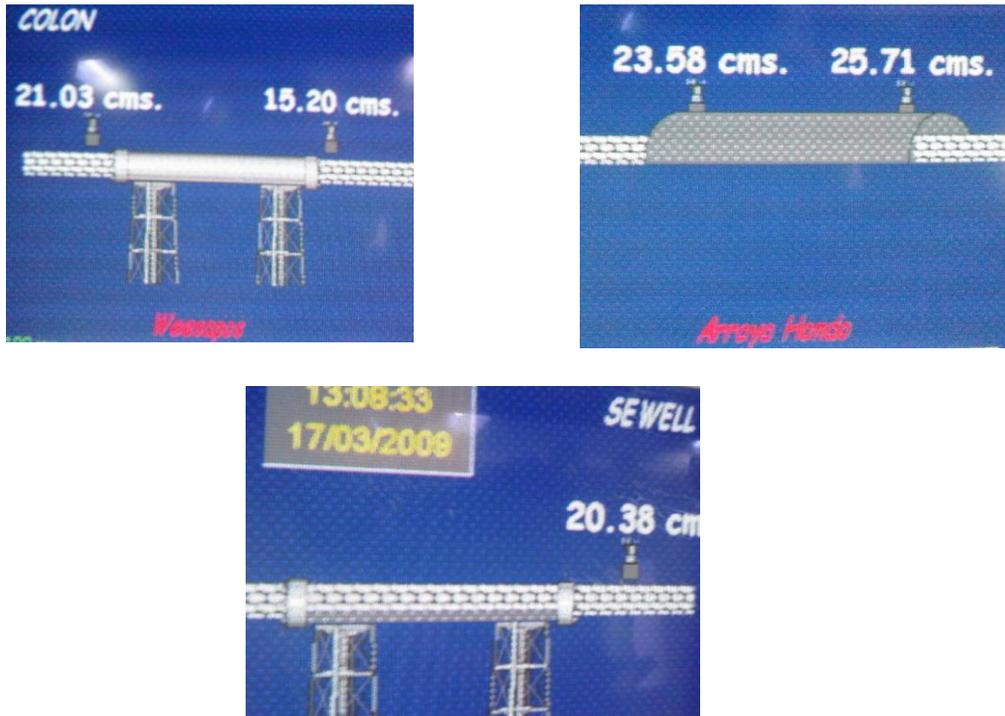


Figura 8.2: Representación canal de relaves en software

- b) Más abajo en la pantalla podemos visualizar la forma de onda de la señal que se recibe de las estaciones de telemetría.

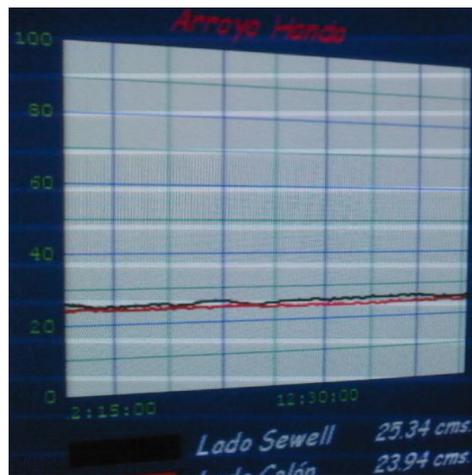


Figura 8.3: Ejemplo de señal de nivel que llega a CP1 desde Arrollo Hondo

- En la parte inferior de cada grafico de señal vemos la lectura del mismo. Con color Negro se identifica la estación del lado Sewell y con rojo lado Colon. En Puente Rebolledo solo existe un sensor por lo que solo tiene el indicador Negro (lado Sewell).
- c) En la tercera sección de la página principal podemos ver un recuadro que mostrará los errores producidos durante el proceso, es decir, si existe un error cualesquiera, en este recuadro se deberá proyectar una abreviación característica para el tipo de error ya sea este producido en la recepción de la señal o en el proceso de visualización.

8.4. Mensaje de alerta

Cuando la conexión con alguna estación se pierda el software Scada desplegará un mensaje de error a la pantalla, además de indicar con unos signos de interrogación donde antes se mostraba el nivel medido el problema. En el recuadro se indicará la estación de la cual no se está recibiendo datos e invita a comunicarse con el personal encargado.

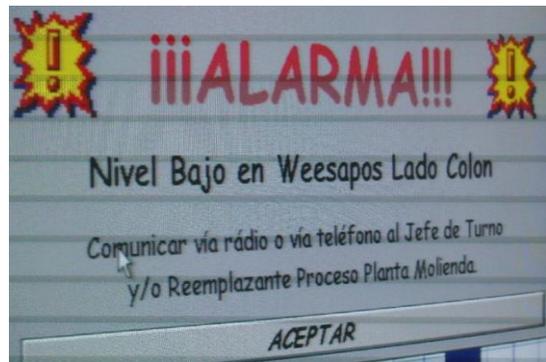


Figura 8.4: Mensaje de alarma que entrega el software al no recibir señal

- Existen dos opciones adicionales que deberá poseer el software en su menú principal:
 - a) *Histórico de alarmas*: Base de datos que almacenará la información general de todas las alarmas producidas, identificando con colores el tipo de problema detectado.
 - b) *Histórico de señal*: Se visualiza la señal en el transcurso del tiempo, pudiendo movernos a través de la misma eligiendo que estación es la que deseamos analizar.

Capítulo 9

Costos asociados

Este proyecto está orientado a ser, además de una solución eficiente, una propuesta acorde con las dificultades económicas del país. Es por esto que se han abaratado costos en muchos aspectos que detallaremos más adelante. A continuación se presentan dos tablas por cada estación. La primera nos entrega los costos asociados al utilizar el Transceptor GM300 y la segunda el MOTOTRBO.

9.1. En Puente Rebolledo

Utilizando Transceptor GM300

Descripción	Costo por Unidad	Total
Un Equipo Motorola GM300.	-	-
GREYLINE TRANSMISOR +SENSOR PZ32T.	\$ 886.788	\$ 886.788
Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 100.000
6 m de Cable Coaxial RG62AU.	\$ 958,75 x m	\$ 5.752
2 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 3.926
Una Antena Yagi de 3 elementos	\$ 79.792	\$ 79.792
Total Estimado.		\$ 1.076.258.-

Utilizando MOTOTRBO

Descripción	Costo por Unidad	Total
Un Equipo MOVIL MOTOROLA DGM6100 VHF 136-174MHZ 160 CANALES 5 WATT	\$ 511.936	\$ 511.936
GREYLINE TRANSMISOR +SENSOR PZ32T.	\$ 886.788	\$ 886.788
Una Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 100.000
6 m de Cable Coaxial RG62AU.	\$ 958,75 x m	\$ 5.752
2 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 3.926
Una Antena Yagi de 3 elementos	\$ 79.792	\$ 79.792
Total Estimado.		\$ 1.588.194

