

# Comunicaciones Digitales

---

## TRABAJO INTEGRADOR HRPT

### GRUPO: 1

Nombre	CI	email
Héctor Garrido	51070701	hectoreduardogarridoalvarez@gmail.com
Santiago Avila	49017096	s.avila07@outlook.com

---

### TUTOR

Nombre	email
Gonzalo Gutiérrez	gonzalog@fing.edu.uy

---

## **Índice**

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Funcionamiento</b>	<b>3</b>
<b>3. Estructura y codificación de datos</b>	<b>4</b>
<b>4. Corrección de errores</b>	<b>6</b>
<b>5. Recepción</b>	<b>6</b>
<b>6. Implementación</b>	<b>7</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>10</b>

## 1. Introducción

HRPT, por su siglas en inglés *High Resolution Picture Transmission*, es un tipo de transmisión utilizada por satélites de órbita polar para transmitir imágenes de alta resolución a los receptores ubicados en la tierra. Esta tecnología es usada particularmente para la meteorología en donde necesitan de la información más precisa posible para análisis [1].

Esta tecnología está siendo utilizada por múltiples satélites, en particular, este trabajo se centrará en los satélites NOAA, debido a la diversa información que se posee de los mismos, si bien, a efectos de comparar características, se mencionarán algunas diferencias con el resto de satélites.

## 2. Funcionamiento

La forma en que esta tecnología trabaja es la siguiente, se busca enviar la información de 5 de los 6 canales de datos de *AVHRR* (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), estos datos se distribuyen de tal forma que se tenga información en el espectro visible, cerca del infrarrojo y en el espectro infrarrojo. En particular en la [Tabla 1](#) se puede ver el espectro asignado a cada canal. Luego estos datos son digitalizados con una precisión de 10 bits y son transmitidos a una velocidad de 360 líneas por minuto a 665 kbps [1].

	Canal 1	Canal 2	Canal 3A/B	Canal 4	Canal 5
Espectro	0,58 – 0,68 um	0,72 – 1,1 um	3,55 – 3,93 um	10,3 – 11,3 um	11,5 – 12,5 um

**Tabla 1:** Distribución de canales.

Dentro de los parámetros de esta tecnología, hay algunos que se mantienen constantes en cada implementación y otros que varían para cada satélite, en la [Tabla 3](#) se puede ver un resumen de dichos parámetros.

Satélite	$f_{carrier}$	Modo	Ancho de banda	Velocidad de datos
NOAA 15 [1]	1702.5 MHz	BPSK [2]	3 MHz	665.4 kbps
NOAA 18 [1]	1707 MHz	BPSK [2]	3 MHz	665.4 kbps
NOAA 19 [1]	1698 MHz	BPSK [2]	3 MHz	665.4 kbps
METEOR-M N°2-2 [3]	1700 MHz	BPSK [4]	3 MHz	3000 kbps
METEOR-M N°2-3 [3]	1700 MHz	BPSK [4]	3 MHz	3000 kbps
Metop B [5]	1701.3 MHz	QPSK [2]	4.5 MHz	3500 kbps
Metop C [5]	1701.3 MHz	QPSK [2]	4.5 MHz	3500 kbps
FengYun-3C [6]	1706.7 MHz	QPSK [2]	6.8 MHz	4200 kbps

**Tabla 2:** Parámetros de los instrumentos transmisores de HRPT para los distintos satélites.

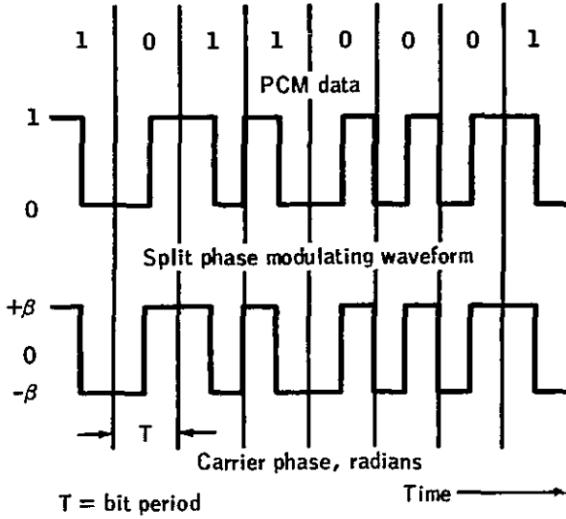
Para el caso particular de los NOAA, el esquema de funcionamiento de la tecnología HRPT varía dependiendo de la versión de satélite enviada, en este documento se analizarán los que aún se encuentran en funcionamiento, los cuales pertenecen a la serie *NOAA-N,-N'*.