9.2. En Arroyo Hondo:

Utilizando Transceptor GM300

Descripción	Costo por Unidad	Total
Un Equipo Motorola GM300.	-	-
Dos Dispositivos LIT 25 + sensor PZ32T.	\$ 886.788	\$ 1.773.576
Dos Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 200.000
100 m de Cable Coaxial RG62AU.	\$ 958,75 x m	\$ 95.875
14 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 27.482
Una Antena Yagi de 3 elementos	\$ 79.792	\$ 79.792
Total Estimado.		\$ 2.176.725

Utilizando MOTOTRBO

Descripción	Costo por Unidad	Total
Un Equipo Movil Motorola Dgm6100 Vhf 136-174mhz 160 Canales 5 Watt	\$ 511.936	\$ 511.936
Dos Dispositivos LIT 25 + sensor PZ32T.	\$ 886.788	\$ 1.773.576
Dos Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 200.000
100 m de Cable Coaxial RG62AU.	\$ 958,75 x m	\$ 95.875
14 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 27.482
Una Antena Yagi de 3 elementos	\$ 79.792	\$ 79.792
Total Estimado.		\$ 2.688.661

9.3. En Weesapos

En el caso de estación Weesapos debemos tener en consideración el envío de datos desde Teniente 8, por lo tanto, los elementos que se utilizarán con sus respectivos costos son:

Utilizando Transceptor GM300

Descripción	Costo por Unidad	Total
Un Equipo Motorola GM300.	-	-
Dos Dispositivos LIT 25 + sensor PZ32T.	\$ 886.788	\$ 1.773.576
Dos Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 200.000
10 m de Cable Coaxial RG62AU.	\$ 958,75 x m	\$ 9.587
5 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 9.815
Una Antena Yagi de 6 elementos	\$ 118.500	\$ 118.500
Cable UTP exterior Cat 6	\$ 128.935 x 305 m	\$ 773.610
Total Estimado.		\$ 2.885.088

Utilizando MOTOTRBO

Descripción	Costo por Unidad	Total
Un Equipo MOVIL MOTOROLA DGM6100 VHF 136-174MHZ 160 CANALES 5 WATT	\$ 511.936	\$ 511.936
Dos Dispositivos LIT 25 + sensor PZ32T.	\$ 886.788	\$ 1.773.576
Dos Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 200.000
10 m de Cable Coaxial RG62AU.	\$ 958,75 x m	\$ 9.587
5 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 9.815
Una Antena Yagi de 6 elementos	\$ 118.500	\$ 118.500
Cable UTP exterior Cat 6	\$ 128.935 x 305 m	\$ 773.610
Total Estimado.		\$ 3.397.024

9.4. En CP1

Utilizando Transceptor GM300

Descripción	Costo por Unidad	Total
Un Equipo Motorola GM300.	-	-
Una Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 100.000
2 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 3.926
Una Antena Yagi de 3 elementos	\$ 79.792	\$ 79.792
PC (para la visualización de los datos)	-	-
Total Estimado.		\$ 183.718

Utilizando MOTOTRBO

Descripción	Costo por Unidad	Total
Repetidor Dgr6175 Vhf 136-174 1-25w Lp	\$ 1.436.798	\$ 1.436.798
Una Fuente de Poder.	\$ 100.000	\$ 100.000
2 m de Cable coaxial RG213.	\$ 1963,00 x m	\$ 3.926
Una Antena Yagi de 3 elementos	\$ 79.792	\$ 79.792
PC (para la visualización de los datos)	-	-
Total Estimado.		\$ 1.620.516

9.5. Gastos Varios

Por otro lado, debemos tener en cuenta algunos puntos importantes:

Gastos varios	Total
Casetas.	\$ 400.000
Mano de Obra.	\$ 300.000
Movilización.	\$ 50.000
Total Estimado.	\$ 750.000

- Están estipuladas dos casetas, una en Arroyo Hondo y la otra en Teniente 8, cada una con un valor de 200 mil pesos. En Puente Rebolledo no existe la necesidad ya que se aprovechará un espacio físico existente en el lugar
- La mano de obra radica principalmente en el pago de horas extras al personal existente en el departamento de telecomunicaciones de Colon Bajo, ya que solo será necesario trabajar 5 días extras por parte de 3 técnicos para la labor de instalación del sistema.
- Movilización se refiere al pago de bencina correspondiente al uso de la camioneta del departamento, la cual facilitara la llegada a las distintas estaciones.

- Los equipos GM300 no llevan costo adjunto debido a que ya no existen en el mercado, solo se pueden encontrar en el mercado informal y existen unidades disponibles en la División para poder utilizarlas en el proyecto. Así mismo, los PC a utilizar y la licencia del software Scada serán responsabilidad exclusiva del departamento de Informática de la división.

9.6. Costo total

Podemos concluir que el costo total estaría definido por:

Utilizando Transceptor GM300

Estación	Total
Puente Rebolledo	\$ 1.076.258
Arrollo Hondo	\$ 2.176.725
Weesapos	\$ 2.885.088
CP1	\$ 183.718
Gastos varios	\$ 750.000
Total Estimado.	\$ 7.071.789

Utilizando MOTOTRBO

Estación	Total
Puente Rebolledo	\$ 1.588.194
Arrollo Hondo	\$ 2.688.661
Weesapos	\$ 3.397.024
CP1	\$ 1.620.516
Gastos varios	\$ 750.000
Total Estimado.	\$ 9.294.395

- El costo total del proyecto utilizando equipamiento ya existente en la División es de aproximadamente **14 mil 500 dólares**. Si se moderniza el equipamiento nos refleja un costo de **17 mil 500 dólares**.

Conclusiones

- La solución de enviar los datos desde TTE 8 mediante un enlace VHF después del envío físico de los datos desde Weesapos es quizás la solución de mayor facilidad, ya que se comprueba mediante el Anritsu que la señal llega de buena manera ya que la portadora se identifica claramente en el instrumento y con un nivel bastante bueno.
- La solución de envío por la Red Ethernet es viable, sin embargo, es un poco más compleja por el hecho de contar con diferentes protocolos a nivel informático y de comunicaciones necesarios para poder establecer el enlace en CP1, factor que involucra la incorporación de otro departamento de la División en el proyecto.
- Es importante verificar el funcionamiento de las Antenas de las distintas estaciones, sobre todo en Weesapos además de regular su buena orientación. Además es importante procurar la instalación de las antenas a una buena altura para obtener un mejor rendimiento del enlace
- Es importante a la hora de la planificación del cableado procurar la protección del mismo, esto mediante la utilización de corrugados o mensajeros, ya que las constantes nevazones de invierno podrían corroer el material y perjudicar la transmisión de los datos..
- Existen dos fenómenos físicos que debemos tener sumamente presente en este tipo de envíos de información por medio de radiofrecuencia, ellos son la Difracción y Fresnel. El primero permite el paso de la información a través de un obstáculo formado una envolvente en torno al objeto lo que permite a la señal llegar sin necesidad de LoS y el segundo nos define las zonas de despeje que hay que tener en consideración.

- Creemos que se debería considerar el envío de las diferentes señales de medición a Rancagua para su monitoreo desde allí. En el informe Anexo se considera un enlace satelital desde CP1 a Millán (Ubicación sede Codelco en Rancagua) para tal efecto. Además este enlace podría ser modelo para un futuro enlace entre las distintas Divisiones de Codelco Chile ya que es una opción bastante confiable y que presenta un costo menor a lo que se puede pensar.
- La Tecnología OFDM presente en este equipo nos permite una mayor eficiencia en el uso del espectro acercándonos a la capacidad máxima del canal lo que nos significa una transferencia confiable.
- El equipamiento GM 300 de Motorola presente en las estaciones ya está obsoleto y esta fuera de norma, por lo que es importante una modernización a nivel de empresa mediante estas tecnologías digitales que amplían el campo de aplicaciones. Así el Repetidor DGR 6175 y el equipo Radio Móvil DGM 6100 son una muy buena alternativa dentro de las empresas con las que se acostumbra a trabajar en la División El Teniente, ya que ofrecen mayor rendimiento y funcionalidad además de mejor cobertura.
- Dentro del estudio de tecnologías aplicables a la transmisión de los datos en el proyecto también estuvo presente el Sistema Canopy y en general la cartera Motowi4 de Motorola, sin embargo, no fueron incluidos en el informe por ser sistemas sumamente costosos y sobre proporcionados para el envío de los datos que se envían en el sistema de telemetría.
- Este proyecto ha significado para mí la apertura de oportunidades dentro del campo de las telecomunicaciones. Actualmente me desarrollo en el diseño de enlaces de MMOO para una importante empresa de telefonía en el país, aplicando sin duda todo lo aprendido en el desarrollo de este proyecto y en la Universidad Austral.

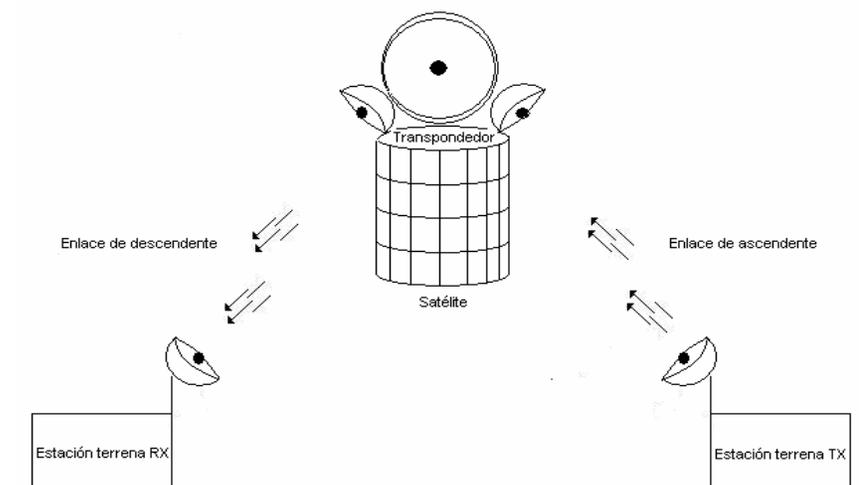
Anexo

Introducción

Este enlace satelital está diseñado para prestar solución a la transferencia de datos desde Sewell hasta la sede del Teniente en la ciudad de Rancagua. El enlace satelital diseñado cubre las necesidades de Uplink y Downlink (enlace de subida y de bajada), además de ser una guía para un posible diseño de enlace entre las distintas divisiones de la corporación Codelco-Chile.

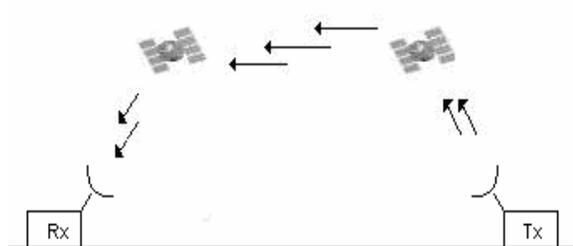
Modelo del enlace satelital

Básicamente un enlace satelital se conforma de tres etapas. Dos están ubicadas en las estaciones terrestres, a las cuales llamaremos modelos de enlace de subida o bajada y la tercera etapa estará ubicada en el espacio, donde la señal de subida cruzará por el transpondedor del satélite y será regresada a la tierra a una menor frecuencia con la que fue transmitida.



Enlaces cruzados

En ocasiones, para realizar una comunicación satelital no solo se va a requerir de un solo satélite. Esto significa que si no hay línea de vista entre el satélite y el receptor se puede utilizar otro satélite que tenga línea de vista con la estación receptora. De este modo se



podrán realizar transmisiones a mayor distancia. No es el caso de nuestro enlace, donde la distancia es relativamente corta, por lo cual no es necesario un enlace cruzado.

Diseño del enlace

El enlace lo realizaremos desde Chancado Sewell a la ciudad de Rancagua, donde se encuentra la sede de División el Teniente, Codelco-Chile. La distancia en línea recta sin tomar en consideración las características del terreno es de 35,69 Km.



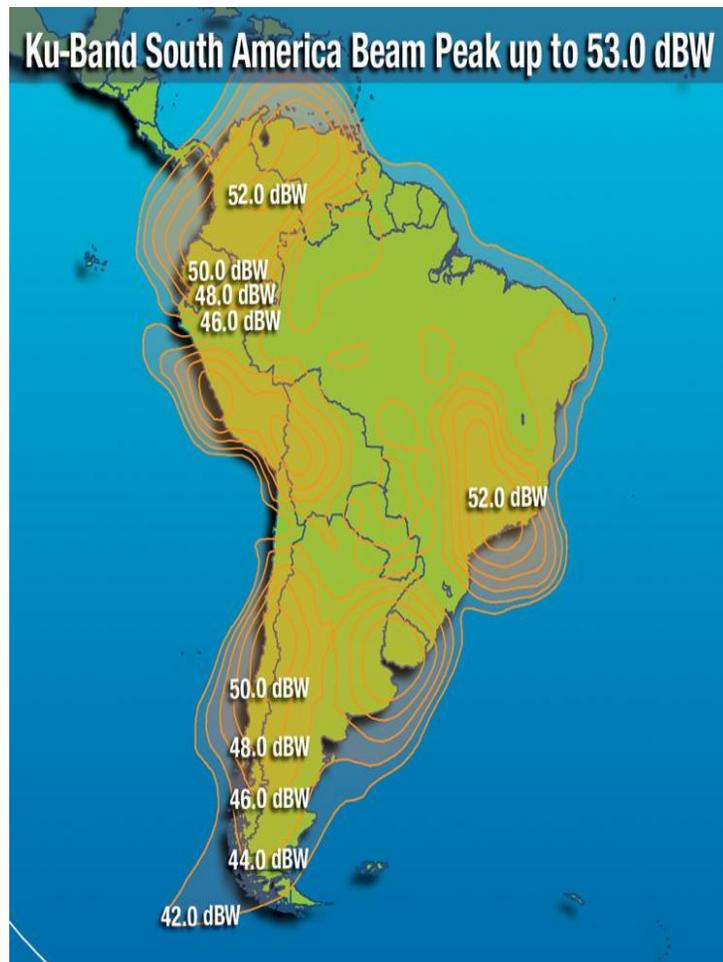
Para ello, elegimos la empresa INTELSAT quien tiene satélites distribuidos para distintos fines y ubicaciones, la cual nos proveerá del servicio de enlace.