Satélite	$f_{carrier}$	Modo	Ancho de banda	Velocidad de datos
NOAA 15	1702.5 MHz	BPSK	3 MHz	665.4 kbps
NOAA 18	1707 MHz	BPSK	3 MHz	665.4 kbps
NOAA 19	1698 MHz	BPSK	3 MHz	665.4 kbps
METEOR-M N°2-2	1700 MHz	BPSK	3 MHz	3000 kbps
METEOR-M N°2-3	1700 MHz	BPSK	3 MHz	3000 kbps
Metop B	1701.3 MHz	QPSK	4.5 MHz	3500 kbps
Metop C	1701.3 MHz	QPSK	4.5 MHz	3500 kbps
FengYun-3C	1706.7 MHz	QPSK	6.8 MHz	4200 kbps

**Tabla 3:** Parámetros de los instrumentos transmisores de HRPT para los distintos satélites.

Teniendo esto en cuenta se tiene que estos presentan una modulación *split phase*, también conocida como *Manchester II*, en donde se define el "1" como una fase de -67 grados en la primera mitad del período de bit y +67 grados durante la segunda mitad, el caso del símbolo "0" es análogo considerando +67 grados en la primera mitad y -67 grados en la segunda. En la Figura 1 se puede ver un ejemplo de como se ve este tipo de codificación. En particular, el ángulo de  $67^\circ$  es lo que en la imagen se representa por  $\beta$ , este fue obtenido al considerar la potencia de los datos transmitidos  $P_d$  y la potencia de la portadora  $P_c$ , esto se puede ver en la ecuación (1).

$$\tan^2 \beta = \frac{P_d}{P_c} \quad (1)$$



**Figura 1:** Ejemplo de codificación *Split Phase* [7]

### 3. Estructura y codificación de datos

El paquete de información HRPT esta compuesto por tres cuadros menores, cada uno esta compuesto por 11090 palabras de 10 bits. La idea de estos cuadros menores es multiplexar información *AVHRR* con otro tipo de datos. En particular, el primer

cuadro contendrá datos de *TIP*(*TIROS Information Processor*), el cual contiene información de gran partes de los instrumentos del satélite, el segundo de datos de relleno y el tercero de *AMSU*(*Advanced Microwave Sounding Unit*), el cual da información vinculada a la temperatura y a el nivel de agua de la atmósfera. [8]

Cada paquete tiene los siguientes campos en su estructura [8]:

- **Frame Sync:** Conjunto de 6 palabras utilizadas para sincronizar la recepción de los paquetes, sus palabras son generadas por el polinomio generador  $X^6 + X^5 + X^2 + X + 1$ .
- **ID:** 2 palabras utilizadas para determinar cual de los tres cuadros menores se esta transmitiendo e identificar si no se trata de un cuadro HRPT.
- **Time Code:** 4 palabras que permite transmitir el tiempo de obtención de los datos.
- **Telemetry:** 10 palabras utilizadas para transmitir información de la calibración de los canales *AVHRR* e información de la medida de temperatura de los canales 3, 4 y 5.
- **Back Scan:** 30 palabras, que se utilizan para representar 10 palabras de calibración de objetivo para los canales *AVHRR* 3,4 y 5.
- **Space Data:** 50 palabras, son 10 palabras de escaneo del espacio de cada canal *AVHRR*.
- **Sync Data:** 1 palabra que indica el bit temprano y bit posterior de sincronización *AVHRR* a la vez que da la información de sincronización.
- **Data Words:** 520 palabras que poseen la información a transmitir, el primer cuadro menor transmite en este campo los datos *TIP*, el segundo transmite las palabras de repuesto y el tercero datos *AIP*. Algo a considerar en este caso es que se agregan dos bits de paridad en cada dato para detección de errores.
- **Spare Words:** 127 palabras de repuesto, generadas con el polinomio generador  $X^{10} + X^5 + X^2 + X + 1$ .
- **Earth Data:** 10240 palabras en donde se tienen todos las muestras obtenidas por cada canal.
- **Auxiliary Sync:** 100 palabras auxiliares para sincronización, generadas con el polinomio generador  $X^{10} + X^5 + X^2 + X + 1$ .

Dada las cantidades de información almacenada por los satélites, es necesario tomar medidas para reducir el espacio ocupado. En el caso de los satélites NOAA, se almacena la información HRPT en formato de paquetes, estos paquetes son ordenados con el método *Band Interleaved by Pixel (BIP)*, de esa forma almacenan 3 muestras de 10 bits en una palabra de 32 bits. [8]

BIP se define como uno de los métodos primarios de codificación de datos de imágenes raster multibanda, las cuales al poseer información sobre cada píxel, suelen requerir más espacio de almacenamiento. Esté método es principalmente utilizado en las imágenes obtenidas por satélites por lo que no es un método de codificación único en los NOAA.