Esquema donde se muestran los distintos satélites de la empresa INTELSAT

El Satélite Elegido Por Su Rango De Cobertura Es El
IS-1R at 315°E – (Formerly PAS-1R at 45°W)

PAS-1R at 45°W



Las ubicaciones geográficas de las diferentes estaciones terrenas y satelital se entregan en el siguiente cuadro resumen.

Ubicación Geográfica	Satélite IS-1R	Sewell	Millán
Latitud	0°	34° 4' 58,87'' S	34° 10' 31,86'' S
Longitud	45° W	70° 22' 41,20'' O	70° 44' 57,59'' O

Calculo del enlace de subida O Uplink

Para la realización del enlace de subida o uplink, se considerará CP1 Sewell como estación terrena para así poder enviar los datos recabados por los distintos sensores.



Vista de Sewell gracias al software libre Google Earth muy útil para este tipo de aplicaciones

Cálculo de Azimut y Elevación

Cuando hablamos la orientación es equivalente a hablar de azimut y elevación. Donde el *Acimut* ¿AZIMUT O ACIMUT? es el ángulo horizontal al que hay que girar la antena, desde el Polo Norte terrestre hasta encontrar el satélite. Y la *Elevación* es el ángulo al que hay que elevar la antena desde el horizonte para localizar el satélite en cuestión. Hay que mencionar que existe

tan sólo una pareja de azimut y elevación por cada satélite y lugar. Por tanto obteniendo las coordenadas de nuestro satélite a utilizar y de nuestra estación terrena transmisora, podremos obtener nuestro azimut y elevación. La página Web www.intelsat.com nos ofrece la posibilidad de calcular nuestro azimut y elevación con respecto a uno de sus satélites.

Específicamente <http://www.intelsat.com/resources/satellitedata-pas/calc-look-angle.asp>

Como utilizaremos el Satélite **IS-1R**, seleccionamos dicho satélite e ingresamos las coordenadas de nuestra estación terrena emisora, 34° 4' 58,87" Latitud Sur y 70° 22' 41,20" Longitud Oeste. Los resultados del ejercicio realizado a través del programa, fueron:

$$\text{Azimut} = 40,273899^\circ$$

$$\text{Ángulo de Elevación} = 42,011084^\circ$$

<http://www.intelsat.com> - Look Angles Calculator - PanAmSat - Microsoft Internet Explorer

PanAmSat Look Angles Calculator

PanAmSat Look Angles Calculator is for legacy purposes only. The satellite list and locations are no manually entered.

Satellite	Location [COUNTRY - City]	Antenna Pointing
Galaxy 13	USA - Albuquerque- NM	40.273899
Galaxy 14	USA - Anchorage- AK	Azimuth
Galaxy 15	USA - Atlanta- GA	42.011084
Galaxy 16	USA - Boston- MA	Elevation
Horizons 1	USA - Buffalo- NY	
PAS-1R	USA - Castle Rock- CO	
PAS-2	USA - Cherry Hill- NJ	
PAS-3	USA - Chicago- IL	
PAS-4	USA - Cleveland- OH	
PAS-5	USA - Columbia- SC	
PAS-6B	USA - Dallas- TX	
PAS-7	USA - Denver- CO	

Longitude (0° to +360°): 45 N Lat (+90° to -90°): -34.0827

W Lon (0° to +360°): 70.378

Azimuth is measured in true north, so users will have to correct for the magnetic declination at their locations.

Calculate Look Angle Clear Form

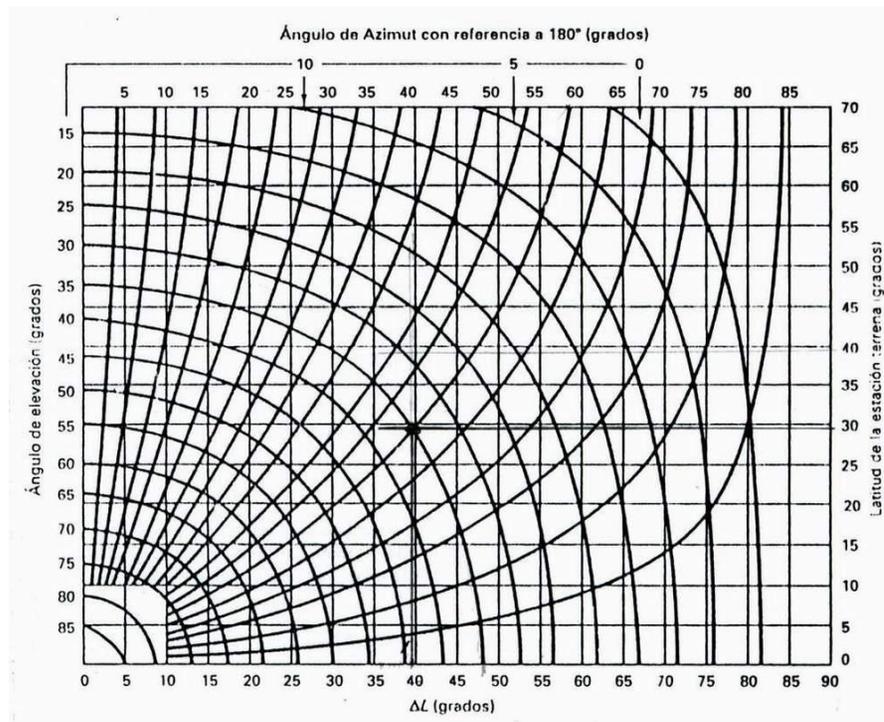
Otra manera Calcular el Acimut y Elevación

Igualmente se podría haber obtenido el acimut y la elevación, a través de una gráfica (ver anexo curvas, lámina A) diseñada de forma Standard para esta necesidad. Para ello se debe de realizar el paso de obtener ΔL y determinar la Latitud de la estación terrena emisora.

$$\Delta L = \text{Longitud Terrena} - \text{Longitud Satélite}$$

$$\Delta L = 70,378^\circ - 45^\circ = 25,378^\circ$$

$$\text{Latitud estación terrena} = 34^\circ 4' 58,87'' = 34,083^\circ$$



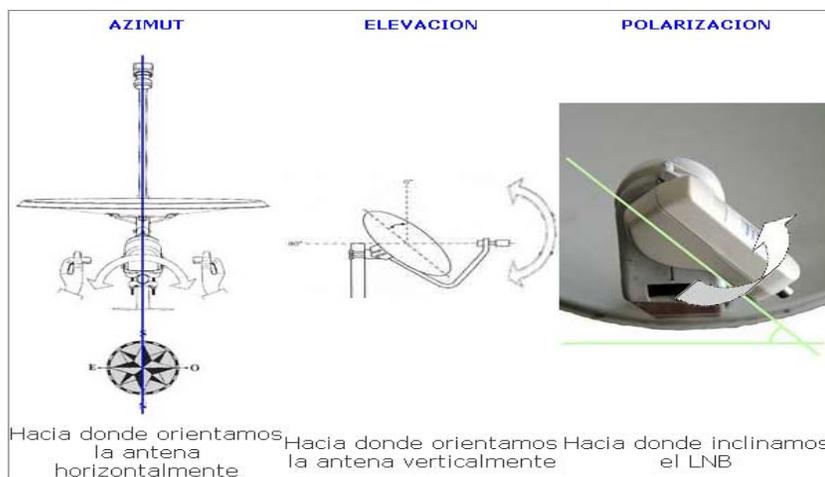
Por tanto al buscar entre las curvas del gráfico siguiente podemos encontrar nuestros datos, sin embargo, es menos exacto.

$$\text{Azimut} = 40^\circ$$

$$\text{Ángulo de Elevación} = 42^\circ$$

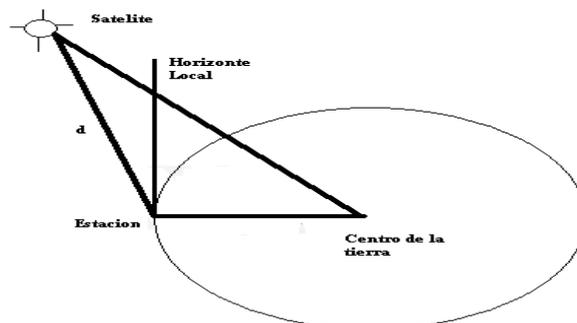
Como hemos tomado nosotros al norte como punto de referencia, debido a que la mayoría de satélites se localizan en torno a allí, nuestra antena se posicionaría de la misma manera como se muestra en la imagen, con un ángulo de azimut igual a $40,27^\circ$.

Para fijar la elevación debemos situarnos en la parte posterior de la antena. En el punto de anclaje con el brazo existe un regulador de elevación dónde hay marcados los grados en intervalos. No hay más que fijar los grados con la elevación correspondiente a nuestro satélite y listo, los cuales son $42,01^\circ$.



Cálculo de trayectoria

A continuación se procederá a realizar el cálculo de trayectoria comprendido entre nuestra estación terrena y nuestro satélite *INTELSAT IS-1R*. Sabiendo que la altura de los satélites es de 35.801 Km., que el radio de la tierra es 6.375 Km. y que el ángulo de nuestra estación terrena es $34,175^\circ$, se tiene que:



$$d^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$$

$$d = \sqrt{(35.801)^2 + (6.375)^2 - 2(35.801 \times 6.375) \times \cos(34,083^\circ)}$$

$$d = 30.729,42588 \text{ km}$$

$$d \approx 30.729,42588 \text{ km}$$

Por lo tanto se puede concluir que la distancia de enlace comprendida entre la estación terrena emisora y el satélite **INTELSAT IS-1R** es de 30.729,404 Km.

Cálculo De Uplink

La banda que se utilizará como enlace, corresponde a la banda-Ku comprendida entre los 12 y 18 Ghz., utilizada preferentemente para transmisión de voz, datos, video y emisión de video. IS-1R, nuestro satélite de enlace, utiliza esta banda en el espectro de frecuencias.

En la siguiente tabla se especifican los datos entregados por cada fabricante de los equipos a utilizar en el enlace de subida.

Frecuencia de Trabajo PAS-1R Banda-Ku Uplink (13,750 – 14,500 Ghz)	14,25 Ghz
Potencia de Exitación HPA HFM8Q9B3G Amplifiers Empower RF System	2 W (3 dB)
Ganancia de Transmisión HPA HFM8Q9B3G Amplifiers Empower RF System	49 dB
Ganancia de Antena Antenas Parabólicas Model 8136 At-A-Glance (diámetro 3.6 metros) marca VIASAT	52,3 dB

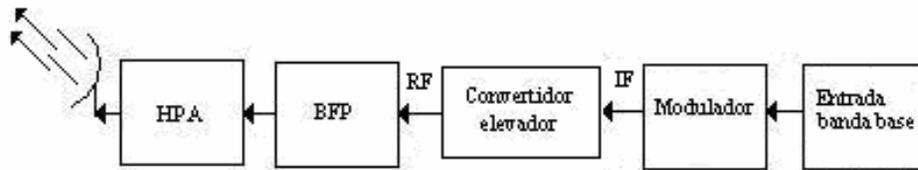
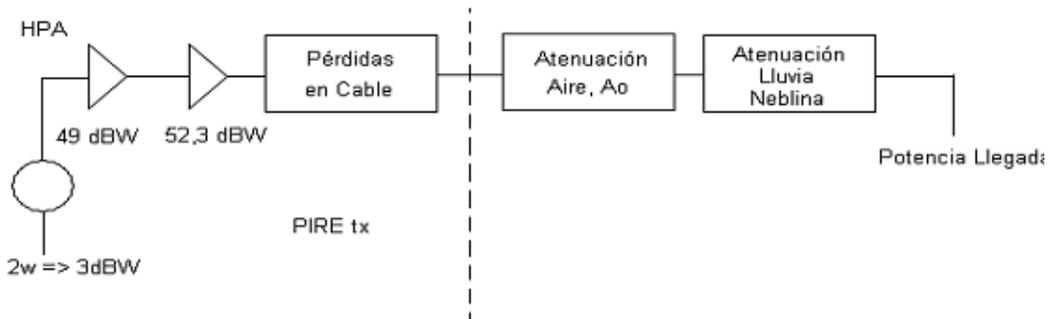


Diagrama de bloques de nuestro Uplink

Gráficamente se puede representar nuestra transmisión de Uplink, como la figura que a continuación sigue:



Parámetros del sistema satelital

Los parámetros del sistema satelital son todos aquellos elementos que conforman al modelo del enlace. Estos parámetros se encuentran en todas las partes del mismo en las que se generen pérdidas de potencia, ya sean provocadas por la forma del terreno o por los aspectos que generan que las señales de radio se desgasten al cruzar el espacio libre, así como la atmósfera.

El siguiente paso será realizar los cálculos correspondientes a las atenuaciones que afectan nuestro enlace de subida, correspondiente a la zona de Rancagua.