Este método de codificación consiste en almacenar los píxeles de cada banda de forma secuencial, intercalándolos. Por ejemplo, almacena los primeros píxeles de la primera banda de forma secuencial, seguidos de los segundos píxeles de la segunda banda y así hasta completar la cadena de información correspondiente [9].

## 4. Corrección de errores

Para el caso de los satélites NOAA no se presentan algoritmos de corrección de errores para los mensajes HRPT, se tienen sí algunos mecanismos de detección de errores como es el caso de los bits de paridad incluidos en las palabras a transmitir. Si bien esto es una característica que los satélites NOAA no comparten con el resto de satélites, en el caso de Metop A y Metop B se presenta un sistema de corrección de errores basado en Reed Solomon y el algoritmo de Viterbi para la detección de errores en recepción, la diferencia en este caso se debe principalmente a que los satélites Metop envían una cantidad de información mayor en conjunto con los paquetes HRPT. En particular destinan unos 128 bytes del paquete transmitido para la utilización de Reed Solomon [10].

A su vez, los satélites Metop no son los únicos que presentan un sistema de detección y corrección de errores basados en Reed Solomon y el algoritmo de Viterbi, para el caso de los satélites METEOR-M N°2-2 y METEOR-M N°2-3 también se utilizan estos mismos métodos [11].

## 5. Recepción

En la [Figura 2](#) se puede observar un ejemplo de un posible receptor para este sistema, a continuación se explicará el objetivo de cada bloque:

- **Sistema RF**

- **LNA:** Debido a que la señal recibida por la antena no es suficientemente fuerte para ser procesada se agrega un pre amplificador con una ganancia grande y una figura de ruido baja.
- **SDR:** En este bloque se realiza el procesamiento de la señal recibida de forma que pueda ser interpretada por los programas de software.

- **Sistema de software**

- **Decodificación y formato:** Se utilizan software especializados en tomar la información enviada por el SDR y pasarla a un formato que se busca.
- **Predictor de posición de satélite:** Dado que el satélite se encuentra en constante movimiento se busca predecir hacia donde se está dirigiendo de tal forma que se pueda mover la antena en esa dirección y evitar perder la conexión.

- **Sistema mecánico**

- **Motor:** Se utiliza para girar la antena en la dirección indicada por el sistema de software.

- **Detector de orientación:** Rama de control del sistema que da el feedback de la orientación de la antena al controlador.

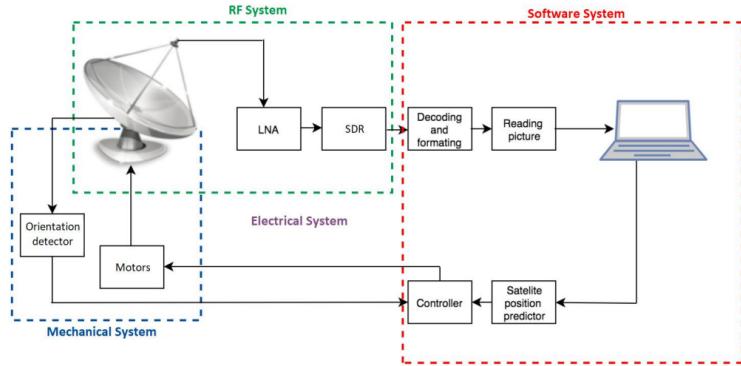


Figura 2: Esquema de receptor HRPT [2].

## 6. Implementación

Para la recepción de los datos enviados por los satélites, se utiliza el sistema mostrado en la Figura 2. El resultado de utilizar este setup y el software, es un archivo .wav que contiene la información codificada. Se utiliza GNU radio para su decodificación, aquí distinguiremos el diagrama bloque a bloque de la Figura 3.