Atenuación Aire – Ao

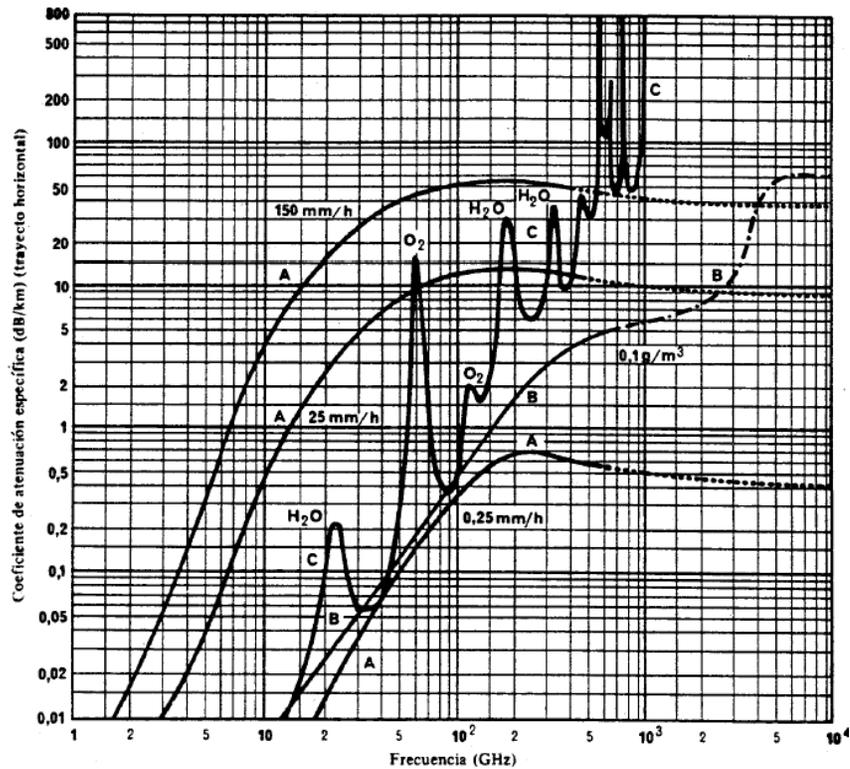
$$A_0 = 32,5 + 20 \log (f(Mhz)) + 20 \log d(km)$$

$$A_0 = 32,5 + 20 \log(14.250) + 20 \log (30.729,42588)$$

$$A_0 = 205,327386 (dB)$$

Atenuación Lluvia – Neblina – Presión Atmosférica

Este tipo de atenuaciones las podemos determinar a partir de gráficas diseñadas para tal efecto (*ver figura*). Para la banda-Ku y una frecuencia de trabajo de 14.250 Mhz, se obtuvieron los siguientes datos:



Atenuación por lluvia

Las pérdidas por lluvia serán determinadas a partir de la densidad pluviométrica existente en la ciudad de Rancagua y determinadas por milímetros hora (mm/h). Para asegurarnos una buena transmisión elevamos un poco el valor. Nos entrega una atenuación de 3 (dB/Km).

Otra manera de calcular esta atenuación es mediante la siguiente ecuación.

El modelo de atenuación por lluvia se basa en un modelo estadístico de las lluvias.

La atenuación específica (en dB/Km.) se relaciona con la intensidad de lluvia R (en mm/h):

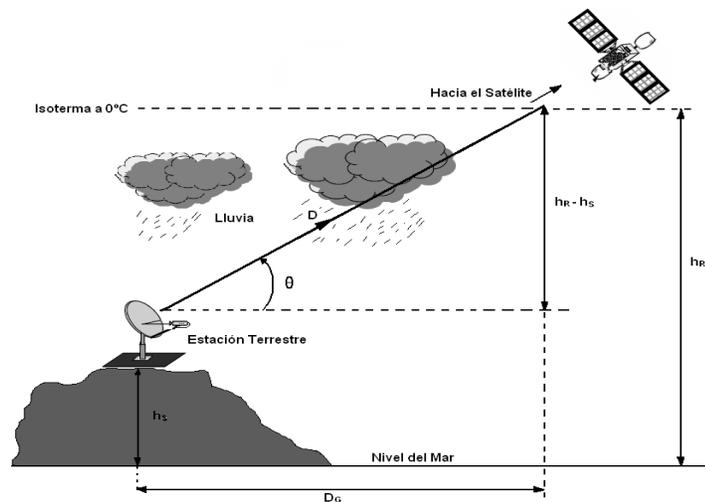
$$\gamma_R = kR^\alpha$$

$$k = \begin{cases} 4,21 \times 10^{-5} \cdot f^{2,42} & 2,9 \leq f \leq 54 \text{ GHz} \\ 4,09 \times 10^{-2} \cdot f^{0,699} & 54 \leq f \leq 180 \text{ GHz} \end{cases} \quad \alpha = \begin{cases} 1,41 \cdot f^{-0,0779} & 8,5 \leq f \leq 25 \text{ GHz} \\ 2,63 \cdot f^{-0,272} & 25 \leq f \leq 164 \text{ GHz} \end{cases}$$

Se recurre a utilizar una longitud de trayecto equivalente tal que: $A_R = kR^\alpha L_e$

La altura de la lluvia para el 0,01% es: $h_R = \rho_p(\phi) \left[5,1 - 2,15 \cdot \log \left(1 + 10^{\frac{(\phi-27)/25}{} } \right) \right]$

El resultado es ≈ 3 (dB/Km).



Atenuación por neblina

Para una frecuencia de 14,25 Ghz, según la gráfica, correspondería tener una atenuación de aproximadamente 0,1 (dB/Km).

Atenuación por Presión Atmosférica

No corresponde atenuación para estas frecuencias.

Atenuación conexiones

Estas pérdidas corresponden a pérdidas en el acoplo y conexión entre el transmisor y la antena de la estación terrena. Los valores típicos son del orden de los 4 a los 7 dB. Vamos a asumir una atenuación de 5 dB en pérdidas para nuestro enlace Uplink.

PIRE

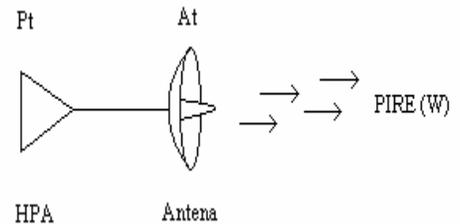
El pire corresponde a la Potencia Isotrópicamente Irradiada Efectiva desde la estación terrena. El PIRE es una medida que indica la fuerza con que una señal es transmitida hacia un satélite o hacia una estación terrestre. La figura muestra la ubicación donde se genera la potencia isotrópica radiada efectiva.

$$PIRE = Pt + At + Lbf$$

Pt : Potencia de salida real del transmisor (dBW)

At : Ganancia de la antena transmisora (dB)

Lbf : Ramificación total y pérdidas alimentador (dB)

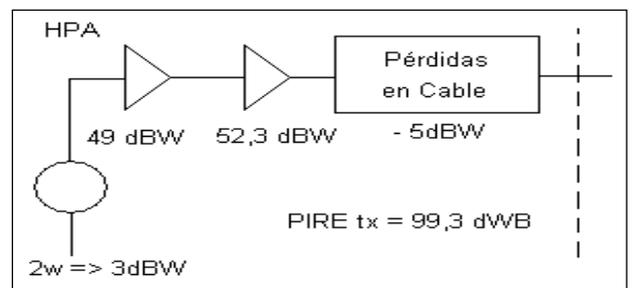


Por lo tanto el PIRE de la estación terrena es igual a

$$PIRE(tx) = [3dbw + 49dbw] + 52,3dbi - 5db$$

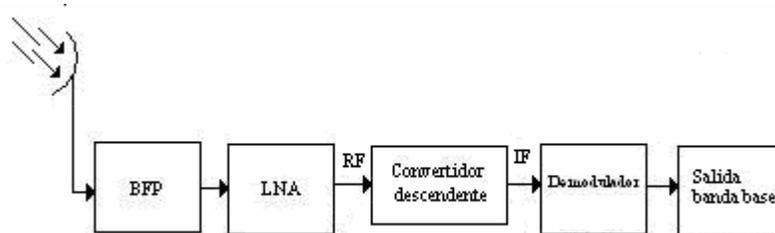
$$PIRE(tx) = 99,3 (dBW)$$

Gráficamente nuestro valor obtenido (PIRE), se podría expresar según el siguiente diagrama:



Resumen potencia Uplink al satélite

De esta manera la potencia que recibe el satélite PAS-1R desde la estación terrena emisora ubicada en la ciudad de Valdivia es igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas a lo largo del enlace.



Modelo básico de bajada

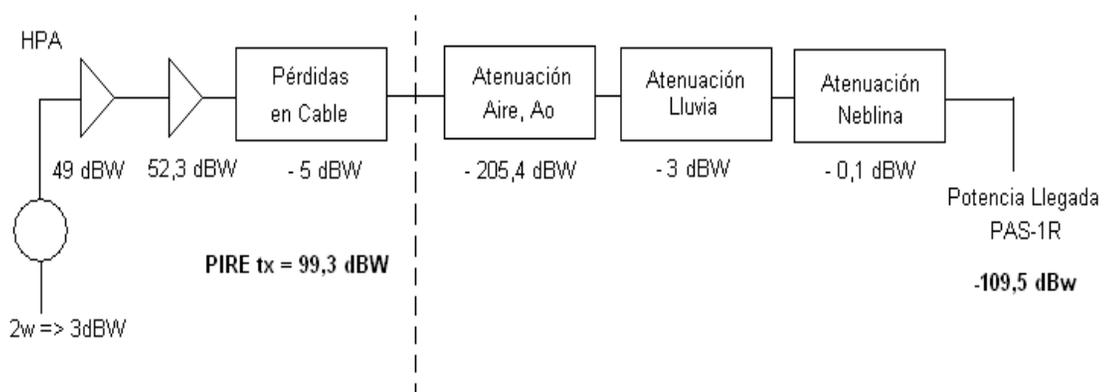
$$P_{uplink} = P_{ire\ tx} - \text{Atenuaciones}$$

$$P_{uplink} = 99,3\text{ dBW} - [205,3293\text{ dBW} + 3\text{ dBW} + 0,1\text{ dBW}]$$

$$P_{uplink} = -109,1293\text{ dBW}$$

$$P_{uplink} = -79,5\text{ dbm}$$

Nuestro enlace quedaría de la siguiente manera:



Primer cálculo del Enlace de Bajada Downlink

Cálculo de Azimut y Elevación

Para el cálculo de estos parámetros, nuevamente utilizaremos el recurso ofrecido por el sitio Web www.intelsat.com. Se seleccionó el satélite a utilizar, e ingresamos las coordenadas de nuestra estación terrena receptora en Millán; $34^{\circ} 10' 31,86''$ de latitud Sur y $70^{\circ} 44' 57,59''$ de Longitud Oeste. Los resultados del ejercicio realizado a través del programa fueron los mismos que en el enlace de subida, por lo tanto ya podemos llegar a algunas conclusiones. La cercanía de las antenas nos indica que quizás no es la mejor manera de realizar el envío de información, pero aun así continuamos.

$$\text{Azimut} = 40,677332^{\circ}$$

$$\text{Ángulo de Elevación} = 41,71044^{\circ}$$

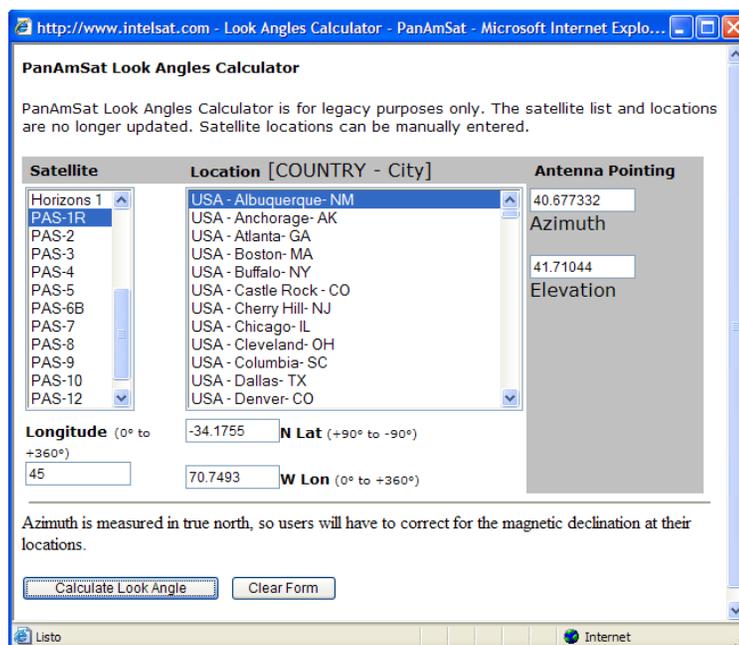
Cálculo de trayectoria

Por lo tanto se puede concluir que la distancia de enlace comprendida entre la estación terrena receptora y el satélite es de 30.736 Km.

$$d^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$$

$$d = \sqrt{(35.801)^2 + (6.375)^2 - 2(35.801 \times 6.375) \times \cos(34,1755^{\circ})}$$

$$d = 30.736,1538 \text{ km}$$

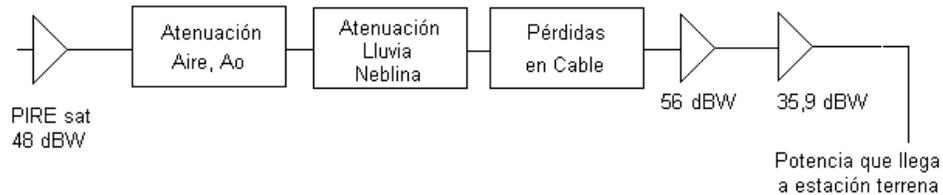


Cálculo de Downlink

El PAS-1R nuestro satélite de enlace, utiliza las siguientes bandas de Downlink; 10,950 – 11,200 Ghz y desde los 11,450 – 11,950 Ghz. Nuestros parámetros de trabajo serán los que se presentan en la siguiente tabla.