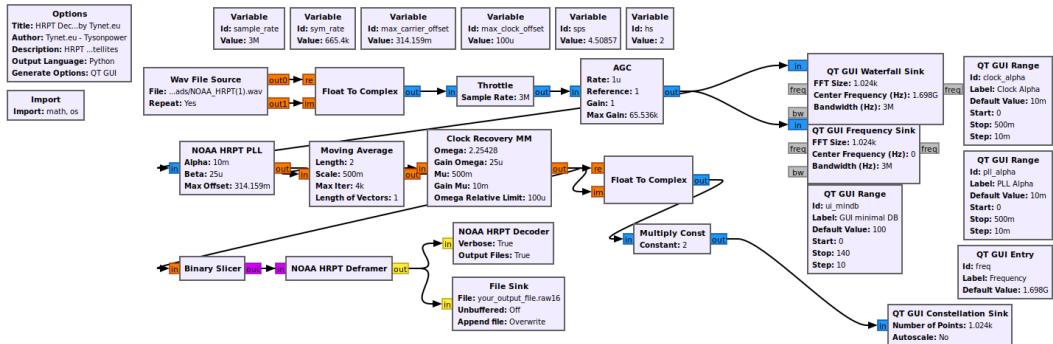
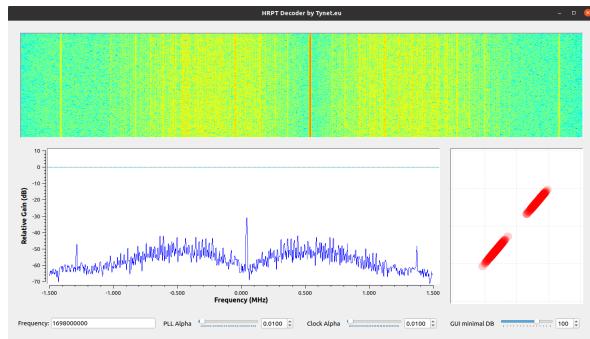


Figura 3: Diagrama demodulación y decodificación en GNU.

- **Wav File Source:** Aquí se carga el archivo con los datos colectados del satélite, los cuales son valores complejos, sin demodular.
- **Automatic Gain Control (AGC):** Ajusta automáticamente la amplitud de la señal hasta llegar a cierta referencia, configurada. La salida es aprovechada para mostrar en GUI el espectro de la señal a procesar.
- **NOAA HRPT PLL:** Un *Phase Lock Loop* que estabiliza la fase y la frecuencia de la señal recibida. Centrando la señal en bandabase y quitando los tonos de referencia.
- **Moving Average:** Utilizado para reducir el ruido aleatorio y 'suavizando' la señal.

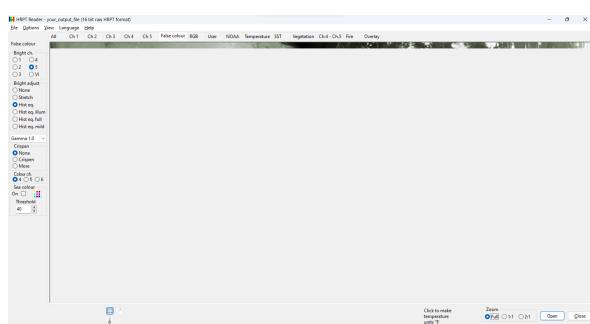
- **Clock Recovery MM:** Sincroniza a la frecuencia y fase de la señal para poder extraer los símbolos, estos son mostrados en GUI con el bloque *QT GUI Constellation Sink*.
- **Binary Slicer:** Convierte valores positivos a unos y valores negativos a ceros.
- **NOAA HRPT Decoder:** Decodifica los datos recibidos, recaudando información sobre la ID del satélite, día del año, y la etiqueta de tiempo de la trama en tiempo real. Estos datos son mostrados en la consola de GNU radio.
- **NOAA HRPT Deframer:** A partir de una serie de bits, arma las tramas para luego escribir un archivo legible, este cae en un File Sink a un tipo .raw16, este archivo es leído para regenerar las imágenes tomadas por los satélites NOAA, con un programa que gestiona las capas de información recaudadas.

La interfaz de usuario desplegada presenta el espectro de la señal centrado en el la frecuencia del carrier asignada al satélites. Además, se muestra la constelación de símbolos recibidos donde se nota la modulación *BPSK split phase*, donde los símbolos tienen una fase de  $\pm 67^\circ$ .



**Figura 4:** Interfaz gráfica desplegada en GNU.

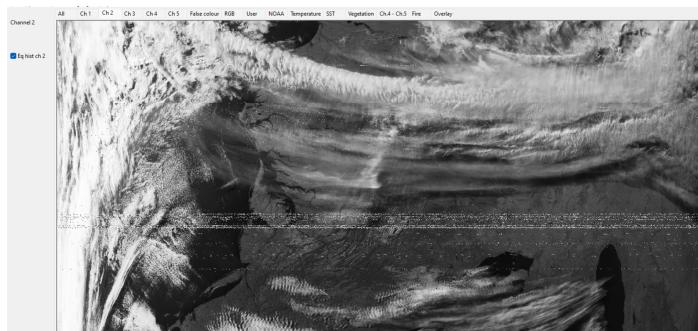
Este procesamiento resulta en un archivo *.raw16* que contiene la información recaudada por el satélite, posee 16 capas y cada una de ellas genera una imagen que muestra distinta información, estas imágenes son formadas con el programa *HRPT Reader*. En este caso, no se tuvo oportunidad de recibir datos y se consiguió una grabación del satélite NOAA 19, 5 segundos de la señal transmitida por los satélites, la cual sólo alcanza para generar 30 líneas de la imagen completa.