Frecuencia de Trabajo PAS-1R Banda-Ku (11,450 – 11,950 Ghz)	11,7 Ghz
Ganancia de Antena Antenas Parabólicas OFFSET - Montaje Az-EI RPD-060 (diámetro 60 cm.) marca IKUSI	35,9 dbi
Ganancia del Receptor (LNB) Modelo UEU-121K, marca IKUSI	56 dB
PIRE (Satélite PAS-1R) PAS-1R América del Sur Vertical 1 Beam: Ku-Band	48 dBW

Gráficamente se puede representar nuestra transmisión Downlink, como el esquema que a continuación se presenta:



Parámetros del sistema satelital

Lo siguiente será realizar los cálculos correspondientes a las atenuaciones que afectan nuestro enlace.

Atenuación Aire – A_0

$$A_0 = 32,5 + 20 \log (f (Mhz)) + 20 \log d (km)$$

$$A_0 = 32,5 + 20 \log (11.700) + 20 \log (30.736,1538)$$

$$A_0 = 203,6167 (dB)$$

Atenuación Lluvia – Neblina – Presión Atmosférica

Este tipo de atenuaciones las podemos determinar a partir de gráficas diseñadas para tal efecto. Para la banda-Ku y una frecuencia de trabajo de 11.700 Mhz, se obtuvieron los siguientes datos.

Atenuación por lluvia

Las pérdidas por lluvia serán determinadas de la misma manera anteriormente calculada para esta nueva frecuencia.

Atenuación por neblina

Para una frecuencia de 11,7 Ghz, según la gráfica, correspondería tener una atenuación de aproximadamente 0,1 (dB/Km).

Atenuación por presión atmosférica

No existe atenuación para esta frecuencia.

Atenuación conexiones

Estas pérdidas corresponden a conexiones de los cables coaxiales, ramificaciones y alimentación de la estación terrena. Los valores típicos son del orden de los 4 a los 7 db. Para nuestro enlace utilizaremos una atenuación de 5dB.

PIRE

El pire corresponde a la Potencia Isotropicamente Irradiada Efectiva desde la estación satelital hacia la primera estación terrena receptora. Como primer dato correspondería a 50 dBW (según huella de mapa) el pire desde el satélite; por lo tanto el PIRE de la estación terrena es igual a la sumatoria, de todas las atenuaciones, ganancias y pérdidas del trayecto PS-1R y ETCUR.

$$PIRE_{rx} = Pire(sat) - A_o - A_{lluvia} - A_{neblina} - A_{otros} + G_{antena} + G_{LNB}$$

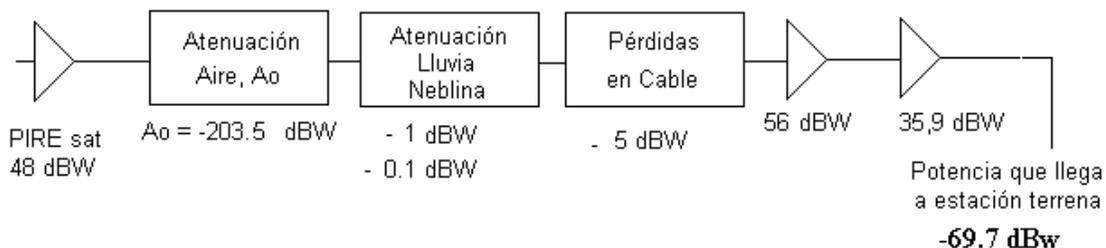
$$PIRE_{rx} = 48dBW - 203.6dBW - 1dBW - 0.1dBW - 5dBW + 35.9dBW + 56dBW$$

$$PIRE_{rx} = -69.7 dBW$$

$$PIRE_{rx} = -39,7 dBm$$

Resumen potencia Downlink

De esta manera la potencia que recibe la estación ubicada en Millán desde el satélite **IS-1R** es igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas a lo largo del enlace.



Especificaciones del satélite

INTELSAT 1R (anteriormente llamado PAS-1R) cuyo acrónimo es **IS-1R** es un satélite de telecomunicaciones y video propiedad de INTELSAT. Se colocó a bordo del cohete Ariane 5 el 15 de noviembre del año 2000 en el centro espacial de Guyana. Tiene capacidad para telecomunicaciones, Internet y video digital. Es uno de los satélites de mayor prestación de la empresa. Tiene un tiempo aproximado de vida útil de 15 años, se espera su desincorporación en el 2015. Esto no sería un problema ya que caducando el satélite será reemplazado sin inconvenientes para el desarrollo de las comunicaciones.

PAS-1R

Satellite Name	PAS-1R
Spacecraft Design	Boeing 702
Orbital Location	45 degrees west longitude
Launch Date	November 15, 2000
Mission Design Life	15 Years
Launch Vehicle	Ariane 5
Polarization	Linear
Beacon Frequencies	
Ku-band	11.699 GHz Circular (RH/LH)
C-band Payload	36 x 36 MHz - 38, 55 Watt Output
Ku-band Payload	36 x 36 MHz - 125, 140 Watt Output
C-band Frequencies	
Uplink	5.925 - 6.425 GHz
Downlink	3.700 - 4.200 GHz
Ku-band Frequencies	
Uplink	13.750-14.500 GHz
Downlink	10.950-11.200, 11.450-11.950 GHz
Coverage	Americas, Caribbean, Europe, Africa



Bibliografía

- [1] Jonh R. Pierce. *Electrones, Ondas y Mensajes*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1968.
- [2] J. R. Cogdell. *Fundamentos de Electrónica*. Prentice Hall, 2000.
- [3] Henry Jacobowitz. *Electrónica Simplificada*. Cia General de Ediciones, S.A., 1965.
- [4] W. E. Everit, G. E. Anner. *Communication Engineering*. Internacional Student Edition, 1956.
- [5] A. Bruce Carlson, Paul B. Crilly, Janet C. Rutledge. *Sistemas de Comunicación*. McGrawHill, 2007.
- [6] Truman S. Gray. *Electrónica Aplicada*. Editorial Reverté, S.A., 1972.
- [7] B. P. Lathi. *Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación*. Editorial Limusa, 2000.
- [8] Louis E. Fresnel. *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. Alfaomega, 2003.
- [9] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Shafer. *Tratamiento de Señales en Tiempo Discreto*. Prentice Hall, 2000.
- [10] Charles L. Alley, Kenneth W. Atwood. *Ingeniería Electrónica*. Editorial Limusa, 1968.
- [11] Departamento de Riles. *Situación de Descargas Líquidas en División El Teniente*. Corporación Nacional del Cobre de Chile, División El Teniente.

Internet

- [1] <http://es.wikipedia.org/>
- [2] <http://www.motorola.com/>
- [3] <http://www.intelsat.com/>
- [4] <http://www.gallyas.cl/>
- [5] <http://www.condorcomunicaciones.com/>
- [6] <http://www.aselcom.net/>
- [7] <http://www.caides.org/decibel.htm>
- [8] <http://www.wni.com.mx/>
- [9] <http://www.ejournal.unam.mx/ict/vol0702/ICT07205.pdf>
- [10] <http://www.radiocomunicacion.com.pe/canopy-motorola.htm>
- [11] http://www.telefonica.net/web2/ismael/REMER/RMDL/RMDL0_Indice.htm
- [12] <http://www.skydsp.com/publications/4thyrthesis/chapter1.htm>