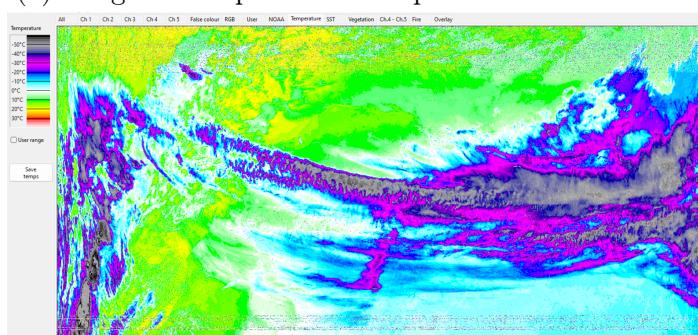
**Figura 5:** Imagen procesada en GNU y recuperada con el programa *HRPT Reader*.

A su vez, algo a considerar de los diagramas anteriores es que no se realiza un control de errores, ni como un bloque externo ni por dentro de los bloques ya existentes.

Se considera otro archivo obtenido, el cual ya fue procesado y por lo tanto ya está en formato *.raw16*, en este caso se pueden observar diferentes propiedades de la imagen dependiendo de cual opción se esté visualizando.



(a) Imagen del espectro *NIR* a partir de datos HRPT.



(b) Mapa de calor a partir de datos HRPT.

**Figura 6:** Información recaudada a partir de una grabación HRPT.

En la imagen [Figura 6b](#), se ve un mapa de calor, creado con los datos del tercer cuadro menor con datos *AMSU*. Mientras que en la imagen [Figura 6a](#) muestra el canal 2, como se ve en la [Tabla 1](#) esto se trata del espectro entre  $0,72 - 1,1 \mu m$  el cual corresponde al espectro infrarrojo cercano *NIR*.

## Bibliografía

- [1] HRPT. National Oceanic and Atmospheric Administration. [Online]. Available: <https://noaasis.noaa.gov/POLAR/HRPT/hrpt.html>
- [2] M. Gómez Goitia *et al.*, “Saws, un sistema para descargar y visualizar automáticamente imágenes hrpt de satélites meteorológicos,” 2018.
- [3] Satellite Programme: Meteor-3M. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool. [Online]. Available: [https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/meteor\\_3m](https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/meteor_3m)
- [4] Structure of "Meteor-M" №2 satellite data transmitted via L-band in direct broadcast mode. State Research Center for Space Hydrometeorology "Planeta". [Online]. Available: [http://planet.iitp.ru/retro/index.php?lang=en&page\\_type=spacecraft&page=meteor\\_m\\_n2\\_structure\\_1](http://planet.iitp.ru/retro/index.php?lang=en&page_type=spacecraft&page=meteor_m_n2_structure_1)
- [5] Satellite Programme: EUMETSAT Polar System. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool. [Online]. Available: <https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/eps>
- [6] Satellite Programme: Feng-Yun - 3. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool. [Online]. Available: [https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/fy\\_3](https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/fy_3)
- [7] W. Zrubek and M. S. C. (U.S.), *Characteristics of a Split Phase Telecommunication Link*, ser. NASA technical note. National Aeronautics and Space Administration, 1967. [Online]. Available: <https://books.google.com.uy/books?id=wz6FTa3pJPYC>
- [8] J. Robel, A. Graumann, K. Kidwell, R. Aleman, I. Ruff, B. Muckle, and T. Kleespies, “Noaa klm user’s guide with noaa-n,” *N Prime, and MetOp Supplements*, 2014.
- [9] Library of Congress, “Band interleaved by pixel (bip) image encoding,” <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000305.shtml#:~:text=Band%20interleaved%20by%20pixel%20%28BIP%29%20is%20one%20of,pixel%20values%20of%20an%20image%20in%20a%20file>.
- [10] W. Fong, P.-S. Yeh, S. Duran, V. Sank, X. Nyugen, W. Xia, and J. H. Day, “Low resolution picture transmission (lrpt) demonstration system,” Tech. Rep., 2002.
- [11] J.-M. Friedt, “Decoding digital weather satellite images: the lrpt protocol from meteor-m2,” 2019.